



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD PER CÁPITA DE AGUA ANTE LA SEQUÍA Y  
EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE SINALOA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
LILIANA AGUILAR YAÑEZ

TUTOR PRINCIPAL  
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., AGOSTO 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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: Dra. Lilia Reyes Chávez

Secretario: M.I. Alba Beatriz Vázquez González

Vocal: Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval

1<sup>er.</sup> Suplente: Dr. Enrique César Valdez

2<sup>d o.</sup> Suplente: M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CDMX, Ciudad Universitaria

**TUTOR DE TESIS:**

DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL

---

**FIRMA**

## AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero mencionar al Dr. Carlos A. Escalante sin su apoyo y paciencia para conmigo, no habría sido posible la obtención del grado. De la mano a éste agradecimiento esta la Dra. Lilia Reyes, quien no sólo me ayudo al final del proceso sino durante mis estudios.

Además, no puedo dejar de lado al resto del jurado, la M.I. Alba B. Vázquez, el Dr. Enrique César y el M.I. Marco T. Mendoza, a quienes tengo que agradecerles el tiempo dedicado para revisar el trabajo, sus valiosas aportaciones al mismo y la confianza que me han brindado.

Y como no mencionar al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en vista de que gracias a su programa de becas, no sólo me permitieron continuar con los estudios, sino también poder apoyar a mi familia.

Finalmente, a dos personas muy valiosas, Carlos I. García y Sixta H. Mendoza, quienes han compartido conmigo esta travesía y estuvieron ahí las veces que se llegó a poner difícil.

*Díos, hoy doy gracias por hoy y en tus manos confío mi mañana.*

# Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>5</b>
<b>Capítulo I</b>	
Zona de estudio .....	7
<b>Capítulo II</b>	
Sequía y Cambio Climático .....	<b>15</b>
2.1 Sequía Meteorológica.....	15
2.2 Escenarios de Cambio Climático .....	19
<b>Capítulo III</b>	
Análisis de frecuencias de lluvias acumuladas anuales .....	<b>21</b>
3.1 Distribuciones de probabilidad.....	21
3.2 Pruebas de Homogeneidad .....	23
3.3 Prueba de Independencia de Anderson .....	25
3.4 Prueba de Bondad de Ajuste .....	26
<b>Capítulo IV</b>	
Series de datos: Estadísticos y Técnicas Geoestadísticas .....	<b>29</b>
4.1 Método de Interpolación Inversa y base de datos .....	38
4.2 Estadísticos de las series de lluvia acumulada anual.....	47
<b>Capítulo V</b>	
Resultados .....	<b>49</b>
5.1 Independencia de las series de lluvia acumulada anual .....	49
5.2 Homogeneidad y tendencia de las series de lluvia .....	51
5.3 Estadísticos de las muestras de lluvia .....	60
5.4 Análisis de frecuencias de lluvia acumulada anual.....	62
<b>Conclusiones</b> .....	<b>89</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>91</b>



# Introducción

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 billones de  $\text{hm}^3$ , de los cuales el 97.5% es agua salada y el 2.5% es agua dulce, de esta cantidad casi el 70% se encuentra en glaciares, nieve y hielo, por esta razón, únicamente el 0.77% del agua dulce es accesible para el ser humano (CONAGUA, 2017).

Dado que la disponibilidad de agua dulce es muy poca, una de las mayores preocupaciones de la sociedad con relación al cambio climático se refiere a sus posibles efectos en los recursos hídricos.

El cambio climático es evidente y sus efectos en los recursos hídricos serán extensos, en general, en las latitudes altas se espera un incremento de la precipitación y el escurrimiento, mientras que en la zona en que se ubica el territorio mexicano, al contrario, se prevén importantes disminuciones, lo que ocasionará, aunado al aumento de población un incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre dichos recursos.

En contraste, los pronósticos de temperatura para diferentes escenarios indican que la temperatura media podría incrementarse  $4^{\circ}\text{C}$  en promedio al final del presente siglo, estos incrementos ocasionarían una mayor escasez de recursos hídricos en casi todo el país. Además de que, en el caso del territorio mexicano, es evidente el aumento en la ocurrencia de sequías, que se espera ocurran principalmente en el norte.

Los efectos del cambio climático, sobre la disponibilidad de agua y los cambios de temperatura, podrían derivar en el desplazamiento de las zonas de cultivo, a causa de que se experimentarán disminuciones de producción por hectárea, pudiendo llegar al punto en que algunos cultivos no podrán ser producidos en algunas zonas, incidiendo tanto en la población rural como en la seguridad alimentaria en general.

Se ha documentado que las industrias, asentamientos y sociedades más vulnerables son aquellas cuya economía está estrechamente vinculada a recursos sensibles al clima, siendo este el caso de las actividades agrícolas.

La agricultura en México es considerada como una de las actividades económicas con mayor relevancia ya que genera gran cantidad de empleos en el país; es considerada como el sector productivo más importante desde un punto vista económico y social, ya que de ésta depende la alimentación primaria de millones de personas y el incremento de la población productiva.

Las condiciones en que se desarrolla la agricultura en México, tanto de temporal como de riego, determinan también su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. El impacto sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alterará los rendimientos debido a que el inicio de la floración se modificará, mientras que el mayor impacto por la sequía prolongada y el incremento de la temperatura se apreciará en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales y el aumento de las plagas sobre los ya mencionados.

La zona dedicada a la producción agrícola en México es muy amplia ya que ocupa poco más del 13 por ciento del total del territorio nacional, lo que equivale a 145 millones de hectáreas dedicadas a esta actividad.

El estado de Sinaloa es el más importante productor de alimentos del país, y por tanto un gran consumidor de sus recursos hídricos, por lo que la asignación del agua a los diferentes usuarios debe estar sustentado en un análisis de disponibilidad, el cual parte en primera instancia de conocer el volumen de lluvia que se precipita en el estado.

En el capítulo uno se presentan las características del medio físico del estado de Sinaloa y de cada uno de sus municipios. En el capítulo dos se definen los conceptos de sequía y cambio climático. El capítulo tres presenta las distribuciones de probabilidad que se emplearán para determinar la disponibilidad de lluvia acumulada anual con diferente periodo de retorno, y las pruebas de independencia, homogeneidad y bondad de ajuste requeridas en dicho análisis. El capítulo cuatro presenta la ubicación de las estaciones climatológicas empleadas en este estudio, así como la técnica geoestadística utilizada para completar las series de datos disponibles. En el capítulo cinco se muestra la disponibilidad de agua en cada uno de los municipios del Estado de Sinaloa, considerando los escenarios bajo condiciones actuales y ante la presencia de sequías y cambio climático. Finalmente, el capítulo seis contiene las conclusiones obtenidas de esta tesis.

# Objetivos

## ☀ Objetivo General:

Analizar el impacto que tiene la consideración de varios factores sobre la disponibilidad del agua en el estado de Sinaloa.

## ☀ Objetivos Específicos:

- Estudiar el comportamiento que tiene la disponibilidad del agua en el estado de Sinaloa considerando el incremento de la población en dicho estado.
- Revisar cual sería el agua disponible si, aunado al aumento de la población también se consideran las temporadas de sequía que se pueden presentar en la zona de estudio.
- Analizar los resultados de la accesibilidad del agua si se toman en consideración algunos escenarios del Panel Intergubernamental de Cambio Climático.



# Capítulo I

## Zona de Estudio

El estado de Sinaloa tiene una superficie de 58,250 km<sup>2</sup>, equivalente al 2.9% del total del país (INEGI, 2015). Se encuentra situado entre los 22° 31' y 26° 56' de latitud norte y los 105° 24' y 109° 27' de longitud oeste, dentro de la planicie costera noroccidental, la cual colinda directamente con la Sierra Madre Occidental. El estado comprende los municipios de Ahome, Angostura, Badiraguato, Concordia, Cosalá, Culiacán, Choix, Elota, El Fuerte, Escuinapa, Guasave, Mazatlán, Mocorito, Navolato, Rosario, San Ignacio, Salvador Alvarado y Sinaloa, cuya ubicación se muestra en la Figura 1.1.

El sistema orográfico del estado de Sinaloa consiste en un conjunto de unidades montañosas que se desprenden de la Sierra Madre Occidental, introduciéndose a la entidad por los municipios que colindan con los estados de Nayarit, Durango, Chihuahua y Sonora.

El 80% de la superficie del estado se localiza por abajo de los 600 metros sobre el nivel del mar (msnm) y más de la mitad de la superficie del territorio se halla por abajo de los 150 msnm dando por resultado, una elevación media 344 msnm. Además, menos del 1% de la superficie sobrepasa los 1,820 metros de altitud.

El Estado es drenado por 11 corrientes hidrológicas que en conjunto acarrearán un promedio de 15,200 millones de metros cúbicos anuales, y se describen a continuación:

- 1) **Río El Fuerte.** Nace en Chihuahua con el nombre de Río Verde, recibe aguas del Urique y Chínipas, y al entrar a Sinaloa se le unen el Choix, Alamos y el arroyo de La Viuda. Su cuenca es de 33,590 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 4,838 Hm<sup>3</sup>.
- 2) **Río Sinaloa.** Nace en Chihuahua por la unión de las corrientes del Mohinora y Basoapa, recibiendo las aguas de otros arroyos en la entidad. Su cuenca es de 13,500 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 1,608 Hm<sup>3</sup>.
- 3) **Río Mocorito.** Nace en Sinaloa, en la Sierra de los Parra; pasa por Mocorito, Salvador Alvarado y Angostura. Su cuenca es de 600 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 134 Hm<sup>3</sup>.

# Capítulo I

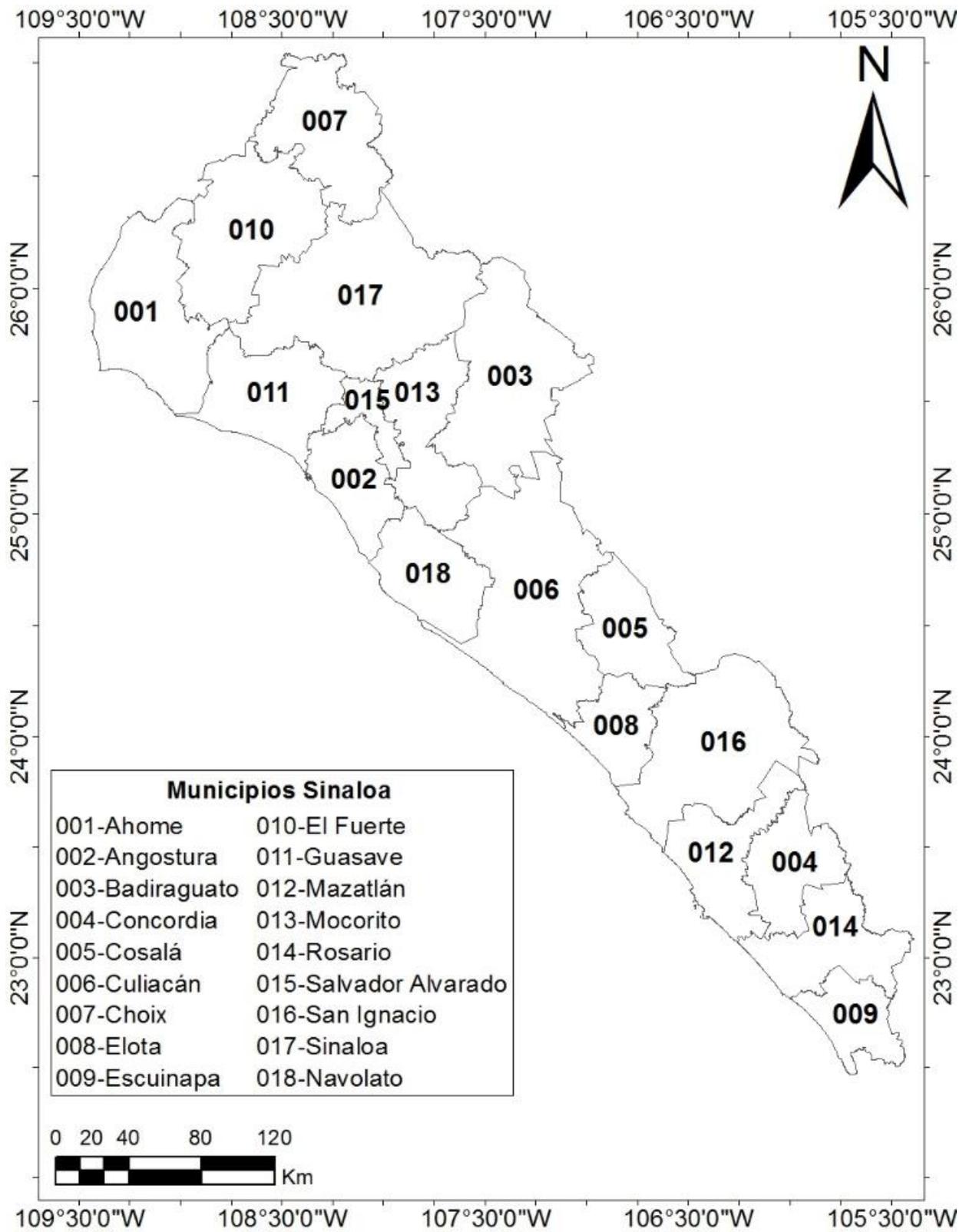


Figura 1.1 *Municipios que forman parte del estado de Sinaloa*

- 4) **Río Culiacán.** Originado en la confluencia del Humaya y Tamazula, el Humaya nace en Durango y recoge las aguas de varios arroyos, entre ellos, el de Badiraguato. Su cuenca es de 14,200 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 2,461 Hm<sup>3</sup>.
- 5) **Río San Lorenzo.** Nace en el Estado de Durango, donde forma el río de los Remedios, entra a Sinaloa por Cosalá, pasa por el municipio de Culiacán y desemboca en la Boca del Navito. Su cuenca es de 8,000 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 1,572 Hm<sup>3</sup>.
- 6) **Río Elota.** Nace en Durango y luego de pasar por Cosalá y Elota desemboca en la bahía de Ceuta. Su cuenca es de 1,800 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 444 Hm<sup>3</sup>.
- 7) **Río Piaxtla.** Nace en Durango, pasa por el municipio de San Ignacio y luego de recorrer 130 km entrega sus aguas en la Boca de Piaxtla. Su cuenca es de 6,200 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 1,357 Hm<sup>3</sup>.
- 8) **Río Quelite.** Nace en el municipio de San Ignacio y desemboca en Punta Roja en el Golfo de California. Tiene una longitud de 100 km, convirtiéndose en el río más pequeño de la entidad y tiene un volumen anual escurrido de 94 Hm<sup>3</sup>.
- 9) **Río Presidio.** Nace en Durango, pasa por la quebrada de Ventanas y en Sinaloa, atraviesa los municipios de Concordia y Mazatlán. Luego de recorrer 167 km, desemboca en la Boca de Barrón. Su cuenca es de 4,400 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 1,082 Hm<sup>3</sup>.
- 10) **Río Baluarte.** Nace en Durango donde recibe grandes afluentes. Sirve de límite a Durango y Sinaloa. Su cuenca es de 4,000 km<sup>2</sup> y tiene un volumen anual escurrido de 1,518 Hm<sup>3</sup>.
- 11) **Río Las Cañas.** Nace en Nayarit y sirve de límite entre los dos estados. Tiene un volumen anual escurrido de 92 Hm<sup>3</sup>.

El volumen escurrido por estas corrientes junto con la infraestructura hidráulica disponible son la base de la producción agrícola y de la generación de energía eléctrica.

A continuación, se hará una breve descripción de las características del medio físico de los municipios que forman el estado de Sinaloa.

*Ahome:* El municipio tiene una superficie de 4,343 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 451,777 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 33' 50" y 26° 21' 15" de latitud norte y 108° 46' 00" y 109° 27' 00" de longitud oeste. Limita al norte con el Golfo de California y el estado de Sonora; limita al poniente y al sur con el Golfo de California y al oriente con los municipios de Guasave y el Fuerte (INEGI, 2015). El terreno en general es

## Capítulo I

plano con presencia de serranías de poca elevación. Respecto a su hidrografía, el municipio es atravesado de noroeste a suroeste por el río Fuerte. Su temperatura y precipitación media anual son 24.9°C y 365.1 mm, respectivamente.

*Angostura:* El municipio tiene una superficie de 1,447 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 47,979 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 00' 43" y 23° 30' 00" de latitud norte y 107° 47' 03" y 108° 15' 19" de longitud oeste. Limita al noroeste con el municipio de Guasave, al norte y noroeste con el de Salvador Alvarado, al este con el de Mocorito, al sureste con el municipio de Navolato y al sur y al oeste con el Golfo de California (INEGI, 2015). El terreno en general está constituido por una vasta planicie con ligeras ondulaciones y cerros aislados. El municipio es atravesado por la parte norte por el río Mocorito. Su temperatura y precipitación media anual son 24.0°C y 520.7 mm, respectivamente.

*Badiraguato:* El municipio tiene una superficie de 5,864 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 30,224 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 13' 54" y 26° 17' 56" de latitud norte y 106° 51' 40" y 107° 40' 30" de longitud oeste. Limita al norte con el estado de Chihuahua, al sur con los municipios de Culiacán y Mocorito, al oeste con los de Mocorito y Sinaloa y al este con el estado de Durango. (INEGI, 2015). En la parte sur del municipio se presenta una configuración de lomeríos suaves con altitudes variables entre 200 y 600 metros; de la parte central hacia el norte, el terreno empieza a elevarse y presentarse más accidentado hasta adentrarse en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental en los linderos con el estado de Chihuahua. El municipio es atravesado por el río Badiraguato. Su temperatura y precipitación media anual son 22.2 °C y 999 mm, respectivamente.

*Choix:* El municipio tiene una superficie de 4,512 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 34,663 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 26° 14' 37" y 27° 02' 31" de latitud norte y 108° 04' 25" y 108° 50' 40" de longitud oeste. Limita al norte con los estados de Sonora y Chihuahua; al este con el estado de Chihuahua; al sur con los municipios de Sinaloa y El Fuerte, y al oeste con el municipio de El Fuerte y el estado de Sonora (INEGI, 2015). El municipio es atravesado por el río El Fuerte. Su temperatura y precipitación media anual son 25.0°C y 807.7 mm, respectivamente.

*Concordia:* El municipio tiene una superficie de 1,524 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 30,340 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 23° 08' 30" y 23° 50' 45" de latitud norte y 105° 29' 37" y 106° 06' 12" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Mazatlán y el estado de Durango; al este con el estado de Durango y el municipio de Rosario; al sur con el municipio de Rosario y al poniente con el municipio de Mazatlán (INEGI, 2015). Su temperatura y precipitación media anual son 21.0°C y 1037.5 mm, respectivamente.

*Cosalá:* El municipio tiene una superficie de 2,665 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 16,789 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 24° 07' 55" y 24° 49' 20" de latitud norte y 107° 06' 07" y 106° 25' 15" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Mazatlán y el estado de Durango; al este con el estado de Durango y el municipio de Rosario; al sur con el municipio de Rosario y al poniente con el municipio de Mazatlán (INEGI, 2015). La orografía del municipio se muy accidentada derivada de las ramificaciones de la Sierra Madre Occidental y se pueden encontrar elevaciones de hasta 2,292 metros sobre el nivel del mar. Su temperatura y precipitación media anual son 24.7°C y 1046.2 mm, respectivamente.

*Culiacán:* El municipio tiene una superficie de 4,758 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 938,710 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 24° 02' 10" y 25° 14' 16" de latitud norte y 106° 56' 50" y 107° 50' 15" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Badiraguato, al sur con el golfo de California, al este con el municipio de Cosalá y el estado de Durango; al oeste con el municipio de Navolato; al noroeste con el estado de Durango; al noroeste con Navolato y Mocorito; al suroeste con Elota y Cosalá, y al suroeste con Navolato y el Golfo de California (INEGI, 2015). El relieve del municipio se encuentra bien definido por una parte montañosa y la planicie costera. El municipio es atravesado por cuatro corrientes: los ríos Humaya, Tamazula, Culiacán y San Lorenzo. Su temperatura y precipitación media anual son 25.2°C y 711.2 mm, respectivamente.

*El Fuerte:* El municipio tiene una superficie de 3,843 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 103,932 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 53' 29" y 26° 38' 47" de latitud norte y 108° 16' 47" y 109° 04' 42" de longitud oeste. Limita al norte con Sonora y el municipio de Choix; al sur con los municipios de Ahome, Guasave y Sinaloa; al poniente

## Capítulo I

con Sonora y Ahome, y al oriente con los municipios de Choix y Sinaloa (INEGI, 2015). Respecto a su hidrografía, el municipio es atravesado por el río El Fuerte. Su temperatura y precipitación media anual son 24.5°C y 524.7 mm, respectivamente.

*Elota:* El municipio tiene una superficie de 1,518 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 42,908 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 23° 49' 07" y 24° 24' 12" de latitud norte y 106° 27' 00" y 107° 10' 00" de longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Cosalá y Culiacán; al sur con el municipio de San Ignacio; al este con los municipios de Cosalá y San Ignacio y al oeste con el Golfo de California (INEGI, 2015). El relieve del municipio lo componen sierras de poca elevación y es atravesado por el río Elota. Su temperatura y precipitación media anual son 24.4°C y 699.1 mm, respectivamente.

*Escuinapa:* El municipio tiene una superficie de 1,633 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 58,708 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 22° 28' 00" y 22° 57' 10" de latitud norte y 105° 26' 17" y 105° 55' 15" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Rosario, al sur con el estado de Nayarit y el municipio de Rosario y al poniente con el océano Pacífico (INEGI, 2015). El municipio es atravesado por el río de Las Cañas. Su temperatura y precipitación media anual son 25.8°C y 1,098.8 mm, respectivamente.

*Guasave:* El municipio tiene una superficie de 3,464 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 307,083 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 19' 04" y 25° 56' 36" de latitud norte y 108° 05' 26" y 108° 47' 24" de longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Ahome, El Fuerte y Sinaloa; al este con los municipios de Salvador Alvarado y Angostura; al sur y al oeste con el Golfo de California y al noroeste con el municipio de Ahome (INEGI, 2015). La configuración orográfica del municipio está formada por amplias llanuras que integran el valle agrícola del municipio y es atravesado por el río Sinaloa. Su temperatura y precipitación media anual son 24.8°C y 441.6 mm, respectivamente.

*Mazatlán:* El municipio tiene una superficie de 3,068 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 479,344 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 23° 04' 25" y 23° 50' 22" de latitud norte y 105° 46' 23" y 106° 30' 51" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de San Ignacio y el estado de Durango; al este con el municipio de Concordia; al sur con el municipio de Rosario y el océano Pacífico y al oeste con el océano Pacífico (INEGI, 2015). La configuración orográfica es accidentada, y va desde el nivel del mar hasta

los 1,900 metros y su superficie es atravesada por los ríos Presidio y Quelite. Su temperatura y precipitación media anual son 25.1°C y 725.1 mm, respectivamente.

*Mocorito:* El municipio tiene una superficie de 2,566 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 48,099 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 24° 58' 42" y 25° 51' 10" de latitud norte y 107° 31' 25" y 108° 02' 55" de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Sinaloa, al sur con Navolato, al sureste con Culiacán, al este con Badiraguato y al oeste con Salvador Alvarado y Angostura (INEGI, 2015). La configuración orográfica es variable, que va desde zonas planas hasta elevaciones de 959 metros. Su superficie la atraviesa el río Mocorito. Su temperatura y precipitación media anual son 24.5°C y 714.2 mm, respectivamente.

*Navolato:* El municipio tiene una superficie de 2,285 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 141,375 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 24° 25' 45" y 25° 59' 30" de latitud norte y 107° 14' 00" y 108° 04' 50" de longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Mocorito y Angostura, al sur, oeste, noroeste, sureste y suroeste con el Golfo de California y al este y noroeste con el municipio de Culiacán (INEGI, 2015). La configuración orográfica es predominantemente plana y su superficie la atraviesa el río Culiacán. Su temperatura y precipitación media anual son 25.2°C y 648 mm, respectivamente.

*Rosario:* El municipio tiene una superficie de 2,723 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 52,241 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 22° 47' 35" y 25° 30' 00" de latitud norte y 105° 11' 16" y 106° 03' 02" de longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Mazatlán, Concordia y el estado de Durango, al este con los estados de Durango y Nayarit, al sur con el municipio de Escuinapa y al oeste con el océano Pacífico (INEGI, 2015). La configuración orográfica es variable, desde el nivel del mar hasta la zona de la Sierra Madre Occidental. Respecto a su hidrografía, el municipio es atravesado por el río Baluarte. Su temperatura y precipitación media anual son 24.8°C y 941.8 mm, respectivamente.

*Salvador Alvarado:* El municipio tiene una superficie de 1,197 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 84,230 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 11' 03" y 25° 43' 47" de latitud norte y 107° 44' 00" y 108° 12' 11" de longitud oeste. Limita al norte con los

## Capítulo I

municipios de Sinaloa y Guasave; al sur con el municipio de Angostura; al este con el municipio de Mocorito y al oeste con el municipio de Angostura (INEGI, 2015). La configuración orográfica es muy variable con elevaciones de 50 a 684 metros. El municipio es atravesado por el río Mocorito. Su temperatura y precipitación media anual son 25.1°C y 591.5 mm, respectivamente.

*San Ignacio:* El municipio tiene una superficie de 4,651 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 22,910 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 23° 31' 20" y 24° 26' 19" de latitud norte y 105° 44' 45" y 106° 44' 01" de longitud oeste. Limita al norte con el estado de Durango y el municipio de Cosalá, al extremo sur con el municipio de Mazatlán y el océano Pacífico, al este con el estado de Durango y el municipio de Mazatlán y al oeste, con el municipio de Elota y el océano Pacífico (INEGI, 2015). La configuración orográfica es muy accidentada, con elevaciones que varían desde los 250 a los 2,292 metros y es atravesado por el río Piaxtla. Su temperatura y precipitación media anual son 24.7°C y 847.4 mm, respectivamente.

*Sinaloa:* El municipio tiene una superficie de 6,186 km<sup>2</sup> y contaba para el año 2015 con una población de 93,165 habitantes. Se ubica entre las coordenadas 25° 39' 54" y 26° 25' 49" de latitud norte y 107° 27' 56" y 108° 40' 22" de longitud oeste. Limita al norte con el estado de Chihuahua y los municipios de El Fuerte y Choix; al este limita con el estado de Chihuahua y el municipio de Badiraguato; al sur colinda con los municipios de Guasave, Salvador Alvarado y Mocorito y al oeste con los municipios de El Fuerte y Guasave (INEGI, 2015). La configuración orográfica es predominantemente montañosa y el municipio es atravesado por el río Sinaloa. Su temperatura y precipitación media anual son 24.4°C y 735.2 mm, respectivamente.

# Capítulo II

## Sequía y escenarios del Cambio Climático

### 2.1 Sequía Meteorológica

La alteración del ciclo hidrológico tiene efectos adversos sobre las actividades humanas y los ecosistemas, tales como, mayor riesgo de inundaciones en zonas urbanas, mayor erosión debido al incremento en la intensidad de las lluvias y la presencia de sequías más severas (Milly et al, 2008; Gleick, 1989).

La sequía es uno de los fenómenos naturales más devastadores y su presencia puede reducir tanto los volúmenes de agua almacenada en presas como la recarga de los acuíferos, afectando a la agricultura, la ganadería, las actividades industriales, así como, la generación de energía eléctrica. Factores tales como el crecimiento de la población, la pobreza, las prácticas ilegales de la gestión territorial, la explotación irracional de los recursos naturales, la deforestación y la desertificación hacen a la población más vulnerable a las sequías.

México sufre una sequía en promedio cada cuatro años con una duración de dos años (Escalante y Reyes, 2005). La zona más afectada es el norte debido a su ubicación en el cinturón desértico del este hemisferio; sin embargo, en algunas áreas que tradicionalmente han disfrutado de la abundancia de agua, las sequías pueden causar problemas de falta de suministro de este recurso. En el periodo comprendido entre los años 2010 a 2012 el país sufrió un periodo de sequía extrema, que se tradujo en daños de aproximadamente \$1,500 millones de dólares, y aunque afectó dos tercios del territorio nacional, los mayores daños a cultivos y ganado se produjeron en los estados del norte, esto es, en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa y Zacatecas.

La estrategia más importante para mitigar los efectos de la sequía consiste en tener planes de contingencia, los cuales incluyen acciones preventivas y atenuantes. Sin embargo, en México los planes hidráulicos se proponen teniendo en cuenta la evolución de la disponibilidad y demanda de agua en el largo plazo y no se usa explícitamente la tendencia de los patrones climáticos y la

## Capítulo II

presencia de las sequías. Como resultado, todo plan hidráulico tiende a cambiar en respuesta a un periodo de escasez no previsto durante la fase de planificación.

Es así, que el conocimiento de los volúmenes utilizados por los usuarios, junto con la disponibilidad del agua de lluvia, y de los volúmenes de agua superficial y subterránea, deben constituir la base para el establecimiento, revisión y modificación de reglamentos, prohibiciones y reservas nacionales aguas.

Las sequías son manifestaciones de las fluctuaciones climáticas asociadas con las anomalías de gran escala de los patrones de circulación atmosférica, la deforestación, el cambio de uso de suelo, la desertificación y las actividades humanas. Esencialmente, las sequías provocan la disminución o ausencia de precipitación sobre una región por largos periodos de tiempo.

Se tienen serias dificultades para encontrar una definición única para el término sequía (Yevjevich, 1983). Las definiciones dependen del enfoque con que se traten, ya sea desde el punto de vista profesional (meteorología, hidrología, geografía, desarrollo de los aprovechamientos hidráulicos, etc.) o de la actividad económica que afectan (agricultura, industria, producción de energía eléctrica, suministro de agua para consumo doméstico, la navegación y la recreación).

En la publicación de Escalante y Reyes (2005) se encuentran las siguientes definiciones de sequía:

---

*Una sequía meteorológica se presenta cuando la precipitación durante un cierto período de tiempo es significativamente más pequeña que el promedio a largo plazo o que un valor crítico. Se caracterizan por la presencia de altas temperaturas, baja humedad en el ambiente y vientos fuertes.*

---

---

*Una sequía agrícola ocurre cuando no existe en cierto tiempo la suficiente humedad en el suelo que satisfaga las necesidades para el desarrollo óptimo de un cultivo. Las sequías agrícolas suceden después que las meteorológicas, pero antes de las hidrológicas. Las áreas de temporal son las que resienten más este tipo de eventos, aún en los casos en que las sequías sean relativamente moderadas, ya que si ocurre en periodos tempranos afecta el periodo de siembra, en tanto que si ocurre en etapas avanzadas puede disminuir drásticamente la calidad y volumen de la producción.*

---

---

*Una sequía hidrológica ocurre cuando existe un déficit de agua, tanto de precipitación como de escurrimiento superficial y subterráneo. Esta sequía puede causar severos daños a la población, ya que sus efectos y su recuperación son a largo plazo.*

---

Comparado con otros fenómenos naturales los impactos que provocan las sequías son generalmente no estructurales, y están en función de la afectación a los diversos sectores económicos y productivos asociados con la oferta y demanda de bienes y servicios que aquellos que ofrecen, y el desequilibrio debido a las condiciones naturales y de baja humedad que se produce cuando la demanda supera a la oferta. Cuando se presenta una sequía sus efectos se manifiestan en (Escalante y Reyes, 2005):

#### *Impactos ambientales*

- Degradación y pérdida de nutrientes de los suelos debido a la erosión eólica e hídrica.
- Desertización de los suelos.
- Degradación y/o destrucción de los bosques (incendios forestales).
- Deshidratación y muerte de la flora.
- Migración y/o muerte de la fauna.
- Disminución en la recarga de acuíferos.
- Sobreexplotación de acuíferos.
- Nivel de agua en embalses menor a la prevista.
- Afectación en la calidad del agua, por la alta concentración de sales y contaminantes.
- Afectación en la calidad del aire (polvo y concentración de contaminantes).
- Alteración del paisaje.

#### *Impactos económicos*

- Disminución o pérdida total del hato ganadero debido al alto costo y baja disponibilidad de agua y alimentos.
- Daño perenne a los cultivos y reducción de la producción agrícola, lo que genera el fenómeno de escasez, especulación y encarecimiento de alimentos.
- Pérdidas económicas de la industria que es directamente dependiente de la producción agrícola (empresas de fertilizantes, maquinaria agrícola y procesadores de alimentos).

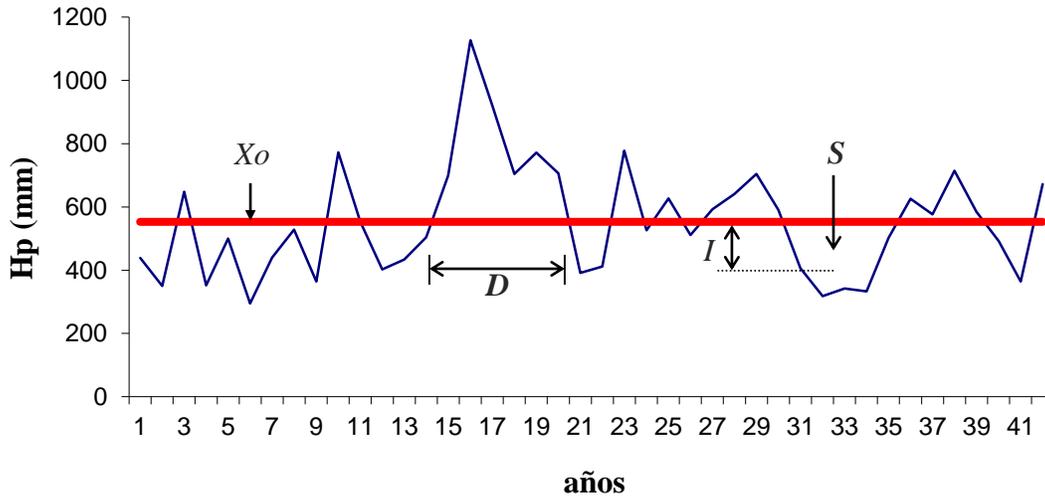
## Capítulo II

- Reducción en la producción de madera debido a los incendios forestales y a la infestación de insectos.
- Reducción en la producción pesquera debido a la insuficiencia de agua para el desarrollo de las especies.
- Reducción en la generación de energía hidroeléctrica.
- Reducción de la actividad industrial generada por cortes en la producción y descenso en la calidad de los productos, lo cual repercute en la economía y en la generación de empleos.
- Distracción de fondos públicos para mitigar los efectos de las sequías.

### *Impactos sociales*

- Conflictos entre los diferentes usuarios del agua.
- Deterioro en la salud pública debido a epidemias, hambruna y mortandad.
- Migración campesina del área rural hacia condiciones negativas de subsistencia con el consecuente empobrecimiento de los campesinos.
- Reducción significativa de la demanda de empleos debido a la reducción de los procesos productivos.
- Decremento de la calidad de vida de los sectores más desprotegidos.

Una vez que se presupone o se sabe que existe una sequía, es importante cuantificarla para tomar un curso de acción. Los primeros pasos en esa incierta catalogación es la determinación de las características intrínsecas de la sequía. Éstas son la duración “D”, la magnitud o intensidad “I” (valor promedio del déficit) y la severidad “S” (valor acumulado del déficit), los cuales se presentan en la Figura 2.1 (Salas et al, 1988). Existen técnicas que permiten caracterizar a una sequía a través del análisis de las series de tiempo, donde un elemento muy importante es el llamado nivel de truncamiento o umbral “Xo”, el cual permite distinguir las sequías de otros eventos en los datos históricos. En el caso de la sequía meteorológica el umbral es el valor de la lluvia media anual.



**Figura 2.1.** *Parámetros fundamentales para el análisis de la sequía meteorológica*

Por otra parte, Escalante y Reyes (2013) establecieron que el valor estimado mediante un análisis de frecuencias de las lluvias acumuladas anuales (mínimos) de periodo de retorno de cinco años corresponde a la lluvia esperada en periodo de sequía, en tanto que el de diez años corresponde a la lámina de lluvia esperada, también en estiaje, pero que considera la variabilidad del comportamiento de la lluvia (una desviación estándar).

## 2.2 Escenarios del Cambio Climático

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) estableció en su quinto reporte de evaluación que el cambio climático es real y afectará a todos los niveles de población (IPCC, 2013).

Para su quinto informe de evaluación (IPCC, 2013), el IPCC utilizó un conjunto de escenarios denominados “Trayectorias de Concentración Representativa” (RCP), los cuales son proyecciones climáticas de diferentes trayectorias de modificación del forzamiento radiactivo en la tropopausa, expresados en ( $W/m^2$ ).

En México, el “Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático” realizó un análisis climático regional (Cavazos et al., 2013), considerando quince Modelos de Clima Global (MCG) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, fase 5 (CMIP5, 2013) propuestos en el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El análisis se llevó a cabo generando un ensamble de los

## Capítulo II

resultados de los 15 MCG para predecir las posibles modificaciones en los patrones de temperatura y lluvia, bajo las condiciones prevalecientes de los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 en el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099). Las anomalías mensuales de las variables climáticas (precipitación y temperaturas máxima, mínima y media) para cada escenario RCP se pueden obtener de una malla de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , desde los 15.25 grados hasta los 34.75 grados, latitud norte y de los 74.75 grados a los 121.25 grados longitud oeste.

En este estudio se analizaron las posibles modificaciones de la disponibilidad per cápita de agua a nivel municipal y estatal de Sinaloa, para los casos de estabilización en el futuro cercano RCP4.5 (2015-2039) y de altas emisiones en el futuro lejano RCP8.5 (2075-2099).

# Capítulo III

## Análisis de frecuencias de lluvias acumuladas anuales

### 3.1 Distribuciones de Probabilidad

La disponibilidad de lluvia anual para diferentes periodos de retorno se determinará al ajustar la mejor distribución de probabilidad acumulada para valores mínimos (Gumbel, 1958; Chow, 1964; Al-Mashidani et al. 1980; Onoz and Bayazit, 1999; Kroll and Vogel, 2002).

La distribución Gumbel (**G**) es:

$$F(x) = \exp^{-\exp\left(-\frac{v-x}{\alpha}\right)} \quad (3.1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp^{-\exp\left(-\frac{v-x}{\alpha}\right)} \exp\left(-\frac{v-x}{\alpha}\right) \quad (3.2)$$

Donde:

$v$  y  $\alpha$ : Son los parámetros de ubicación y escala

La distribución Weibull con tres parámetros (**W3**) es:

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right)^\alpha\right] \quad (3.3)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta-\gamma} \left[\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right]^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right)^\alpha\right] \quad (3.4)$$

Donde:

$\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ : Son los parámetros de forma, escala y ubicación.

La función de densidad Log-Normal con tres parámetros (**LN3**) es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right] \quad (3.5)$$

### Capítulo III

Donde:

$x_0$ ,  $\mu_y$  y  $\sigma_y$ : Son los parámetros de ubicación, forma y escala.

La función de densidad Gamma con tres parámetros (**G3**) es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right) \quad (3.6)$$

Donde:

$x_0$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ : Son los parámetros de ubicación, forma y escala.

Con la finalidad de alcanzar mayor flexibilidad en el modelado de las series de lluvia se ha propuesto la aplicación de distribuciones mezcladas para mínimos (Escalante y Orsini, 2012).

El modelo general para ajustar muestras provenientes de dos poblaciones es (Mood et al, 1974):

$$F(x) = pF_1(x) + (1-p)F_2(x) \quad (3.7)$$

Donde:

$p$ : Es la proporción de  $x$  en la mezcla ( $0 < p < 1$ )

$F(x)$ : Es la mezcla de distribuciones.

En particular, las distribuciones **G** y **W3** se pueden emplear en (3.7) para generar un conjunto más flexible de distribuciones, tal que se pueden tener las combinaciones mezcladas: **GG**, **GW3**, **W3G** y **W3W3** (Escalante y Orsini, 2012).

Los parámetros de la distribución (3.7) se obtienen por el método de máxima verosimilitud. Para el caso de la función **GW3** se deberá maximizar la función de LogVerosimilitud:

$$\ln L = \ln \left\{ \prod_{i=1}^n \left[ p \left( \frac{1}{\alpha_1} \exp^{-\exp\left(\frac{v-x_i}{\alpha_1}\right)} \exp\left(\frac{v-x_i}{\alpha_1}\right) \right) + (1-p) \left( \frac{\alpha_2}{\beta-\gamma} \left( \frac{x_i-\gamma}{\beta-\gamma} \right)^{\alpha_2-1} \exp\left(-\left(\frac{x_i-\gamma}{\beta-\gamma}\right)^{\alpha_2}\right) \right) \right] \right\} \quad (3.8)$$

El procedimiento consiste en obtener y resolver un sistema de ecuaciones formado por:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \phi_i} = 0 \quad (3.9)$$

Para  $i = 1$  hasta  $mp$  número de parámetros de la distribución.

Dada la complejidad de las expresiones obtenidas en (3.8) y de las derivadas parciales con respecto a los parámetros en (3.9), se propone aplicar el método de optimización multivariable restringido de Rosenbrock (Kuester y Mize, 1973) para la directa maximización de (3.8). Cabe mencionar que este mismo esquema se utilizó para obtener los parámetros de las distribuciones unimodales **G**, **W3**, **LN3** y **GM3**.

Las fases de planeación, diseño, construcción y operación de los aprovechamientos hidráulicos están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros. Así, el análisis de frecuencias de las lluvias acumuladas anuales se emplea para proveer la magnitud de un evento  $\hat{H}p_T$ , de cierto periodo de retorno T, para determinar disponibilidad del recurso hídrico con propósitos de planeación.

El período de retorno se define como el número de años que transcurren en promedio para que un evento de magnitud dada  $x$  sea igualado o excedido por lo menos una vez en ese periodo de tiempo.

$$T = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{[1 - P(X \leq x)]} \quad (3.10)$$

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias se deben realizar previamente pruebas de homogeneidad e independencia de las series.

### 3.2 Pruebas de Homogeneidad

Una serie de tiempo se considera como estacionaria si sus propiedades estadísticas no se afectan por la selección de su origen en el tiempo. Cuando una serie presenta cambios abruptos o tendencias se dice que existen inconsistencia o no-homogeneidades (Yevjevich y Jeng, 1969).

En esta tesis se utilizaron la prueba no paramétrica de Pettitt (Pettitt, 1979) para el análisis de los puntos de cambio, y la prueba de Mann-Kendall (Kundzewics and Robson, 2004) para detectar la presencia de tendencias monotónicas.

#### *Prueba de Pettitt*

Para una secuencia de variables aleatorias  $X_1, X_2, \dots, X_T$ , la prueba de Pettitt compara los rangos  $r_i$  basados en las observaciones hechas antes ( $t = 1, \dots, \tau$ ) y después ( $t = \tau + 1, \dots, T$ ) de una posición temporal  $t$ , considerando un punto de cambio en  $\tau$ , vía el estadístico  $U_{t,T}$ :

### Capítulo III

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T D_{ij} \quad (3.11)$$

Donde:

$D_{ij}$ : Es el signo de la diferencia para cada par de valores de la secuencia  $(X_i - X_j)$ , y:

$$\text{signo}(y) = 1 \text{ si } y > 0$$

$$\text{signo}(y) = 0 \text{ si } y = 0$$

$$\text{signo}(y) = -1 \text{ si } y < 0$$

El valor  $K_T = \max |U_{t,T}|$  da la posición del posible punto de cambio  $\tau$  para  $1 \leq \tau < T$ . La probabilidad asociada con  $K_T$  es:

$$\rho \approx 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 - T^2}\right) \quad (3.12)$$

Si  $\rho$  es más pequeño que el nivel de significancia, por ejemplo, 0.05, la hipótesis nula ( $H_0 =$  no cambio) se rechaza y se acepta que hay un punto de cambio significativo ( $H_1 =$  hay cambio).

#### *Prueba de Mann-Kendall*

Para un conjunto de observaciones  $x_i$  y  $x_j$  con  $j > i$  el estadístico de Mann-Kendall es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signo}(x_j - x_i) \quad (3.13)$$

Donde:

$n$ : es la longitud de registro, y

$$\text{signo}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

Cuando  $n \geq 8$  el estadístico  $S$  esta normalmente distribuido, con media y varianza:

$$E(S) = 0 \quad (3.15)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3.16)$$

El estadístico de prueba de Mann-Kendal es:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

La hipótesis nula ( $H_0 =$  no tendencia) se rechaza cuando  $Z_{MK} > Z_{\alpha/2}$  o  $Z_{MK} < -Z_{\alpha/2}$ , donde  $Z_{\alpha/2}$  es la variable normal estándar ( $H_1 =$  hay tendencia).

### 3.3 Pruebas de Independencia de Anderson

Las expresiones (3.18) y (3.19) son fundamentales para determinar si una serie de tiempo hidrológica está conformada por variables aleatorias, y que pueda ser sujeta a un posterior análisis de frecuencias (Salas et al., 1980):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (3.18)$$

Que deberán estar dentro de sus límites de confianza:

$$r_k (95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (3.19)$$

Donde:

$k$ : es el tiempo de retraso.

$n$ : es la longitud de registro disponible.

La gráfica de los valores estimados para  $r_k$  (ordenadas) contra los tiempos de retraso  $k$  (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza (3.19) se le llama correlograma de la muestra (**Figura 3.1. Correlograma de una serie de tiempo**).

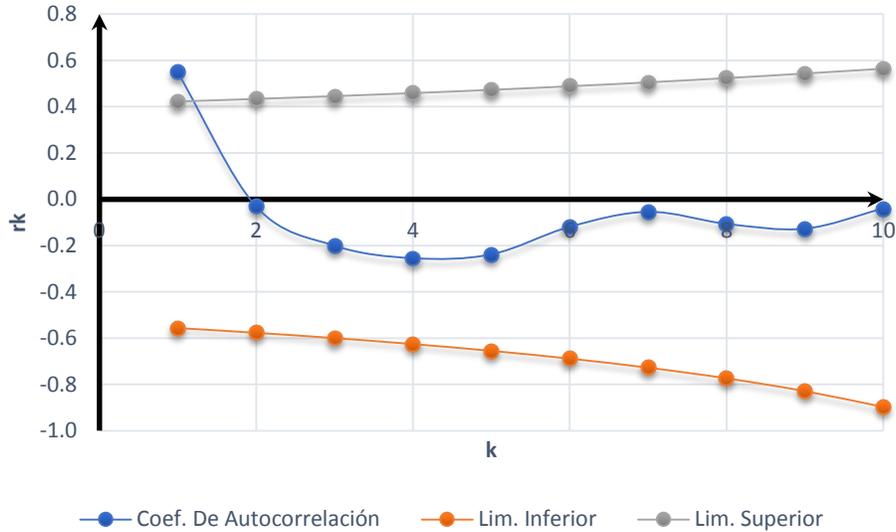


Figura 3.1. Correlograma de una serie de tiempo

Si y solo si el 10% de los valores  $r_k$  sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie de lluvia anual es independiente, y por tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

### 3.4 Pruebas de Bondad de Ajuste

Kite (1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos  $H_{p_i}$  para  $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$ . Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y tiene la forma:

$$EE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\hat{H}_{p_T} - H_{p_T})^2}{n_j - mp} \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

Donde:

$H_{p_T}$ : Son los eventos  $H_{p_i}$  ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado

$T = \frac{n+1}{m}$  y una probabilidad de no excedencia  $P = 1 - \frac{1}{T}$ .

n: Es la longitud del registro.

m: es el número de orden del registro ( $m = 1$  para el evento más grande y  $m = n$  para el evento más chico).

$\hat{H}p_T$ : Son los eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asignado a la muestra ordenada  $H_{pi}$ .

mp: Es el número de parámetros de la distribución ajustada.

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico  $EE$ . Si una o más distribuciones tienen valores similares del  $EE$ , entonces, se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros.

## Capítulo III

# Capítulo IV

## Series de datos: Estadísticos y Técnicas Geoestadísticas

En este trabajo se utilizará la información de 106 estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CLICOM, 2017), cuya ubicación se muestra en las Figuras 4.1 a 4.18.

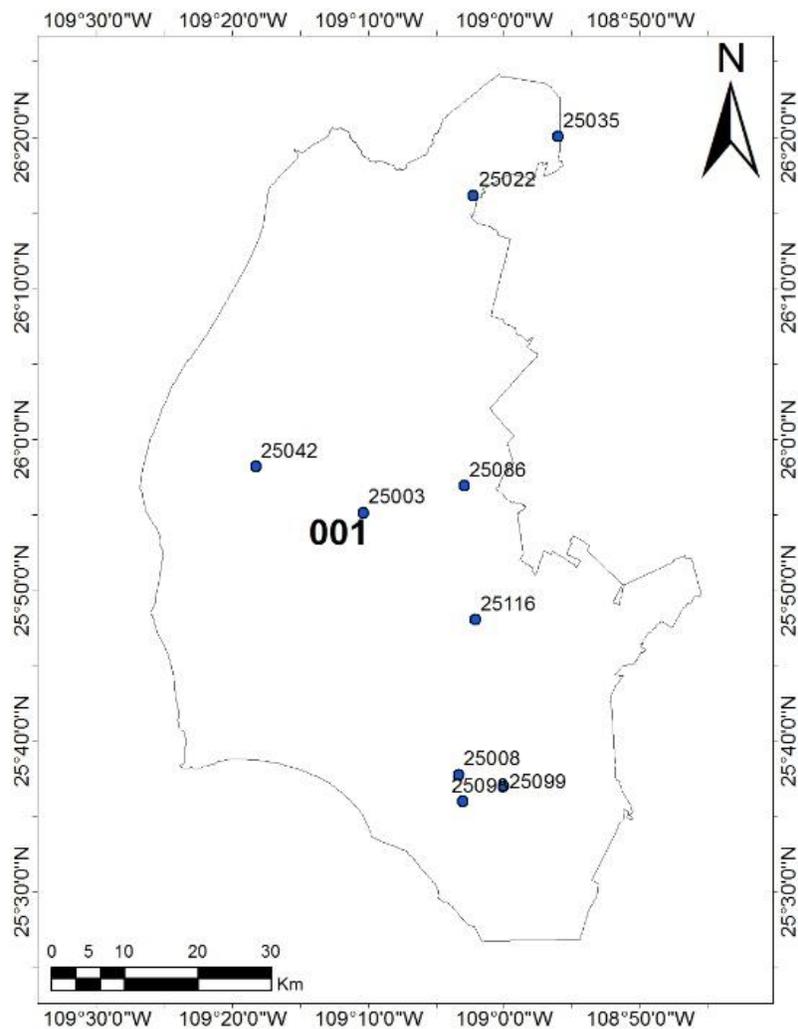


Figura 4.1 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de Ahome, Sin.

## Capítulo IV

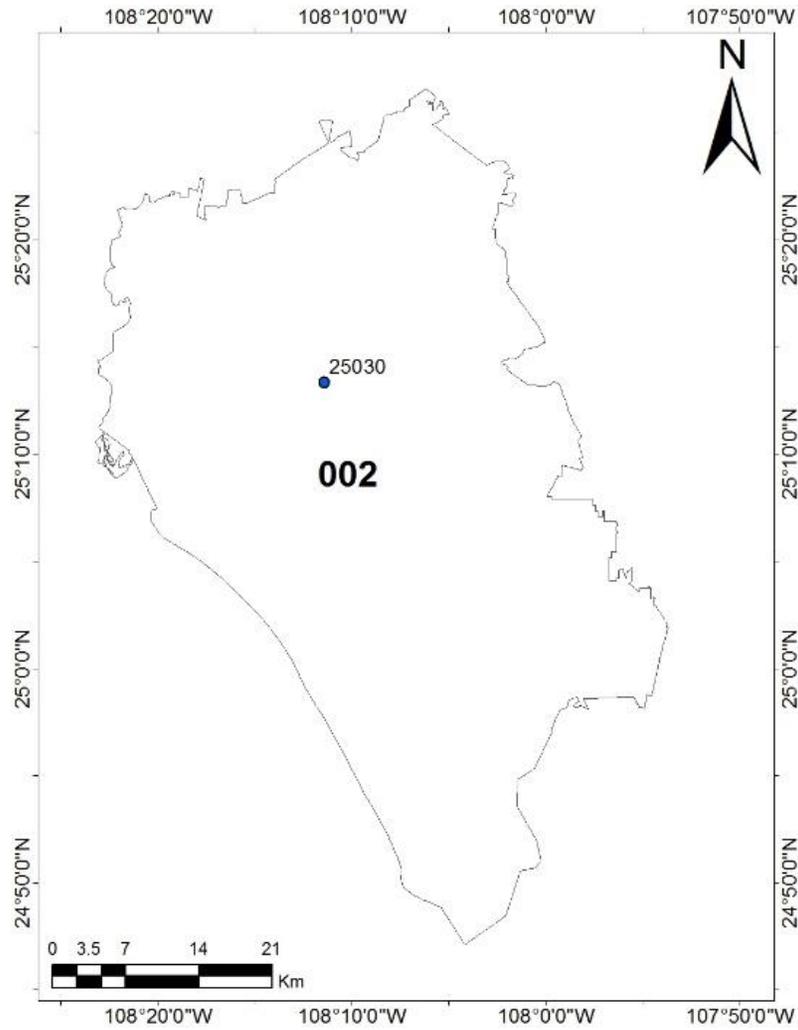


Figura 4.2 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Angostura, Sin.*

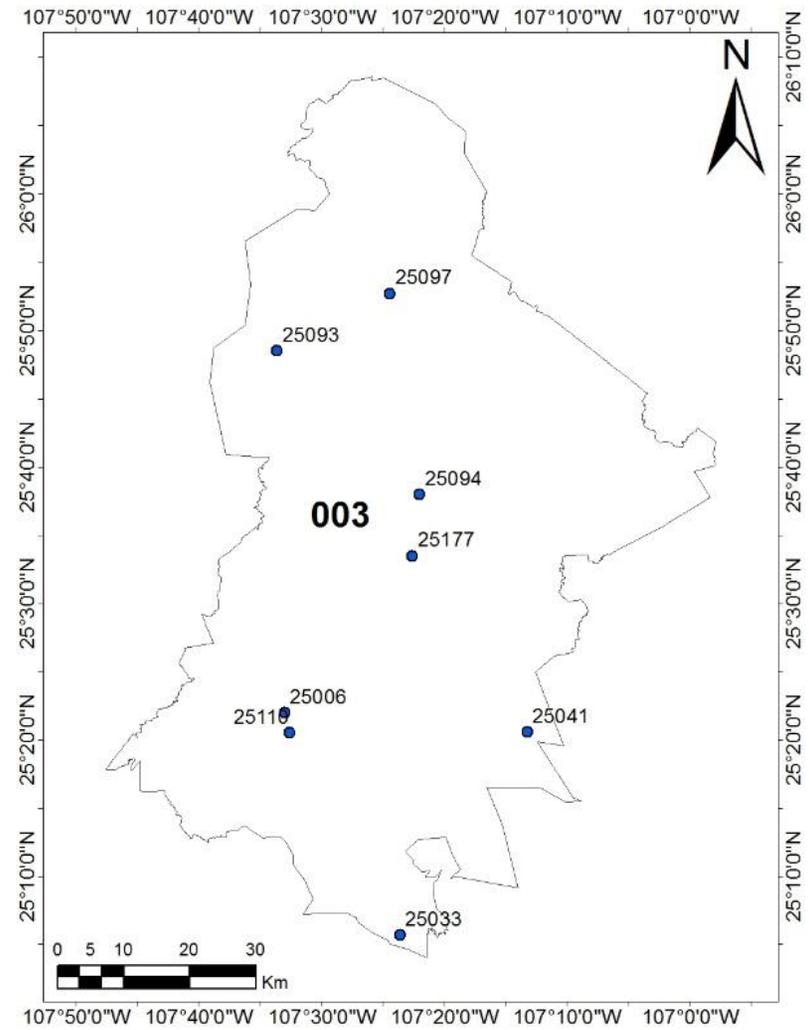


Figura 4.3 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Badiraguato, Sin.*

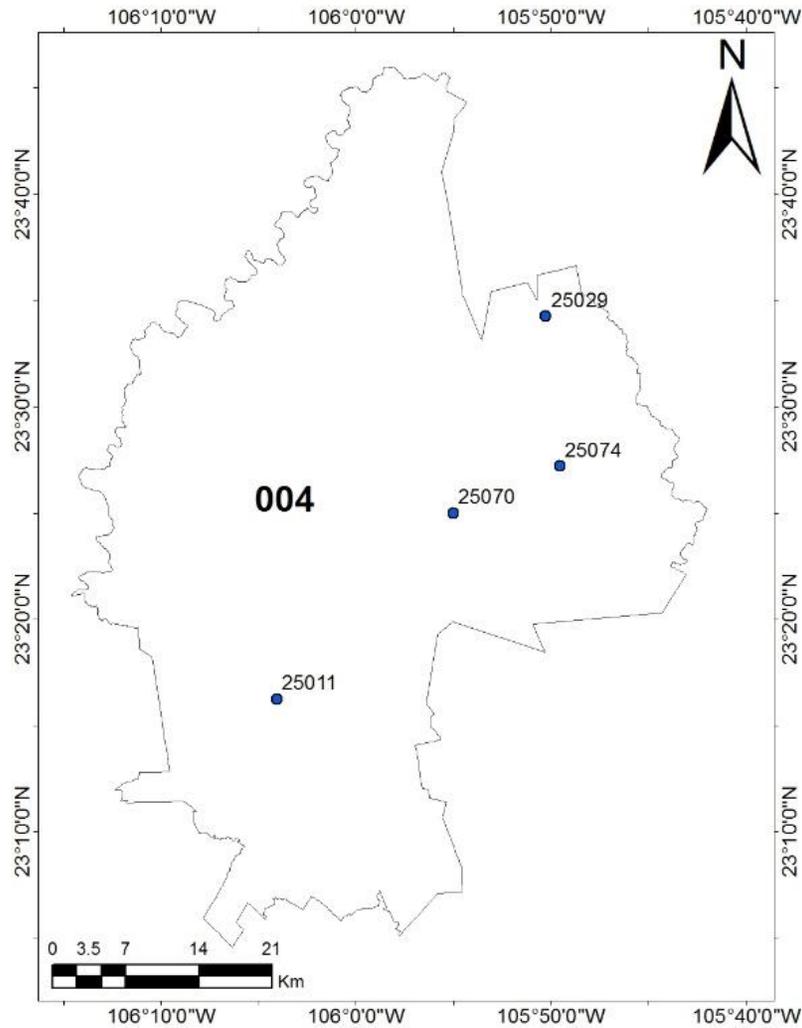


Figura 4.4 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Concordia, Sin.*

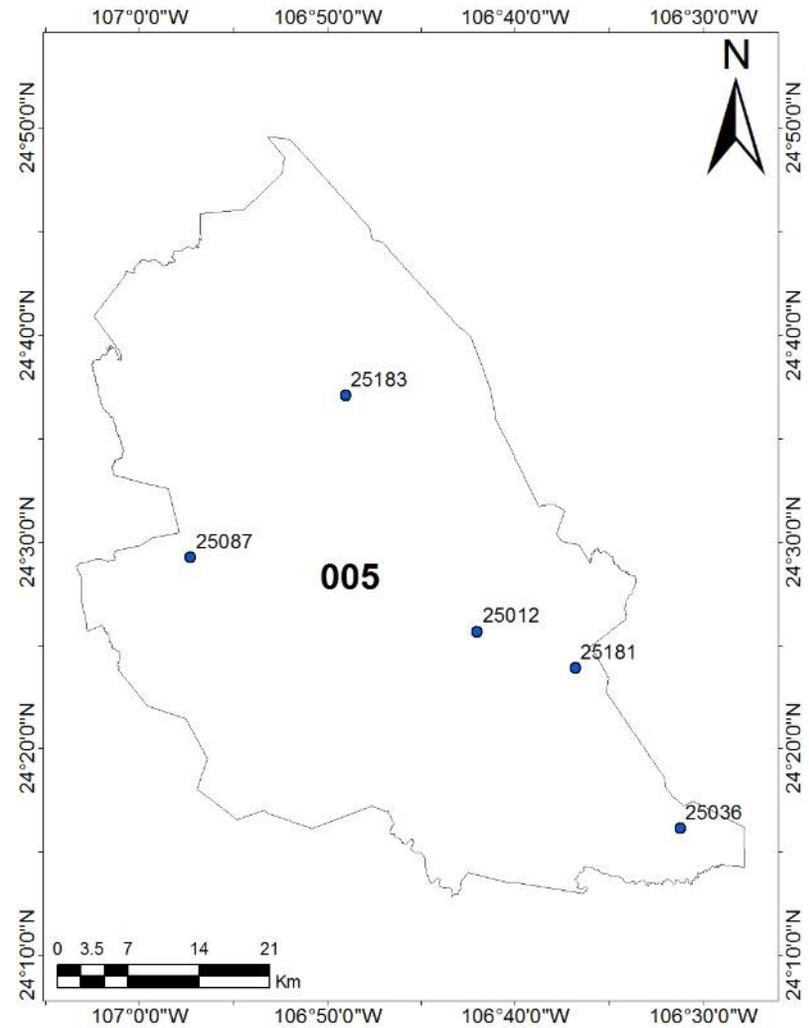


Figura 4.5 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Cosalá, Sin.*

## Capítulo IV

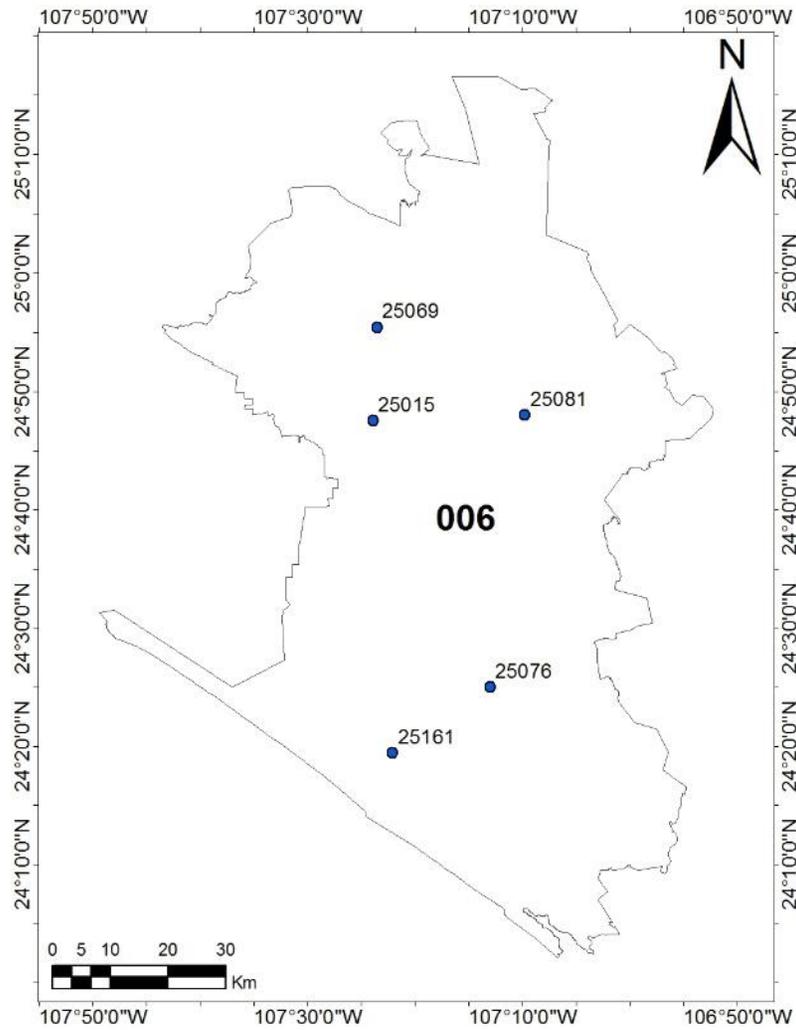


Figura 4.6 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Culiacán, Sin.*

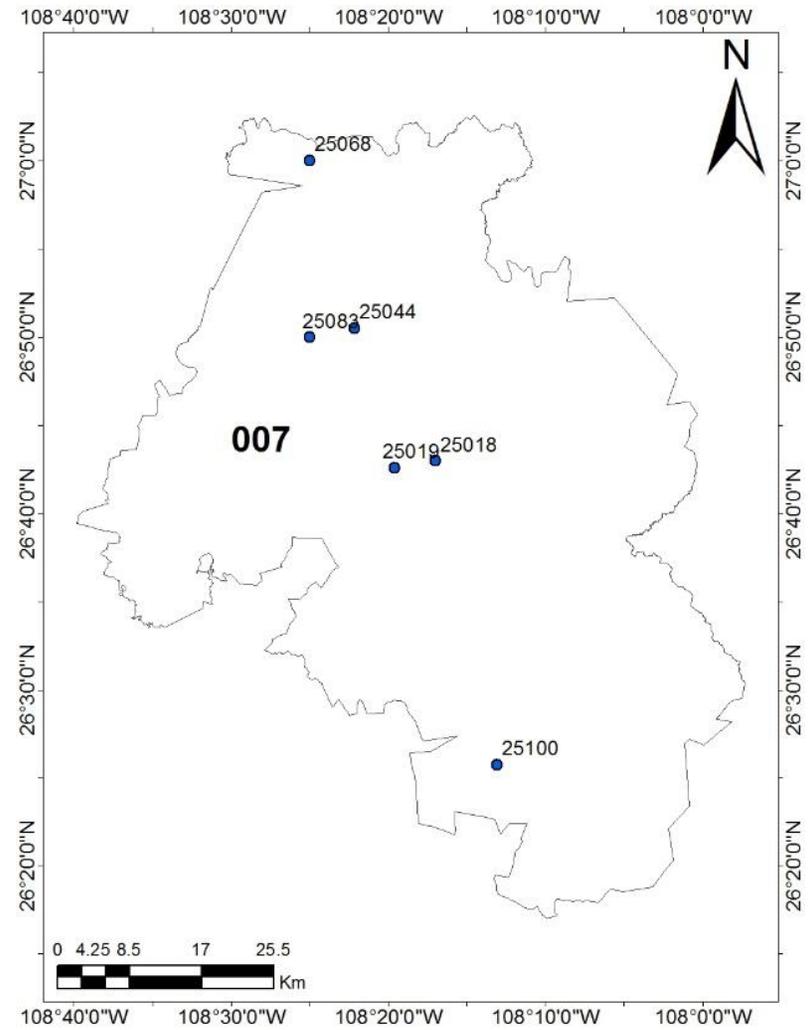


Figura 4.7 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Choix, Sin.*

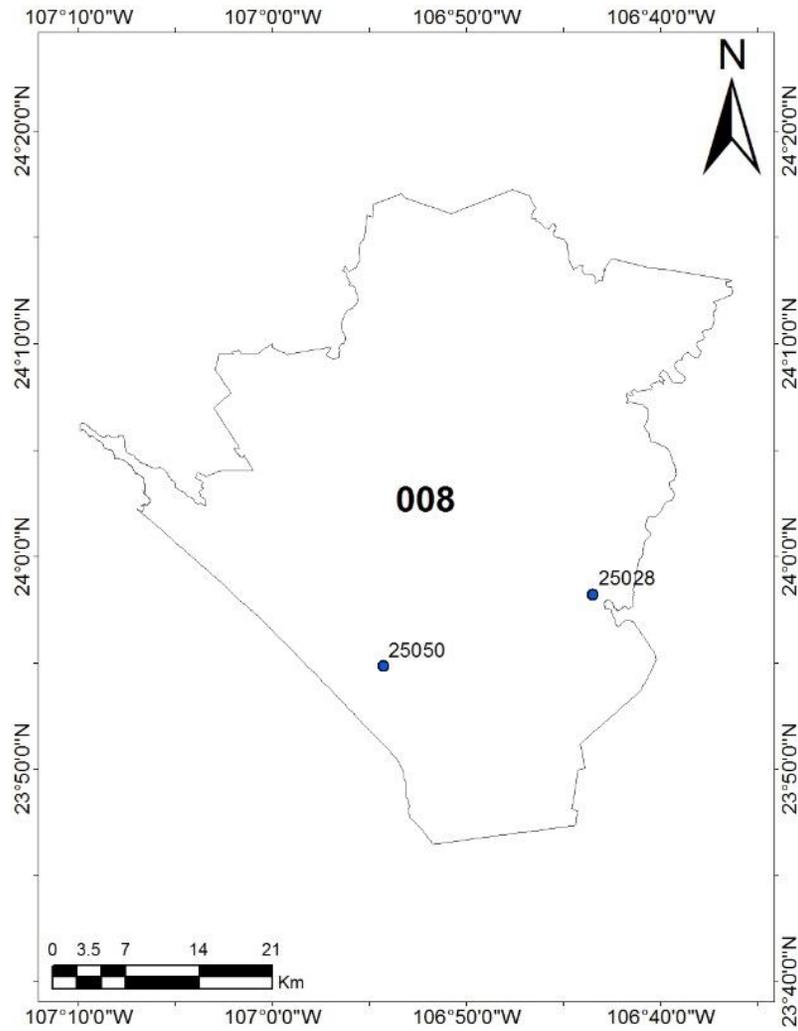


Figura 4.8 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Elota, Sin.*

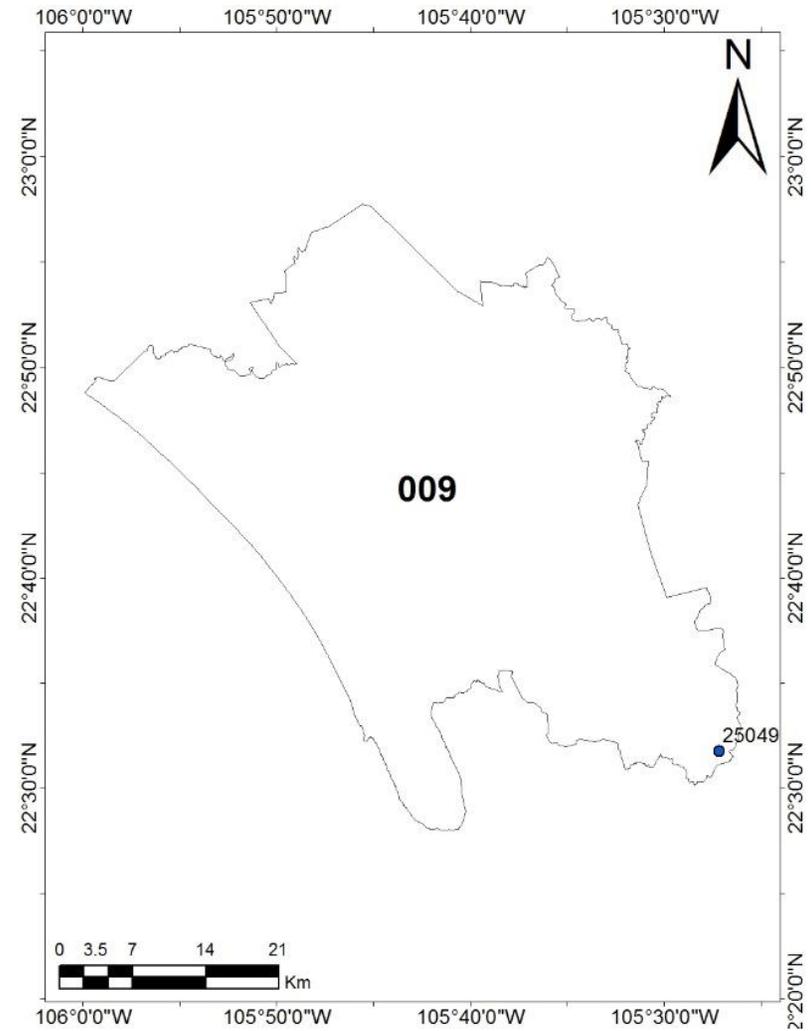


Figura 4.9 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Escuinapa, Sin.*

## Capítulo IV

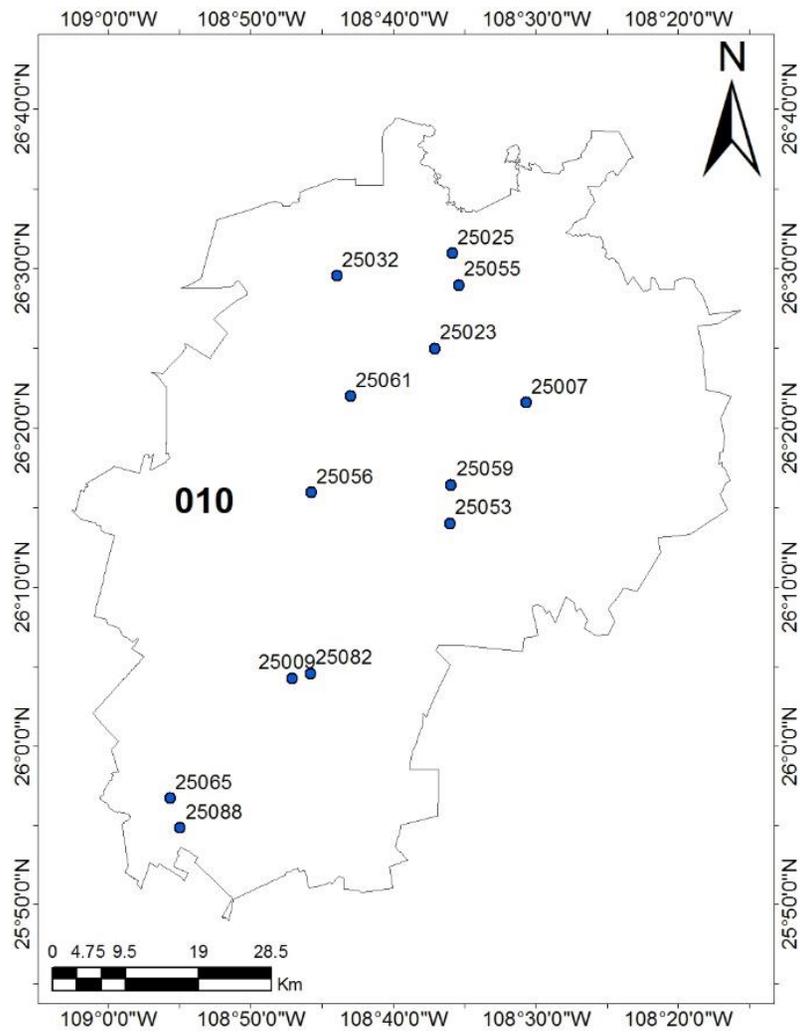


Figura 4.10 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *El Fuerte, Sin.*

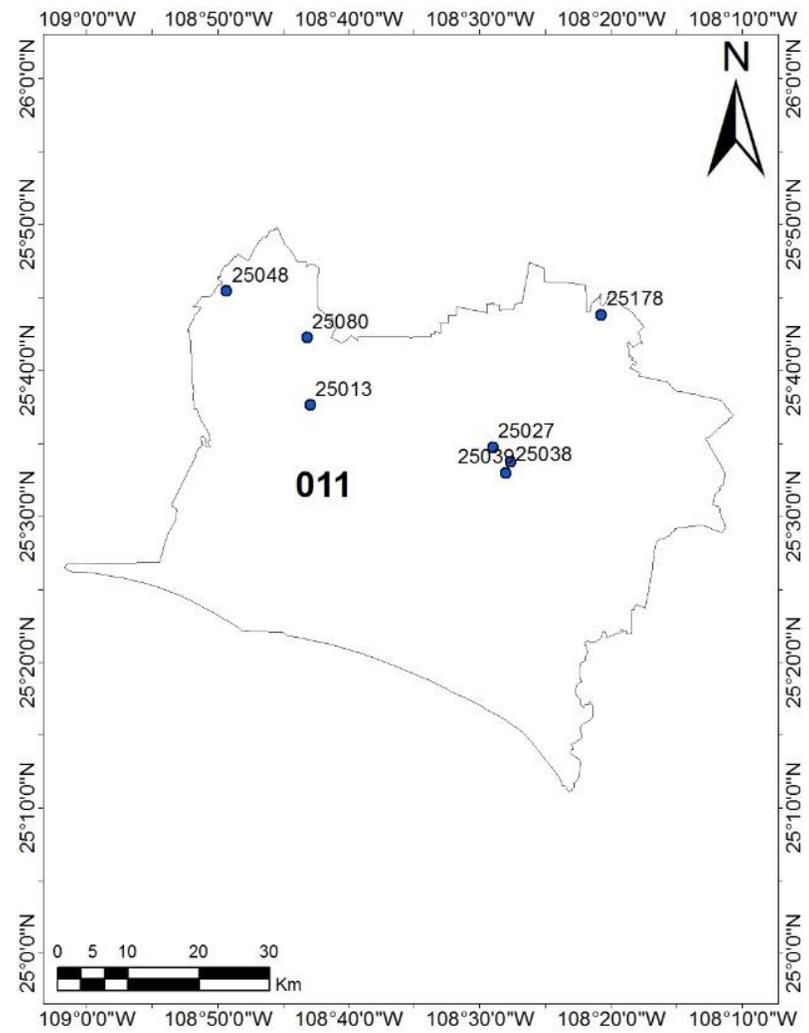


Figura 4.11 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Guasave, Sin.*

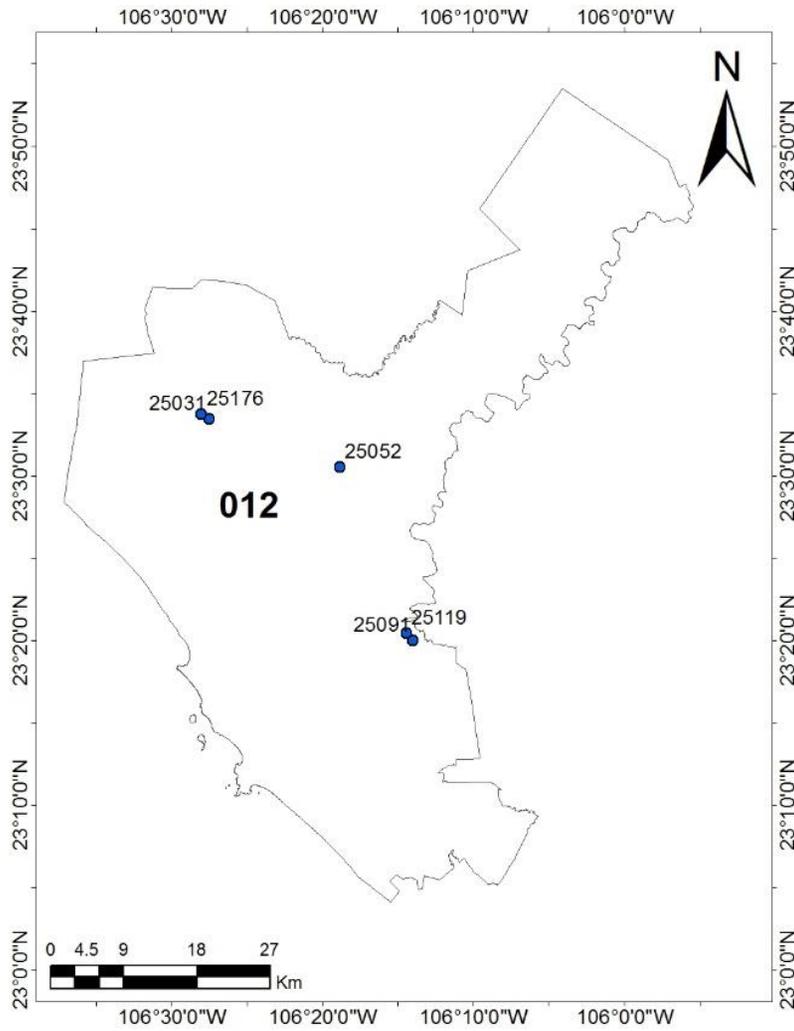


Figura 4.12 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Mazatlán, Sin.*

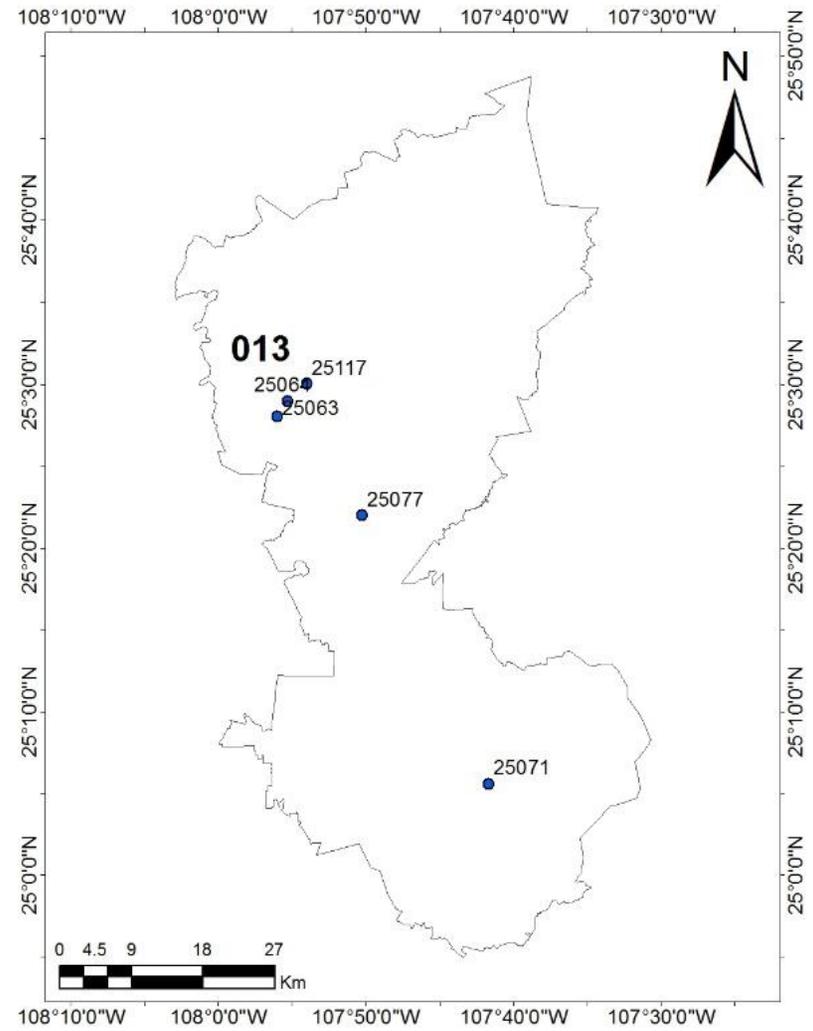
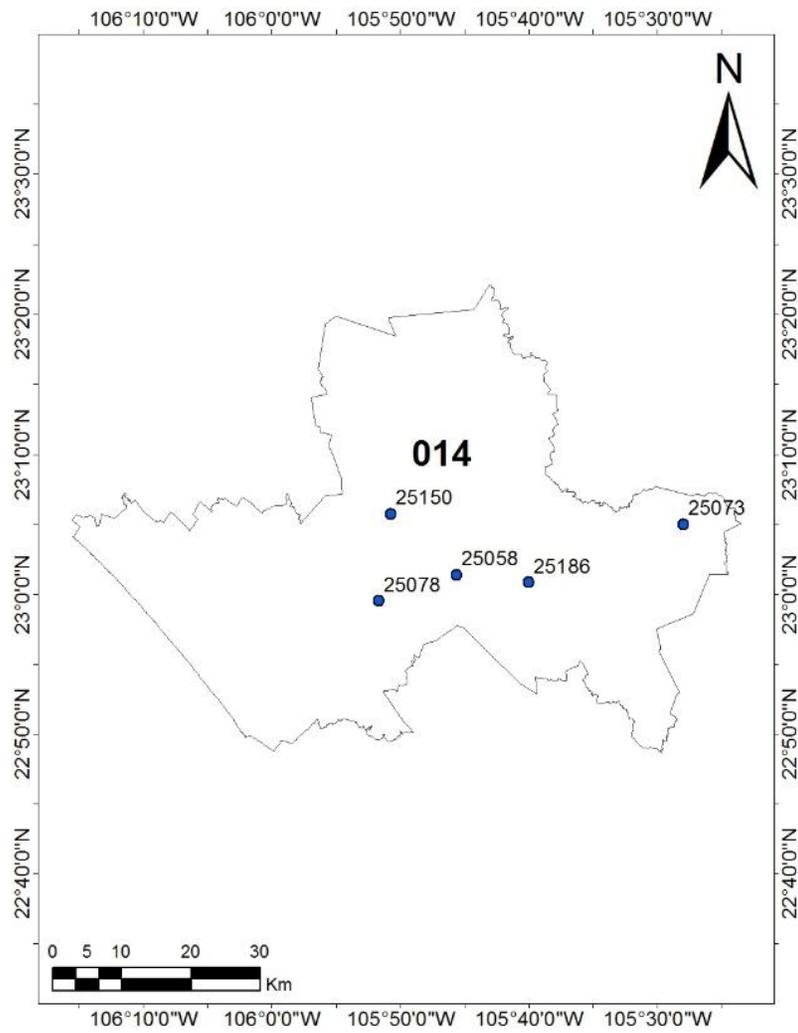
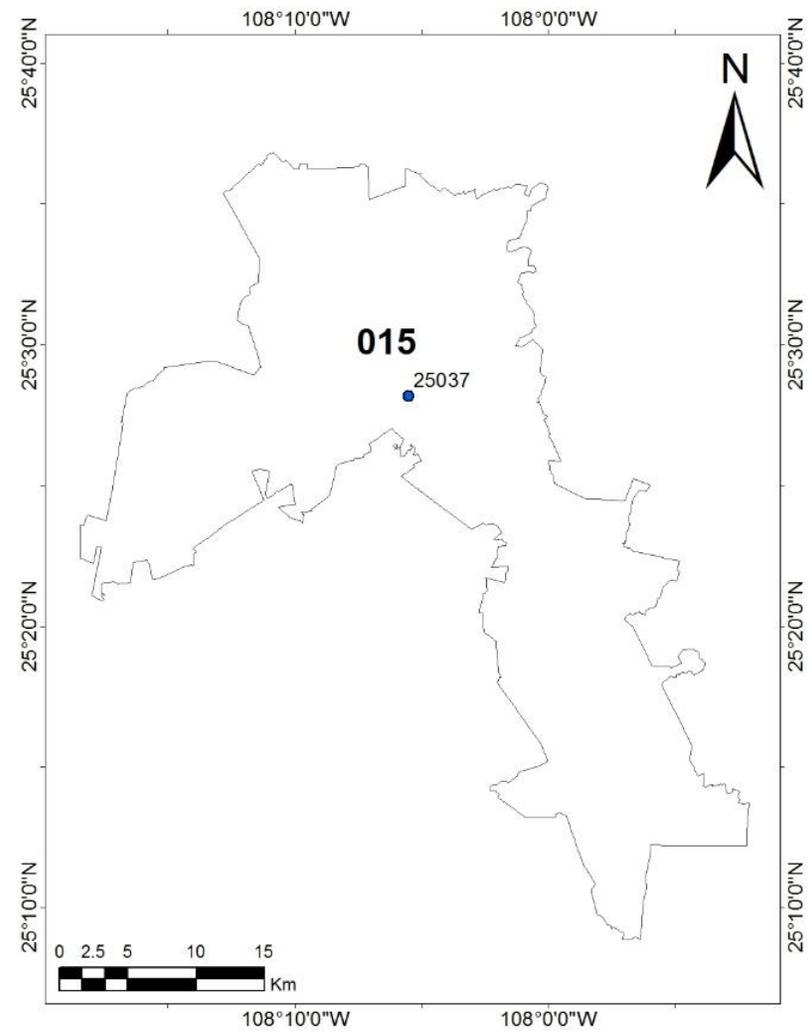


Figura 4.13 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Mocorito, Sin.*

## Capítulo IV



**Figura 4.14** Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Rosario, Sin.*



**Figura 4.15** Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de *Salvador Alvarado, Sin.*

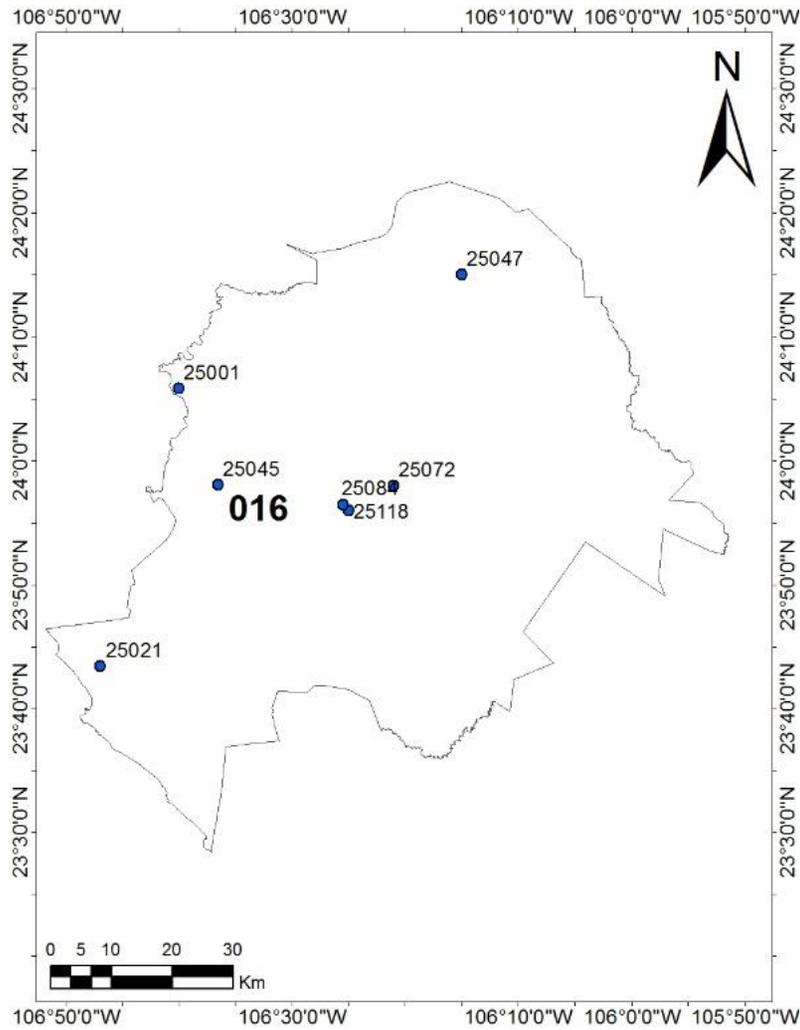


Figura 4.16 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de San Ignacio, Sin.

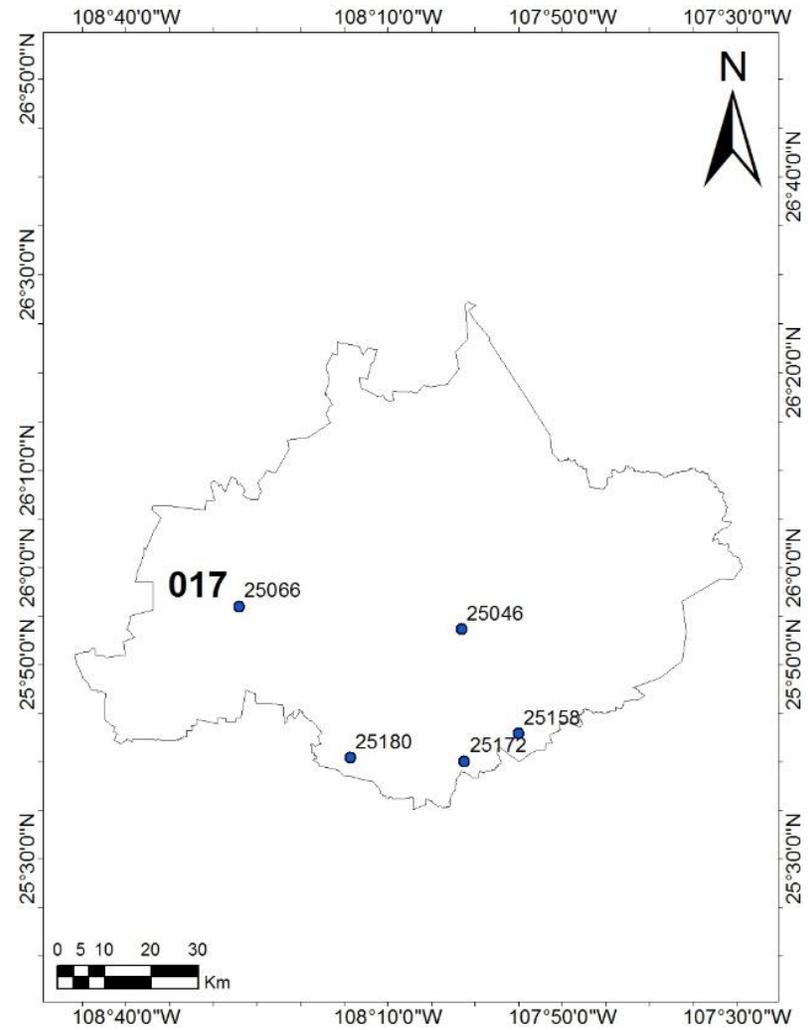


Figura 4.17 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de Sinaloa, Sin.

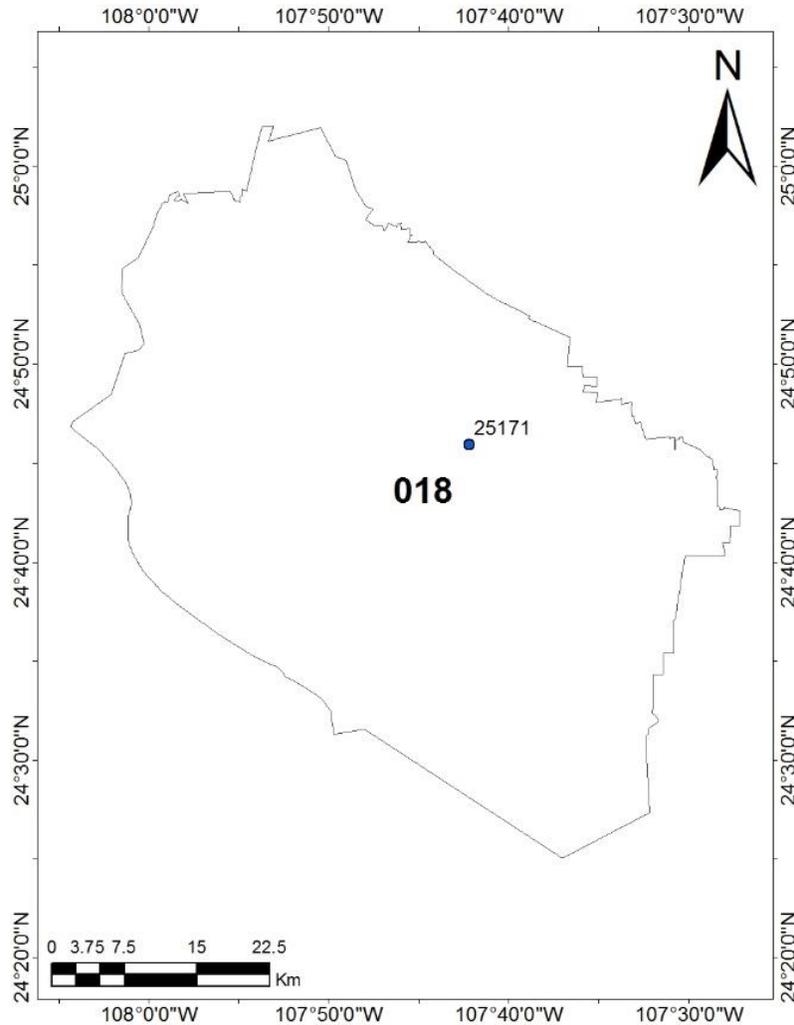


Figura 4.18 Ubicación de las estaciones climatológicas en el municipio de Navolato, Sin.

#### 4.1 Método de interpolación inversa y base de datos

La base de datos original no cuenta con la información al 100%, por lo que es necesario inferirla mediante alguna técnica geoestadística. Para tal propósito, en esta tesis se propone el uso del método de la interpolación inversa. La técnica pertenece a la familia de métodos de distancia pesada (Tabios y Salas, 1985). La influencia de la lluvia en una estación para el cálculo de ésta en cualquier otro punto es inversamente proporcional a la distancia entre los dos puntos. El método da mayor peso a la estación más cercana y se reduce conforme la distancia es mayor, dependiendo del exponente  $\beta$ , (Abteu et al., 1993). Los pesos de la función de interpolación, ecuación 4.1, son solamente una función de la distancia entre el punto de interés “e”, con coordenadas  $(X_e, Y_e)$  y los puntos de medición  $(X_j, Y_j)$  para  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$$P_e = \sum_{j=1}^n W_j P_j \quad (4.1)$$

Considerando la distancia  $d_{ej}$  como:

$$d_{ej} = \sqrt{(X_e - X_j)^2 + (Y_e - Y_j)^2} \quad (4.2)$$

El peso correspondiente al punto  $(X_j, Y_j)$  está dado en general por:

$$W_j = \frac{\left[ \frac{1}{d_{ej}} \right]^\beta}{\sum_{j=1}^n \left[ \frac{1}{d_{ej}} \right]^\beta} \quad (4.3)$$

Es importante notar que el factor de peso  $W_j$  tiende a cero cuando hay incremento en la distancia  $d_{ej}$  y/o en el parámetro  $\beta$ . Cuando la potencia  $\beta$  toma valores de 1 o 2, la técnica es llamada como *interpolación de la distancia inversa* o *interpolación del cuadrado de la distancia inversa*, respectivamente. En este estudio se consideró el valor  $\beta = 2$ .

Una vez completado el registro de lluvias acumuladas en 24 horas se procedió a obtener el valor acumulado anual de cada uno de ellos. La base de datos final se presenta en la Tabla 4.1.

## Capítulo IV

*Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)*

<b>25001 1961 2017</b>	<b>25002 1961 1984</b>	<b>25003 1961 2005</b>	<b>25006 1961 1995</b>	<b>25007 1961 1984</b>	<b>25008 1961 2012</b>	<b>25009 1961 2005</b>	<b>25011 1987 2006</b>	<b>25012 1961 2017</b>	<b>25013 1961 2017</b>	<b>25014 1961 2017</b>	<b>25015 1961 2017</b>	<b>25018 1961 1984</b>	<b>25019 1961 1984</b>	<b>25021 1961 2017</b>
913.0	961.0	353.7	1506.0	998.0	344.0	393.0	507.2	1341.0	348.9	804.7	797.0	991.0	981.0	795.8
638.0	817.0	395.2	941.0	452.6	437.4	425.0	632.0	1203.5	449.9	612.0	599.0	615.0	682.3	775.3
835.0	1106.0	343.0	1055.0	750.0	262.7	416.0	688.6	2486.0	328.0	1145.5	1113.0	734.0	857.9	973.0
632.0	688.0	223.0	876.0	633.0	196.0	296.0	747.4	1424.0	394.6	582.7	627.0	588.0	621.3	709.7
764.0	664.0	233.0	892.2	648.0	202.0	368.0	779.0	1064.3	376.3	757.0	793.0	591.0	615.3	1102.0
550.0	702.1	338.0	897.0	701.6	286.1	385.9	977.0	1223.1	370.9	625.9	669.0	952.0	868.8	397.0
684.0	662.6	540.0	845.0	670.0	413.0	673.0	632.0	1108.0	452.1	713.1	617.0	809.0	760.3	324.0
892.0	869.2	345.0	1176.0	850.0	306.0	422.0	523.0	1126.0	467.3	675.9	613.0	738.0	781.7	706.0
728.1	680.4	371.4	701.0	579.0	169.8	311.0	559.0	701.0	229.9	494.7	513.0	906.0	830.9	724.0
668.0	741.0	338.4	1139.0	660.0	286.4	404.0	687.0	1022.0	257.0	683.0	701.0	740.0	740.3	730.0
803.0	768.0	588.0	1012.0	563.0	454.0	666.0	752.8	1108.0	385.0	710.9	706.0	682.0	632.0	555.0
1225.0	1261.7	488.0	827.2	781.0	404.0	616.0	871.2	972.0	312.0	732.0	785.0	875.0	1003.7	1320.0
721.0	593.4	248.0	895.0	681.0	139.0	300.0	906.0	752.0	246.0	501.4	493.0	507.0	433.0	335.0
845.0	918.6	382.0	626.1	908.0	477.0	659.0	946.5	1120.0	254.0	809.3	812.6	873.0	853.0	779.0
600.0	504.2	243.0	1103.0	396.4	287.0	355.0	490.8	765.0	232.0	523.8	517.0	434.0	449.0	465.0
778.1	939.7	283.0	1237.0	810.0	221.0	614.0	457.6	911.0	362.0	831.0	832.0	882.9	850.0	516.0
670.0	444.4	243.7	567.9	549.0	212.0	412.0	587.7	794.0	300.0	625.4	608.0	455.0	426.0	361.0
583.0	968.3	235.0	918.4	549.0	343.0	426.0	948.9	721.0	445.0	663.0	548.0	822.0	813.0	259.0
460.0	561.2	274.0	1242.0	538.0	242.0	323.0	570.7	561.0	312.0	475.3	457.0	597.0	566.0	335.3
982.0	732.7	532.0	651.5	669.0	306.0	356.0	837.8	881.8	520.0	722.7	780.0	636.0	623.0	842.6
948.0	763.0	290.0	1353.8	1115.0	319.0	715.0		978.7	493.0	634.0	581.0	884.0	993.0	902.0
699.0	638.2	415.0	962.6	816.0	535.4	598.0		1055.0	560.0	514.4	511.0	626.0	607.0	738.0
1166.0	968.0	423.0	996.8	902.0	454.6	577.0		1089.0	608.0	726.2	833.0	1229.0	1234.0	708.0
1220.0	1345.1	525.0	1432.4	925.5	550.0	737.0		1357.0	818.5	1073.5	1069.0	1271.0	1418.0	441.0
1009.0		451.0	911.5		371.3	226.2		1177.0	368.5	592.4	583.0			934.0
1171.0		312.0	1048.2		202.5	409.9		843.0	198.1	656.8	651.0			330.1
386.0		233.7	870.2		172.8	221.0		722.0	165.6	538.1	535.0			294.0
742.0		245.0	827.6		183.5	305.0		859.9	187.2	465.0	456.0			332.0
684.7		303.4	845.5		184.0	649.0		1142.2	308.9	613.8	609.0			634.0
795.5		452.0	1278.7		492.0	662.0		1172.6	650.6	767.2	735.0			746.8
914.0		341.0	1127.3		220.0	421.0		650.4	684.0	968.9	985.7			745.3
779.1		401.0	835.1		188.0	497.1		1060.7	413.5	773.1	767.0			834.8
745.3		537.0	866.7		287.0	443.0		843.3	524.5	653.6	507.0			875.7
698.0		697.0	980.4		301.0	536.0		1075.8	455.4	894.7	889.0			535.5
691.8		269.6	660.9		224.0	641.0		744.6	469.8	537.4	509.0			643.2
861.0		446.4			953.0	538.0		1006.4	405.6	758.7	777.4			673.5
1037.0		1228.0			542.0	486.0		1458.8	609.1	795.4	780.0			644.8
1000.0		700.0			337.0	388.0		1097.1	327.2	591.2	566.0			961.4
514.6		954.0			213.9	248.0		1288.1	345.9	428.4	400.0			619.0
1186.0		334.2			353.0	361.0		1608.0	287.8	683.4	641.0			733.0
747.0		298.0			500.0	514.0		1180.5	677.8	542.3	597.0			328.0
668.0		365.0			213.1	258.0		473.8	258.9	466.9	463.0			862.9
793.0		250.5			290.4	275.0		1437.3	286.8	681.5	664.0			808.9
921.0		547.0			572.7	680.0		1964.2	476.3	979.3	939.0			2783.3
634.0		202.1			276.0	258.9		1376.3	235.0	608.4	628.0			673.2
793.0					153.7			986.4	388.2	727.7	721.0			763.9
606.3					469.9			1709.2	409.2	701.9	718.0			553.8
954.4					582.5			2202.0	630.6	692.8	767.0			659.3
810.0					396.4			930.5	487.7	628.4	634.0			571.6
551.5					318.8			1582.9	259.2	581.9	611.0			542.0
656.1					194.8			628.8	187.6	530.1	611.0			623.0
687.2					371.0			1295.1	389.6	642.6	680.0			603.0
793.5								774.9	391.6	721.0	945.0			613.4
1038.8								915.0	680.0	552.0	735.0			822.8
867.3								1201.5	439.3	921.0	957.0			759.7
724.4								837.9	434.9	534.0	707.0			516.1
657.4								901.9	262.4	485.0	529.0			545.0

Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)

25022 1988 2010	25023 1961 2017	25024 1961 2006	25025 1961 2017	25027 1993 2017	25028 1961 2017	25029 1961 2006	25030 1962 2017	25031 1961 2006	25032 1961 2017	25033 1961 2017	25035 1988 2010	25036 1961 2017	25037 1995 2017	25038 1993 2017
200.0	794.0	651.1	630.0	678.7	663.0	784.0	614.3	414.0	710.7	1116.0	244.3	1703.0	466.0	678.8
362.0	431.0	980.0	583.0	531.9	501.0	1211.0	505.0	662.0	508.2	573.2	378.6	1562.0	748.0	528.0
583.0	674.0	767.0	675.2	352.0	712.0	1288.0	685.0	910.0	674.6	1414.0	603.8	1830.0	739.0	348.0
383.0	493.0	687.0	422.0	528.4	740.0	1340.0	591.0	521.0	456.9	798.0	376.4	1407.0	750.0	569.7
389.0	582.0	781.0	486.0	829.4	738.1	1477.4	708.0	783.0	533.2	736.0	401.7	1236.0	457.0	829.5
533.8	780.0	660.0	755.6	504.4	521.0	1445.0	572.0	442.0	767.6	778.0	534.2	1751.0	950.0	502.0
330.0	666.0	720.1	640.0	266.5	580.0	1325.0	735.0	544.0	652.8	992.0	380.7	1620.0	586.0	265.0
222.0	533.0	811.0	678.0	531.8	515.0	1492.0	514.0	740.0	210.0	861.0	283.8	1819.0	339.0	528.0
236.0	415.0	972.0	494.0	630.5	721.0	1290.0	545.5	683.0	413.0	736.0	286.4	731.7	514.0	630.6
457.0	644.0	673.0	567.0	276.1	737.0	1228.0	780.0	825.5	486.0	845.0	424.0	991.0	621.0	275.0
407.0	605.0	694.0	523.0	306.5	583.0	1475.9	755.0	791.0	670.0	991.0	386.9	1681.0	357.0	300.0
364.2	748.0	1047.0	539.0	473.3	1046.0	1268.0	413.9	1102.0	704.0	703.0	390.6	1151.1	710.0	469.0
233.0	532.0	493.0	727.0	489.3	551.0	1278.0	532.0	763.9	507.0	910.0	244.1	850.4	602.0	492.0
515.0	647.0	768.1	748.0	438.7	766.0	1473.3	395.0	725.0	569.0	854.0	477.5	971.6	563.0	436.0
255.0	425.0	810.0	421.0	439.3	564.0	910.0	700.0	754.0	409.0	912.0	334.2	675.9	456.0	436.0
592.0	689.0	757.8	824.0	395.5	751.2	1517.1	541.8	660.3	530.0	772.0	511.8	850.3	397.0	391.0
730.0	415.0	571.1	400.0	406.4	716.3	779.3	881.0	682.8	277.0	618.7	701.5	727.1	428.0	404.0
194.0	554.0	415.0	564.0	246.0	602.0	1179.0	395.0	381.0	595.0	1077.0	207.5	773.2	633.0	244.0
474.6	458.0	480.0	564.0	348.9	390.0	962.0	666.8	509.0	347.0	502.8	479.3	387.7	862.0	346.0
583.2	612.0	1024.0	746.0	393.9	885.0	1092.0	719.8	916.0	569.0	1050.0	584.9	959.2	671.0	385.0
550.2	966.0	1160.0	823.0	393.1	980.0	1752.0	503.2	903.0	895.0	1040.0	551.7	962.1	748.0	390.0
484.7	605.0	732.0	733.0	421.0	665.0	982.0	789.8	580.0	659.0	711.0	484.3	897.2	485.0	412.0
348.7	872.0	882.7	808.0	443.4	1113.0	1339.2	803.0	968.4	747.0	1212.0	356.1	969.0	523.0	435.0
	955.4	468.5	954.0	434.8	1159.6	1329.1	438.0	483.5	843.0	1334.0		1382.7		435.0
	560.5	790.6	610.3	347.0	1017.0	1473.1	521.0	935.4	578.9	1133.0		1177.0		347.0
	669.0	709.2	638.0		702.2	970.3	292.0	654.6	653.3	992.0		1020.0		
	338.0	421.2	277.0		571.6	924.2	175.0	466.1	307.0	718.0		540.6		
	634.0	545.0	558.0		566.0	1320.0	403.0	569.0	565.0	981.0		734.7		
	545.4	855.0	448.0		664.0	1210.7	645.0	859.0	614.4	892.0		895.3		
	683.0	698.2	804.0		808.0	1405.0	412.0	743.0	658.0	796.5		951.8		
	603.0	806.0	785.0		664.0	1326.0	427.0	631.0	578.0	1047.0		792.7		
	703.0	910.0	552.0		734.0	1356.0	375.0	753.0	573.0	778.6		915.6		
	567.0	939.0	785.0		791.0	1519.0	457.0	749.0	518.0	906.0		899.7		
	511.0	534.0	503.0		552.3	524.1	215.0	533.2	493.0	899.9		1079.6		
	494.0	521.6	480.0		656.6	547.7	433.0	455.2	452.0	520.6		783.9		
	589.0	640.3	753.0		782.2	680.2	434.0	622.2	500.0	709.4		1067.5		
	577.0	749.9	510.0		818.4	1571.6	748.7	751.4	543.0	790.5		1530.0		
	544.0	824.1	580.0		864.9	1151.0	240.0	749.2	372.0	535.0		1585.0		
	526.0	622.2	487.0		457.0	1088.0	819.0	670.0	506.2	482.5		1254.0		
	548.2	803.0	485.0		1173.7	1376.3	329.0	841.2	556.3	1210.0		1749.0		
	547.0	538.1	656.0		681.6	492.0	362.0	513.4	602.4	714.0		1685.0		
	351.0	348.0	503.0		776.6	446.9	301.0	363.9	428.2	637.0		1493.0		
	447.0	824.4	462.0		807.1	1108.8	580.0	700.9	454.6	671.8		1033.1		
	938.0	1819.0	993.0		903.7	1437.2	301.0	1364.9	965.9	1016.0		2919.0		
	313.0	483.3	397.0		727.0	550.2	298.0	379.8	412.0	672.0		2112.0		
	554.0	626.3	695.0		681.0	807.8	492.0	551.3	495.0	989.0		882.0		
	643.0		822.0		620.0		288.0		474.0	906.0		2512.0		
	604.0		557.0		962.0		506.2		507.0	1009.0		3652.0		
	484.0		532.0		623.0		263.0		446.0	800.0		865.5		
	498.0		465.0		550.0		305.0		382.0	576.0		2511.0		
	440.0		399.0		665.0		432.0		481.0	735.0		632.9		
	437.0		492.0		737.0		863.1		350.0	776.0		1936.0		
	580.0		563.0		804.0		704.2		444.0	814.6		789.7		
	603.0		668.0		1136.0		757.1		691.0	925.0		981.8		
	662.0		546.0		938.0		485.8		483.0	1219.0		1009.1		
	408.0		461.0		755.0		508.7		403.0	591.6		774.4		
	537.0		423.0		688.0				479.1	701.0		755.1		

## Capítulo IV

*Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)*

25039 1993 2017	25041 1961 2017	25042 1961 2017	25043 1961 1986	25044 1961 2003	25045 1961 2017	25046 1970 2002	25047 1961 2017	25048 1961 2017	25049 1961 2012	25050 1961 2017	25052 1961 2006	25053 1961 2017	25054 1961 2017	25055 1961 2017
674.1	1110.4	355.5	1007.0	977.0	968.0	739.0	1354.3	351.0	1282.0	714.6	509.1	949.2	702.0	590.0
528.1	935.0	386.7	924.0	585.0	637.0	689.0	1041.4	404.8	1093.0	607.5	729.0	618.0	776.0	488.0
348.1	1221.1	235.0	985.0	1083.8	866.0	761.0	1538.0	346.7	1375.0	813.4	1033.0	481.0	816.0	676.0
568.7	821.5	223.0	609.0	674.3	665.0	449.0	1067.1	375.6	905.0	728.2	703.0	359.0	492.0	384.0
825.3	921.0	323.0	866.0	736.0	722.0	955.0	805.8	396.4	897.0	879.4	754.9	515.0	836.0	517.0
502.1	758.6	361.0	770.3	696.9	638.0	640.0	1286.1	358.5	823.0	472.8	643.0	527.0	626.4	761.4
265.0	1052.0	440.0	699.0	631.0	682.0	933.0	1394.2	462.5	1140.0	480.6	579.0	669.0	1033.0	704.0
528.1	1217.0	298.0	943.0	879.0	988.0	863.0	1766.7	426.5	882.0	589.2	717.0	755.0	1042.0	614.0
629.1	913.0	334.0	637.0	667.0	723.8	790.0	851.7	228.9	1721.0	516.0	797.2	508.0	483.9	429.0
275.0	938.0	341.6	692.8	791.0	711.0	905.0	1281.6	246.0	1146.0	567.0	888.0	656.2	640.0	521.0
300.2	885.0	906.0	759.0	826.0	735.0	973.0	1436.3	662.0	977.0	344.0	619.0	793.0	758.0	637.0
469.1	1206.0	385.0	889.0	1357.0	1136.0	971.0	1093.9	436.0	1285.0	512.0	520.0	637.0	648.0	665.0
491.9	915.0	337.0	612.0	572.0	673.0	943.8	1263.0	426.0	1284.0	448.0	875.0	543.0	648.0	510.0
436.1	1197.0	352.0	833.2	935.0	739.0	1077.0	1430.0	443.0	999.0	530.0	1406.0	1010.0	715.0	650.0
436.1	770.0	175.0	423.3	518.0	682.0	1487.0	836.0	248.0	1266.0	342.0	770.2	375.1	515.3	310.0
391.1	1362.0	254.0	723.2	962.0	872.0	255.5	1408.0	367.0	1162.0	502.0	812.6	951.0	941.5	660.0
404.1	1001.0	251.8	905.0	449.0	745.0	965.0	1089.0	259.0	1222.0	356.0	728.6	661.0	767.9	316.0
244.0	1058.0	257.0	826.0	1007.0	616.0	514.0	923.0	680.0	898.0	309.0	1990.0	538.0	739.6	561.7
346.1	746.0	211.0	754.0	560.0	477.0	636.0	884.0	265.0	1094.0	216.0	1425.0	436.0	663.0	503.0
385.2	1185.0	279.0	641.0	760.0	1057.0	1078.0	1138.0	322.0	1013.0	693.0	950.9	438.0	888.0	585.0
390.1	1189.0	415.0	884.0	908.0	843.0	835.8	1358.0	561.0	1560.3	896.0	806.0	1008.0	1019.0	771.0
412.2	967.3	442.0	952.0	646.0	661.0	960.0	1026.0	639.6	797.0	664.0	485.0	505.0	682.0	613.0
435.2	1058.0	281.0	728.2	1272.0	1080.0	835.0	1236.0	413.0	1208.0	284.0	1003.6	744.6	973.0	823.0
435.0	1672.0	550.0	1178.1	1327.0	1122.0	1128.0	1138.7	807.2	1140.0	527.0	485.0	831.3	1178.3	954.3
347.0	1069.0	228.0	294.7	826.2	1022.0	845.0	1241.3	316.4	1065.0	302.0	994.9	689.9	442.1	683.4
	1041.6	278.8	868.1	783.0	889.7	724.0	1082.0	196.2	889.0	341.2	649.4	637.9	811.0	561.0
	866.3	193.0		438.2	687.0	1017.0	807.0	168.4	749.0	463.8	484.5	326.8	425.9	299.0
	827.0	144.0		729.0	530.0	638.0	861.1	166.1	980.0	475.1	497.5	511.1	577.2	621.0
	904.0	303.6		920.0	735.0	923.0	1084.1	307.0	972.0	652.4	768.8	553.4	831.1	470.9
	1199.0	458.3		889.0	751.7	833.0	1084.2	601.8	1108.3	786.9	712.0	688.6	693.4	761.0
	1267.0	389.6		1161.0	885.0	1019.0	856.4	632.5	1013.1	695.6	651.8	525.6	856.0	742.3
	1074.0	379.2		894.0	889.0	732.0	1076.2	391.3	1223.0	773.1	949.0	681.7	995.0	629.0
	1061.0	500.0		973.0	634.0	611.0	1002.8	509.4	1171.0	823.9	724.9	587.1	838.2	733.9
	1020.0	592.8		972.0	568.0		962.1	431.3	950.0	520.0	533.1	521.5	707.2	504.9
	803.0	287.0		721.0	669.0		714.9	407.1	932.6	631.0	449.0	470.2	670.4	483.3
	940.0	494.5		937.0	883.0		928.5	458.4	1012.0	574.0	620.5	540.7	779.5	714.5
	1064.0	252.0		780.0	905.8		1483.8	517.4	949.0	538.0	752.0	461.3	610.5	525.7
	547.0	368.0		623.0	781.0		1246.3	308.1	1180.0	1047.0	742.2	422.3	687.3	512.0
	819.0	263.0		782.5	655.0		1072.4	294.1	1208.0	1293.0	753.0	355.6	951.0	496.1
	965.0	187.0		838.0	1178.6		1399.5	251.8	1162.0	1158.0	844.8	494.3	774.0	531.2
	930.0	321.0		898.0	641.0		1261.6	608.0	871.0	468.0	503.2	464.3	675.1	630.4
	677.0	247.0		652.0	733.2		1188.3	240.9	952.0	916.0	352.9	459.0	539.5	467.4
	1012.0	226.0		780.0	815.9		986.8	288.2	1193.2	805.6	650.2	382.3	414.0	458.5
	1625.0	507.0			893.0		2037.5	514.1	1205.0	3681.0	1178.4	951.7	779.6	980.1
	761.0	148.0			490.0		1545.0	251.1	1132.0	640.0	370.1	313.3	502.1	377.3
	1323.0	242.1			850.0		821.4	375.5	859.0	815.0	544.2	569.7	660.5	661.9
	1156.0	213.4			573.0		1769.7	333.0	783.0	513.0		648.9	493.3	780.0
	1030.0	356.0			936.0		2525.8	620.9	1588.0	473.0		581.4	569.3	568.0
	968.5	437.0			792.0		915.5	471.1	858.0	540.0		486.7	570.9	520.7
	877.0	282.0			555.0		1631.3	282.6	1409.0	657.0		475.0	674.9	472.7
	579.0	200.0			661.5		494.7	190.4	1236.0	683.0		439.0	567.0	408.6
	954.0	343.0			566.0		1380.7	376.5	1320.0	762.0		433.6	588.3	479.1
	1231.0	294.2			768.0		743.4	391.7		496.0		556.8	766.5	567.0
	737.0	375.0			802.0		906.1	619.4		630.0		627.4	685.4	652.8
	1339.0	368.0			695.0		875.1	405.6		650.0		615.1	682.5	573.2
	1009.0	323.0			650.0		676.8	418.6		369.0		416.5	424.0	448.6
	858.0	258.0			583.0		671.0	252.5		457.0		508.6	414.0	449.7

Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)

25056 1961 2017	25058 1964 2017	25059 1961 2017	25061 1961 2017	25062 1961 2017	25063 1968 1985	25064 1968 1985	25065 1961 2005	25066 1961 2017	25068 1961 1984	25069 1961 2017	25070 1961 2006	25071 1961 2017	25072 1961 2006	25073 1964 2013
830.8	1391.0	900.7	762.9	709.8	625.9	625.0	363.5	633.8	922.5	822.0	835.0	1110.8	896.6	1283.0
504.7	883.0	550.9	459.8	870.4	551.9	546.0	383.7	635.4	788.0	619.1	1140.7	480.0	730.1	1406.0
632.8	733.0	590.1	674.2	701.0	537.9	522.0	245.8	739.0	928.0	1218.0	1442.0	974.0	1082.2	1682.0
474.9	1145.5	470.1	479.6	676.2	1156.0	1101.0	186.5	528.0	657.0	484.0	1293.0	453.0	859.6	1631.0
566.3	1518.0	568.9	563.8	695.6	907.0	724.0	284.0	498.0	874.0	677.0	1464.0	800.2	917.5	1573.0
687.9	1468.0	597.8	775.4	593.1	529.0	525.0	361.0	696.0	797.0	530.0	1564.0	760.2	582.5	1490.0
664.5	959.3	668.1	661.1	567.6	607.0	705.0	457.0	786.0	937.0	927.0	1370.0	690.0	886.0	1226.3
600.3	1205.0	793.5	412.6	962.8	535.0	535.0	401.0	567.0	962.0	816.0	2004.0	660.0	1044.4	1499.0
474.7	1005.2	536.8	414.3	928.6	904.0	946.0	194.0	467.0	859.0	454.0	1554.0	575.0	843.7	1007.6
618.3	780.1	652.4	585.1	989.5	527.0	568.0	354.8	562.0	792.0	643.0	1384.0	499.0	842.6	1936.0
500.0	946.8	532.0	560.2	750.9	555.0	582.0	411.0	417.0	1407.0	779.9	1856.0	660.0	968.0	1424.0
567.0	1000.9	392.0	586.0	679.8	556.0	556.1	392.0	503.0	1204.5	614.0	1737.0	666.0	1480.0	1037.0
421.0	905.2	374.0	533.0	510.6	570.0	578.0	223.0	751.0	695.0	520.0	1240.7	565.0	938.0	1399.0
467.0	903.4	463.0	575.0	677.5	655.0	663.0	278.0	631.0	883.0	763.0	1508.0	734.0	807.6	835.3
345.0	938.0	354.0	329.0	801.4	534.0	487.0	252.0	506.8	730.0	619.4	1500.0	594.0	855.9	940.9
548.0	737.6	474.0	562.0	741.0	768.0	913.0	362.0	851.4	824.0	816.4	1556.0	831.0	949.4	799.6
326.0	782.9	293.0	358.0	781.4	1056.0	1158.0	285.8	648.1	707.0	664.0	778.8	568.0	765.2	1361.0
344.0	1166.3	542.5	464.4	989.1	729.3	737.0	201.0	700.0	1181.0	919.0	1306.5	876.6	677.0	1346.7
321.0	717.2	256.3	309.0	607.6			159.0	521.0	660.0	516.0	803.6	500.0	662.8	746.9
513.0	1587.1	491.0	569.8	1024.5			306.0	821.0	1104.0	780.0	1055.3	777.0	849.2	1375.0
619.0	947.0	1051.4	778.0	766.6			314.0	702.0	874.0	752.0	1549.4	1185.7	1189.0	1535.0
594.0	1235.1	631.1	600.3	764.1			414.0	513.0	858.0	562.9	949.0	791.6	861.0	1255.7
543.0	856.1	808.4	790.0	1040.9			253.0	962.4	962.0	931.3	1330.9	1174.5	1053.5	923.9
724.0	750.8	881.2	957.0	738.8			372.0	1148.0	1472.0	1137.7	1222.7	1468.9	1012.5	755.7
505.6	794.6	593.2	642.3	1063.3			208.0	589.1		725.6	1397.8	1110.0	788.1	815.4
655.5	833.3	647.6	663.1	883.2			159.0	749.6		739.4	1246.1	1071.2	838.1	837.0
328.3	801.6	330.3	326.4	505.7			196.4	395.1		582.4	846.7	821.1	598.3	801.0
360.0	736.5	558.9	517.1	571.2			198.5	497.4		592.1	1184.9	909.3	1027.0	722.1
731.3	1073.2	873.0	784.5	904.0			303.7	749.5		682.4	1113.7	891.5	1332.0	1025.3
658.0	968.8	698.3	672.3	745.1			558.1	741.0		784.9	1359.0	799.0	1258.0	977.3
359.0	690.1	578.4	498.9	667.8			461.4	630.0		1045.9	1158.8	1040.9	940.0	670.5
671.2	731.0	688.4	654.5	867.2			368.9	612.0		776.4	1427.0	779.1	1287.0	733.7
532.0	854.3	604.6	552.1	951.0			552.0	610.0		731.4	1449.1	812.3	1138.0	855.7
538.0	465.1	516.3	522.5	523.7			285.0	598.8		897.8	524.1	900.3	807.9	446.6
445.0	954.4	478.2	473.1	551.8			208.0	628.2		553.0	546.8	447.0	624.4	876.0
418.0	664.3	579.5	516.0	682.7			281.0	592.6		748.4	679.6	694.0	746.1	639.7
338.0	1040.4	500.3	475.0	752.7			455.4	588.9		803.9	1419.4	755.0	872.6	1109.1
282.0	843.1	466.7	432.2	862.8			316.4	660.3		605.1	1099.0	754.0	801.8	839.0
272.0	708.8	420.2	366.4	842.9			197.7	397.0		444.0	977.4	484.0	834.0	759.4
273.0	923.2	598.6	498.5	939.9			167.0	581.0		706.7	1296.5	776.0	940.8	829.2
318.0	1014.5	510.6	449.3	491.6			463.7	630.3		627.3	492.1	549.0	705.9	1002.2
541.0	752.5	433.1	432.1	450.8			222.5	467.5		469.0	446.0	385.0	555.7	752.2
294.0	962.7	410.3	381.7	591.8			284.3	436.2		691.2	1012.0	627.0	830.8	846.2
949.9	771.4	952.6	948.4	963.8			644.5	659.0		1001.5	1346.4	1019.0	880.5	657.8
293.0	829.6	323.0	277.2	789.0			244.9	460.5		597.6	548.5	417.0	486.8	823.6
548.5	887.2	579.9	532.0	818.7				658.2		731.3	805.3	883.0	742.0	890.3
610.1	1175.6	667.5	580.0	988.2				384.4		693.0		779.0		1213.8
573.7	824.5	585.0	567.8	883.6				560.9		651.9		952.3		822.0
477.2	1225.0	491.2	469.8	912.0				550.3		625.3		663.0		1219.0
463.6	859.4	480.4	454.8	838.0				560.2		565.9		607.6		856.3
448.2	930.5	434.6	455.3	1103.0				535.7		628.8		693.0		
417.2	1042.0	441.4	404.6	714.0				696.6		744.6		807.1		
541.3	934.9	564.2	529.3	846.0				727.0		908.6		801.8		
632.1	627.3	625.2	635.8	1195.0				726.0		783.1		886.7		
603.9		620.5	595.3	1162.0				729.6		1015.8		1156.8		
410.6		419.3	406.1	866.0				429.3		649.4		658.6		
512.4		506.7	515.4	685.0				347.8		528.2		610.9		

## Capítulo IV

*Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)*

25074 1961 2017	25076 1961 2017	25077 1968 1985	25078 1971 2013	25080 1961 2017	25081 1961 2017	25082 1961 2005	25083 1961 1984	25084 1961 2006	25085 1961 1986	25086 1961 2012	25087 1961 2017	25088 1961 2017	25091 1977 2006	25092 1961 1985
827.7	854.9	625.5	900.0	347.7	1091.5	492.0	840.0	892.7	1029.7	358.6	885.0	361.6	772.4	1333.8
1150.8	717.7	549.1	1000.0	475.1	857.0	343.0	617.0	735.1	708.0	372.8	781.0	355.0	624.2	744.0
1419.9	350.0	670.0	686.0	362.0	1163.0	505.0	865.0	1093.9	935.2	290.5	697.0	262.0	602.0	905.0
1299.7	578.0	1129.7	908.0	360.0	873.0	369.0	539.0	870.1	841.0	203.3	719.0	190.0	1091.0	772.0
1465.9	311.0	728.0	983.0	365.0	987.0	361.0	594.0	928.1	800.0	327.0	862.0	444.0	731.0	990.0
1546.9	285.0	578.0	865.0	348.3	553.0	407.0	646.0	579.5	993.0	254.0	601.0	380.0	746.0	1153.9
1363.5	352.0	736.0	890.0	471.0	840.0	685.0	758.0	897.0	1130.0	521.0	818.0	346.0	1053.6	832.0
1930.6	778.0	660.0	594.0	393.0	852.0	496.0	877.8	1047.5	1104.0	287.0	976.0	297.0	695.5	1161.0
1258.0	331.0	837.0	708.0	228.0	653.5	201.0	721.0	801.2	779.0	393.0	632.0	272.0	1051.6	649.0
1240.0	275.0	546.6	765.0	304.0	724.0	458.0	590.0	849.7	710.6	346.7	541.0	351.6	657.2	736.0
1330.0	472.0	782.0	1181.0	466.0	1018.0	667.0	593.0	835.0	1107.0	576.0	742.0	449.0	502.1	732.0
1379.0	818.2	559.0	652.0	417.0	900.0	570.0	974.0	1357.9	792.7	427.0	1071.0	496.0	551.0	828.0
1214.0	446.0	734.0	1551.6	276.0	590.0	276.0	658.0	750.7	793.0	317.0	472.0	240.0	680.0	776.0
1460.0	538.0	658.8	846.0	290.0	946.0	663.0	933.0	811.3	1214.0	489.0	909.0	396.0	739.4	1224.8
1163.0	409.0	797.0	1190.0	299.0	714.0	489.0	516.3	865.3	571.9	347.0	460.0	317.0	628.0	830.7
1584.0	636.0	799.0	838.9	329.0	997.0	664.0	959.2	1002.0	1016.6	1001.0	893.0	507.0	833.0	1203.4
779.5	478.0	1155.0	769.0	323.0	905.0	399.0	448.4	779.0	943.7	265.0	775.0	277.6	752.0	848.8
1398.0	443.0	659.0	749.0	495.0	709.0	366.0	1002.2	698.0	1034.0	283.0	627.0	701.0	525.3	982.0
690.0	188.0		825.2	304.0	500.0	274.0	560.1	661.0	521.0	253.0	582.0	233.0	534.3	930.0
1029.0	831.0		803.0	340.0	1016.0	315.0	756.6	851.0	1137.0	445.0	917.0	235.0	672.1	747.0
1404.0	476.0		768.0	674.0	804.0	647.0	889.8	1140.0	1399.0	303.0	903.0	309.7	752.6	793.0
821.0	589.0		1178.0	705.0	688.0	647.0	645.0	686.0	943.2	512.0	701.0	422.0	842.2	537.0
1325.0	590.0		950.0	577.8	875.0	707.0	1233.9	1048.0	1486.0	429.0	927.0	171.0	891.1	715.0
1370.0	851.0		733.0	798.0	1083.0	919.0	1329.3	938.0	1327.0	519.0	883.0	592.0	923.6	1652.2
1502.0	567.0		721.0	360.4	1116.0	218.1		629.0	264.0	319.8	878.0	251.8	493.6	751.1
1140.5	785.9		851.0	199.1	947.7	622.0		803.0	946.7	229.4	854.3	186.6	434.1	
954.0	812.2		533.1	164.0	628.5	331.0		538.0		163.0	793.4	183.3	601.8	
1088.0	748.6		1126.0	199.0	974.0	331.4		476.0		219.9	899.0	206.9	1000.5	
1248.0	1010.6		754.5	310.0	1157.0	580.0		706.0		303.9	874.0	304.3	525.7	
1326.0	1257.7		890.0	678.0	1375.0	840.0		659.0		509.3	1346.0	539.0	771.9	
1182.8	680.6		852.0	713.0	807.0	561.0		671.0		406.0	712.0	439.7		
1478.0	995.2		598.0	426.0	888.0	578.0		904.0		385.4	948.0	362.3		
1399.0	737.4		1129.0	533.0	832.5	639.0		712.0		545.1	769.0	549.3		
524.0	499.1		998.0	469.0	1002.0	497.0		971.0		474.5	689.0	359.3		
548.1	511.5		753.0	505.0	598.0	590.0		594.0		236.3	496.0	219.1		
680.4	747.7		1218.0	376.0	994.0	558.0		653.0		357.1	687.0	310.8		
1630.0	964.6		774.0	660.6	802.3	568.0		850.0		810.8	1066.0	594.8		
1171.0	642.4		807.0	338.0	651.0	538.0		794.4		492.9	673.0	385.6		
898.0	542.0		875.6	375.0	662.0	390.0		524.0		545.6	610.0	334.2		
1407.0	799.5		1092.0	308.0	1047.0	463.0		779.0		151.8	869.0	161.0		
492.0	569.6		815.0	717.0	863.0	419.9		750.0		387.5	586.0	433.8		
447.2	589.5		1238.0	269.0	808.0	393.8		435.0		288.0	663.0	248.2		
1146.0	1258.0		866.0	286.0	774.0	284.1		841.0		268.7	1563.7	278.2		
1472.0	1327.7			455.0	1200.0	664.2		872.0		599.6	1512.5	626.9		
550.8	522.6			226.0	797.0	270.7		487.9		222.8	608.0	253.7		
808.7	969.3			365.0	1051.0			780.3		319.0	1114.0	308.3		
1107.0	441.0			452.0	747.0					187.0	722.0	153.0		
790.0	684.2			636.0	771.0					505.7	679.0	537.4		
693.8	545.2			497.0	770.0					431.9	952.0	429.8		
619.7	398.3			246.0	501.0					323.6	425.0	333.0		
1408.0	542.7			186.0	767.0					199.0	587.1	198.6		
697.2	644.6			387.6	935.0					355.3	669.7	360.4		
595.1	753.2			391.8	1148.0						770.3	411.1		
806.7	698.3			714.0	621.0						815.0	435.1		
933.8	1203.4			434.1	1174.0						1278.1	363.7		
465.1	492.7			432.4	626.0						626.8	398.3		
462.5	653.6			268.0	554.0						795.6	234.8		

Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)

25093	25094	25097	25098	25099	25100	25101	25102	25110	25115	25116	25117	25118	25119	25150
1961	1961	1961	1961	1961	1961	1961	1961	1961	1968	1961	1961	1961	1961	1964
1985	1985	1985	2017	2017	2017	2017	2017	1995	1985	2005	1985	2005	2017	2017
1248.6	1302.1	1388.0	344.0	343.8	994.5	553.0	801.7	1105.0	655.1	339.0	845.0	892.0	920.2	962.0
1010.0	876.9	1085.0	437.3	438.6	827.0	1092.3	636.1	930.0	483.7	461.0	704.0	736.0	989.7	917.4
1436.0	1170.3	1083.0	263.0	259.6	1015.0	1119.0	1132.8	1036.0	505.4	202.0	725.0	1096.0	667.0	742.0
994.0	882.9	1045.0	196.0	196.0	779.0	579.0	600.0	844.0	1143.0	177.0	547.0	872.0	696.8	1116.0
1218.0	1103.9	930.0	202.0	244.0	1027.0	936.0	771.1	873.0	447.0	329.0	534.0	930.0	765.6	1228.0
1240.0	1196.9	1106.0	285.5	274.0	825.2	883.0	642.8	740.0	503.0	311.2	608.0	579.0	636.1	1216.2
1131.0	981.4	957.0	412.1	397.0	744.0	832.0	675.5	960.0	543.6	446.0	587.0	899.0	567.0	909.9
1395.0	1277.9	1161.0	306.1	307.0	1016.0	903.0	651.3	996.0	460.7	304.0	601.0	1048.0	967.0	977.1
1036.0	842.3	682.0	169.3	161.0	740.4	735.0	501.9	641.9	913.9	188.0	603.0	806.7	980.0	1020.6
1056.0	599.0	913.0	285.7	273.0	723.0	600.0	690.1	909.0	536.7	314.0	676.0	851.0	999.9	709.8
1159.0	1149.0	899.0	454.0	337.0	837.0	1234.7	719.9	1102.0	561.4	549.0	1170.0	811.0	970.8	917.8
1575.0	1201.2	1111.0	404.0	441.0	892.0	1084.0	752.7	895.0	556.0	407.0	740.1	1373.9	1012.9	1121.0
1219.0	997.3	770.0	139.0	142.0	995.0	968.0	498.1	714.0	651.8	184.0	525.4	717.0	426.0	875.2
1246.0	1235.4	1213.0	477.0	477.0	905.0	907.2	803.2	551.0	709.7	343.0	696.4	812.0	640.0	993.0
785.4	918.2	747.0	287.0	287.0	414.9	637.3	536.3	896.6	508.0	194.0	535.0	867.0	796.0	725.0
1074.0	1278.8	1164.6	222.2	222.1	846.0	804.0	829.1	1050.7	786.4	257.0	942.3	995.1	730.6	936.0
944.0	793.4	877.4	211.0	211.0	502.6	698.1	618.6	582.4	1025.1	181.0	564.4	777.2	802.0	903.0
1109.0	1045.4	1024.0	343.0	343.0	742.0	946.0	618.0	854.9	732.6	334.0	579.6	692.0	598.0	1068.0
1304.0	1116.8	902.0	242.0	242.0	627.0	322.0	468.1	923.8		159.0	556.1	663.0	610.0	668.5
1010.0	621.1	825.9	306.0	306.0	652.7	938.5	780.0	620.8		256.0	577.3	849.0	947.4	1445.0
1516.0	1328.0	1108.0	319.0	319.0	1001.0	954.9	613.3	1351.0		422.0	662.3	1146.4	755.3	1112.0
769.1	914.0	966.0	535.7	531.5	894.0	796.4	520.8	883.0		460.0	491.1	628.0	772.0	1374.0
1367.0	1040.7	987.0	455.0	455.0	950.0	1069.1	851.5	1132.0		446.0	900.2	1054.0	1060.0	1068.0
1793.0	1570.2	1694.5	590.0	587.1	1334.8	1300.0	1082.0	1622.0		684.0	1149.0	947.8	838.0	629.0
1181.0	611.0	880.1	371.2	373.4	836.3	1091.6	609.9	1084.0		411.0	736.3	649.9	1090.0	576.0
			202.4	202.7	894.0	1096.8	667.7	1161.0		207.0		807.6	712.8	857.0
			172.8	173.0	556.0	462.0	544.0	938.0		176.0		545.9	514.0	797.6
			133.6	132.3	729.0	663.1	481.7	828.0		110.0		867.0	580.0	516.0
			187.9	187.6	1043.0	788.2	622.8	891.0		302.0		1036.0	700.0	1151.5
			491.3	491.4	810.4	783.4	826.9	1332.0		471.8		1060.0	758.0	1024.0
			229.2	228.5	948.0	854.4	945.8	1034.0		495.0		917.0	685.0	722.2
			192.8	192.5	899.0	846.2	784.4	726.3		332.0		954.2	882.0	691.0
			293.1	292.6	918.0	821.2	680.1	737.0		469.0		1101.0	953.0	887.0
			303.2	303.0	915.0	839.0	905.2	954.0		367.0		949.6	520.0	737.0
			224.5	224.5	515.1	725.8	590.0	566.0		240.0		598.0	592.0	799.0
			941.2	942.1	909.0	937.2	724.0			599.0		665.2	707.0	1025.0
			538.3	538.5	825.0	1279.4	824.0			430.0		853.0	753.0	922.0
			334.3	334.5	739.0	1287.6	638.0			257.0		795.4	910.0	816.8
			214.2	211.0	808.0	878.1	481.0			156.0		942.0	878.0	779.0
			346.4	346.9	753.0	1462.8	762.0			156.0		800.2	977.0	790.0
			500.4	496.0	748.0	1208.2	602.7			422.0		744.2	487.0	1125.0
			213.2	212.1	507.0	1073.6	474.0			193.0		450.8	489.0	948.0
			290.4	290.5	816.0	801.9	714.0			292.0		839.7	569.0	895.0
			572.5	574.8	1039.0	1903.3	1054.0			615.0		873.1	880.0	754.0
			275.9	276.9	711.1	1360.7	572.0			294.0		487.8	631.0	981.0
			153.0	161.7	694.0	836.8	740.0						926.0	841.0
			475.0	474.6	924.0	1543.2	672.0						546.0	1059.0
			582.0	582.0	867.0	2280.7	555.0						750.0	888.0
			395.0	395.1	507.3	837.3	618.0						643.0	1186.6
			318.7	320.2	688.0	1514.9	528.0						722.0	839.8
			194.8	195.0	676.0	647.6	614.4						704.0	855.0
			371.0	370.8	463.6	1301.2	692.2						747.0	1057.0
			332.2	316.5	571.8	798.2	878.0						601.0	1011.0
			526.0	522.2	634.5	1010.8	744.1						808.0	655.0
			380.4	379.3	605.8	899.0	968.1						1000.0	
			423.4	423.6	433.7	738.1	696.1						488.0	
			237.2	236.5	481.8	671.1	528.8						447.0	

## Capítulo IV

*Tabla 4.1 Lluvias acumuladas anuales en el estado de Sinaloa (en mm)*

25151 1988 2010	25158 1970 1986	25161 1961 2017	25163 1961 2017	25167 1961 2017	25171 1961 2017	25172 1961 1986	25176 1961 2006	25177 1961 2008	25178 1993 2017	25180 1993 2017	25181 1961 2017	25183 1961 2017	25184 2005 2017	25186 1964 2017	25192 1961 2017
220.9	688.9	839.4	1023.4	861.0	801.2	1005.4	452.8	1378.4	426.0	950.0	1444.6	1068.1	688.0	1109.2	798.9
393.0	846.7	685.0	548.9	730.4	616.1	910.6	689.3	824.7	697.0	984.0	1306.0	950.7	731.0	905.6	933.1
592.8	885.5	595.7	1352.3	420.0	1130.5	912.0	960.2	1066.2	520.0	668.0	2298.3	1415.4	881.0	738.9	734.7
379.9	575.4	579.4	699.1	606.4	603.2	657.5	595.3	839.4	626.0	603.4	1419.1	1002.1	805.0	1126.1	664.3
412.7	823.0	448.8	717.4	422.1	773.7	855.8	771.5	1059.2	609.0	1066.0	1113.4	943.2	650.0	1327.5	669.2
534.0	405.1	390.3	699.9	348.7	645.9	770.8	524.0	1180.1	606.0	651.7	1374.1	850.8	865.0	1302.6	570.9
353.9	708.0	463.5	971.5	446.0	668.6	755.0	558.3	922.8	368.8	469.0	1254.5	934.5	697.0	1012.2	568.3
251.1	908.5	746.5	846.8	817.9	646.8	1036.9	730.6	1232.0	695.0	993.0	1324.2	1036.2	717.0	1055.3	958.0
259.8	836.6	381.6	647.2	391.7	503.2	855.2	729.6	766.5	550.0	717.0	733.1	665.7	857.0	1009.6	937.8
441.5	812.1	418.0	781.4	328.6	691.4	690.7	851.0	652.7	323.0	454.1	1013.1	734.2	983.0	733.9	979.2
397.5	720.3	1024.0	924.5	526.4	712.4	807.3	720.8	985.4	583.0	662.9	1271.9	889.0	1108.0	927.8	809.5
364.9	892.9	641.0	675.0	869.2	756.6	887.1	864.5	1054.8	654.0	786.3	1023.2	1031.2	625.0	992.1	750.7
238.2	920.4	275.0	787.1	451.2	497.5	591.9	809.3	910.5	377.0	469.6	780.2	584.4	601.0	885.5	606.7
497.3	756.0	745.0	825.3	612.8	808.3	827.6	1002.9	1231.2	552.8	653.3	1077.5	993.7		896.8	720.0
292.4	1190.5	292.0	819.8	419.3	525.9	413.3	760.6	940.5	581.0	522.8	739.5	582.5		769.1	807.6
554.2	220.0	523.0	786.0	687.8	830.6	741.2	771.2	1298.0	588.0	509.0	887.0	900.2		723.1	812.2
716.6	854.0	366.0	633.0	537.9	617.3	906.9	701.5	779.2	509.0	547.9	774.9	782.6		774.1	777.0
200.4		440.0	690.0	480.1	609.7	831.8	1037.5	1020.6	330.0	412.0	735.9	664.7		1173.5	809.7
483.4		276.7	497.4	267.4	466.8	528.0	882.8	1043.5	473.0	487.4	511.4	573.6		772.0	604.8
586.4		744.0	772.0	674.0	601.0	881.0	930.2	589.0	771.0	616.2	903.9	854.6		1605.0	1057.2
553.0		474.0	949.3	562.1	609.4	722.0	968.0	1357.0	525.1	641.3	973.9	1037.0		1032.0	749.1
483.8		592.0	664.3	611.6	515.5	862.0	541.2	1051.0	801.0	645.0	1040.0	699.0		1273.0	755.2
362.4		632.1	1123.6	657.9	499.0	921.0	982.8	912.9	800.0	653.6	827.0	992.1		935.6	1022.0
		859.2	1272.2	857.5	1075.0	1264.0	487.0	1549.3	428.0	430.8	1500.0	1073.3		759.7	717.5
		646.9	1004.7	629.7	595.4	754.0	959.6	666.0	348.0	347.6	1298.0	998.1		833.0	1057.5
		743.0	912.4	804.9	658.7	860.3	642.0	923.0			893.6	864.6		840.1	849.3
		814.8	675.3	818.1	539.1		473.6	795.0			670.1	859.0		800.5	503.9
		654.3	858.5	790.4	467.9		394.0	627.6			791.5	935.0		710.0	561.3
		1028.8	826.0	1053.1	615.4		638.0	795.0			1071.6	1349.0		985.0	1106.0
		1245.9	801.3	1230.3	777.4		667.0	1239.8			1085.4	1039.0		984.6	742.3
		676.5	1045.4	670.9	995.5		639.5	710.4			691.1	603.0		654.0	648.2
		1001.5	779.5	1009.8	775.0		802.0	951.7			1014.0	1112.0		736.0	850.4
		733.1	740.5	727.5	639.3		690.0	940.2			1011.0	659.0		857.0	949.0
		366.0	900.7	537.4	896.5		533.0	999.7			1082.0	1069.0		431.0	524.5
		519.5	530.8	508.4	524.2		440.0	730.2			808.0	675.0		810.0	543.2
		755.8	721.7	766.5	752.7		618.0	870.3			1105.0	898.0		619.0	677.5
		912.4	794.7	985.1	788.3		751.7	1009.7			1400.0	1223.8		1167.0	752.7
		626.6	557.1	648.5	579.5		732.0	584.5			846.0	1373.0		835.6	852.7
		506.9	470.3	555.7	415.2		589.0	804.6			1278.3	1319.0		802.0	866.6
		763.6	1051.5	813.5	644.0		850.0	947.8			1648.4	1480.0		750.0	931.9
		561.2	686.7	572.9	426.0		509.2	903.6			1324.8	824.7		1006.4	492.5
		551.6	584.1	604.3	465.1		337.0	571.3			177.0	800.0		752.0	442.6
		1066.3	677.9	1343.0	673.4		680.2	969.3			1216.5	1680.0		748.0	596.7
		1211.9	1021.9	1379.1	960.6		1288.8	1699.3			2237.3	1097.0		772.7	981.9
		511.2	648.6	496.0	617.5		356.0	725.5			1586.7	708.0		818.5	659.5
		894.6	907.8	998.4	724.6		534.0	1289.5			956.5	888.0		893.0	795.7
		244.0	838.9	497.7	387.0			1119.2			1938.8	980.0		1246.0	663.6
		686.8	896.5	683.1	538.0			986.4			2616.8	885.0		819.8	780.9
		260.0	779.0	627.2	416.0						911.9	914.0		1214.0	827.7
		394.7	637.0	390.0	416.0						1848.4	740.0		853.8	714.8
		543.7	654.0	545.0	358.0						635.4	661.0		880.9	892.4
		644.8	836.0	645.0	563.0						1478.4	713.0		1046.3	698.1
		742.5	790.0	757.9	824.8						783.0	766.0		956.7	721.7
		682.7	851.0	662.0	636.8						934.1	992.0		635.2	1003.8
		1226.0	1099.0	1256.0	937.7						1096.4	1317.0			1039.6
		489.4	568.0	485.0	614.1						803.2	876.0			665.3
		667.1	527.0	685.0	505.4						821.7	990.0			578.0

4.1 **Estadísticos de las series de lluvia acumulada anual**

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias de las series de lluvia anual es necesario obtener los valores estadísticos. Para este propósito, se aplicaron las expresiones (4.4) a (4.9).

- Media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{4.4}$$

- Varianza

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \tag{4.5}$$

- Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2} \tag{4.6}$$

- Coeficiente de asimetría

$$g = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{S} \right)^3 \tag{4.7}$$

- Coeficiente de Curtosis

$$K = 3 + \left\{ \left[ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{S} \right)^4 \right] - \left[ \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \right] \right\} \tag{4.8}$$

- Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \tag{4.9}$$

En todas las expresiones anteriores,  $n$  representa el tamaño de muestra.

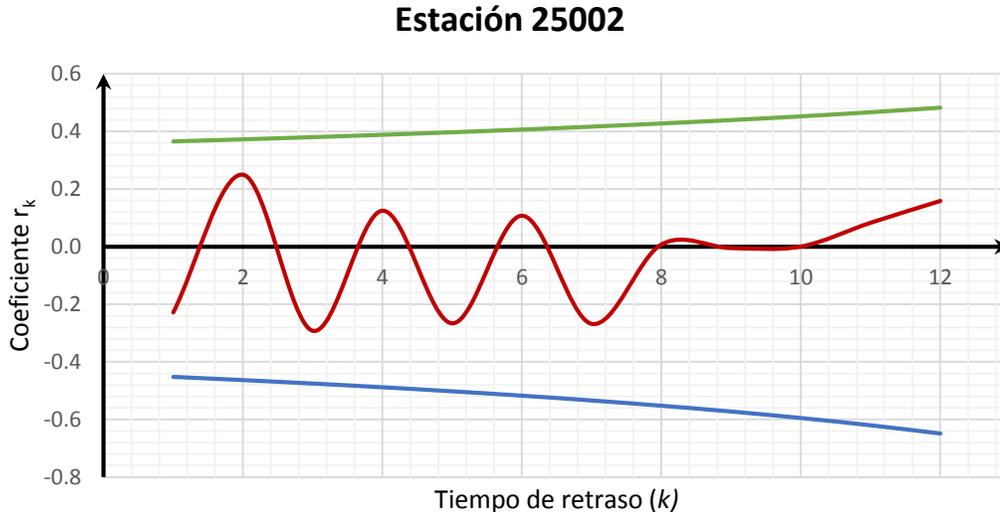
## Capítulo IV

# Capítulo V

## Resultados

### 5.1 Independencia de las series de lluvia acumulada anual

Al aplicar las expresiones (3.18) y (3.19) se determinó si la serie es independiente, esto es, que la serie de lluvia acumulada anual está formada por variables aleatorias, y por tanto puede ser sujeta al análisis de frecuencias de eventos. A continuación, de la Gráfica 5.1 a la 5.3 se muestran algunos ejemplos de correlogramas que mostraron ser independientes o dependientes, en tanto que en la Tabla 5.1 se muestran los resultados del análisis de las 106 estaciones disponibles en el estado de Sinaloa. De dicho análisis se concluye que siete de las 106 estaciones deben ser removidas del análisis que se haga posteriormente, ya que mostraron ser dependientes desde el punto de vista estadístico. Estas estaciones son 25030, 25036, 25062, 25070, 25071, 25073 y 25074.



**Gráfica 5.1** Correlograma de la serie independiente de lluvia anual de la estación 25002.



Gráfica 5.2 Correlograma de la serie Independiente de lluvia anual de la estación 25018.



Gráfica 5.3 Correlograma de la serie dependiente de lluvia anual de la estación 25018.

**Tabla 5.1** Resultados de la prueba de independencia aplicada a las series de lluvia anual del estado de Sinaloa.

Estación	Serie	Estación	Serie	Estación	Serie	Estación	Serie
25001	Independiente	25039	Independiente	<b>25074</b>	<b>Dependiente</b>	25151	Independiente
25002	Independiente	25041	Independiente	25076	Independiente	25158	Independiente
25003	Independiente	25042	Independiente	25077	Independiente	25161	Independiente
25006	Independiente	25043	Independiente	25078	Independiente	25163	Independiente
25007	Independiente	25044	Independiente	25080	Independiente	25167	Independiente
25008	Independiente	25045	Independiente	25081	Independiente	25171	Independiente
25009	Independiente	25046	Independiente	25082	Independiente	25172	Independiente
25011	Independiente	25047	Independiente	25083	Independiente	25176	Independiente
25012	Independiente	25048	Independiente	25084	Independiente	25177	Independiente
25013	Independiente	25049	Independiente	25085	Independiente	25178	Independiente
25014	Independiente	25050	Independiente	25086	Independiente	25180	Independiente
25015	Independiente	25052	Independiente	25087	Independiente	25181	Independiente
25018	Independiente	25053	Independiente	25088	Independiente	25183	Independiente
25019	Independiente	25054	Independiente	25091	Independiente	25184	Independiente
25021	Independiente	25055	Independiente	25092	Independiente	25186	Independiente
25022	Independiente	25056	Independiente	25093	Independiente	25192	Independiente
25023	Independiente	25058	Independiente	25094	Independiente		
25024	Independiente	25059	Independiente	25097	Independiente		
25025	Independiente	25061	Independiente	25098	Independiente		
25027	Independiente	<b>25062</b>	<b>Dependiente</b>	25099	Independiente		
25028	Independiente	25063	Independiente	25100	Independiente		
25029	Independiente	25064	Independiente	25101	Independiente		
<b>25030</b>	<b>Dependiente</b>	25065	Independiente	25102	Independiente		
25031	Independiente	25066	Independiente	25110	Independiente		
25032	Independiente	25068	Independiente	25115	Independiente		
25033	Independiente	25069	Independiente	25116	Independiente		
25035	Independiente	<b>25070</b>	<b>Dependiente</b>	25117	Independiente		
<b>25036</b>	<b>Dependiente</b>	<b>25071</b>	<b>Dependiente</b>	25118	Independiente		
25037	Independiente	25072	Independiente	25119	Independiente		
25038	Independiente	<b>25073</b>	<b>Dependiente</b>	25150	Independiente		

## 5.2 Homogeneidad y tendencia de las series de lluvia

En la Tabla 5.2 se presentan los resultados de las pruebas de Pettitt, y en la Tabla 5.3 los de la prueba de tendencia de Mann-Kendall. En la Tabla 5.4 se determinan las series que se consideran como estacionarias o no estacionarias. En ella se observa que 30 de los registros son no estacionarios.

## Capítulo V

Tabla 5.2 Resultados de la prueba de Pettitt aplicada a la lluvia anual de Sinaloa.

<i>Estación</i>	$X_k$	$n$	$X_{5\%}$	<i>Hipótesis</i>
25001	206	57	286.73	H <sub>0</sub>
25002	38	24	75.73	H <sub>0</sub>
25003	160	45	201.03	H <sub>0</sub>
25006	60	35	137.45	H <sub>0</sub>
25007	68	24	75.73	H <sub>0</sub>
25008	175	52	249.78	H <sub>0</sub>
25009	124	45	201.03	H <sub>0</sub>
25011	26	20	55.43	H <sub>0</sub>
25012	246	57	286.73	H <sub>0</sub>
25013	240	57	286.73	H <sub>0</sub>
25014	178	57	286.73	H <sub>0</sub>
25015	162	57	286.73	H <sub>0</sub>
25018	48	24	75.73	H <sub>0</sub>
25019	46	24	75.73	H <sub>0</sub>
25021	166	57	286.73	H <sub>0</sub>
25022	58	23	70.55	H <sub>0</sub>
25023	310	57	286.73	H <sub>1</sub>
25024	113	46	207.78	H <sub>0</sub>
25025	266	57	286.73	H <sub>0</sub>
25027	92	25	80.99	H <sub>1</sub>
25028	306	57	286.73	H <sub>1</sub>
25029	221	46	207.78	H <sub>1</sub>
25030	435	56	279.20	H <sub>1</sub>
25031	105	46	207.78	H <sub>0</sub>
25032	340	57	286.73	H <sub>1</sub>
25033	274	57	286.73	H <sub>0</sub>
25035	54	23	70.55	H <sub>0</sub>
25036	258	57	286.73	H <sub>0</sub>
25037	44	23	70.55	H <sub>0</sub>
25038	92	25	80.99	H <sub>1</sub>
25039	92	25	80.99	H <sub>1</sub>
25041	178	57	286.73	H <sub>0</sub>
25042	178	57	286.73	H <sub>0</sub>
25043	59	26	86.31	H <sub>0</sub>
25044	108	43	187.75	H <sub>0</sub>
25045	200	57	286.73	H <sub>0</sub>
25046	78	33	125.59	H <sub>0</sub>
25047	240	57	286.73	H <sub>0</sub>
25048	122	57	286.73	H <sub>0</sub>
25049	123	52	249.78	H <sub>0</sub>

Tabla 5.2 Resultados de la prueba de Pettitt aplicada a la lluvia anual de Sinaloa (Cont. ').

<i>Estación</i>	$X_k$	$n$	$X_{5\%}$	<i>Hipótesis</i>
25050	388	57	286.73	H <sub>1</sub>
25052	215	46	207.78	H <sub>1</sub>
25053	364	57	286.73	H <sub>1</sub>
25054	390	57	286.73	H <sub>1</sub>
25055	208	57	286.73	H <sub>0</sub>
25056	278	57	286.73	H <sub>0</sub>
25058	282	54	264.35	H <sub>1</sub>
25059	198	57	286.73	H <sub>0</sub>
25061	314	57	286.73	H <sub>1</sub>
25062	296	57	286.73	H <sub>1</sub>
25063	31	18	45.70	H <sub>0</sub>
25064	37	18	45.70	H <sub>0</sub>
25065	110	45	201.03	H <sub>0</sub>
25066	242	57	286.73	H <sub>0</sub>
25068	47	24	75.73	H <sub>0</sub>
25069	140	57	286.73	H <sub>0</sub>
25070	338	46	207.78	H <sub>1</sub>
25071	262	57	286.73	H <sub>0</sub>
25072	235	46	207.78	H <sub>1</sub>
25073	480	50	235.50	H <sub>1</sub>
25074	490	57	286.73	H <sub>1</sub>
25076	426	57	286.73	H <sub>1</sub>
25077	32	18	45.70	H <sub>0</sub>
25078	114	43	187.75	H <sub>0</sub>
25080	192	57	286.73	H <sub>0</sub>
25081	168	57	286.73	H <sub>0</sub>
25082	128	45	201.03	H <sub>0</sub>
25083	51	24	75.73	H <sub>0</sub>
25084	294	46	207.78	H <sub>1</sub>
25085	59	26	86.31	H <sub>0</sub>
25086	137	52	249.78	H <sub>0</sub>
25087	138	57	286.73	H <sub>0</sub>
25088	142	57	286.73	H <sub>0</sub>
25091	75	30	108.33	H <sub>0</sub>
25092	50	25	80.99	H <sub>0</sub>
25093	38	25	80.99	H <sub>0</sub>
25094	24	25	80.99	H <sub>0</sub>
25097	56	25	80.99	H <sub>0</sub>
25098	242	57	286.73	H <sub>0</sub>
25099	250	57	286.73	H <sub>0</sub>

## Capítulo V

**Tabla 5.2** Resultados de la prueba de Pettitt aplicada a la lluvia anual de Sinaloa (Cont. ').

<i>Estación</i>	$X_k$	$n$	$X_{5\%}$	<i>Hipótesis</i>
25100	390	57	286.73	H <sub>1</sub>
25101	318	57	286.73	H <sub>1</sub>
25102	102	57	286.73	H <sub>0</sub>
25110	94	35	137.45	H <sub>0</sub>
25115	46	18	45.70	H <sub>1</sub>
25116	112	45	201.03	H <sub>0</sub>
25117	52	25	80.99	H <sub>0</sub>
25118	172	45	201.03	H <sub>0</sub>
25119	284	57	286.73	H <sub>0</sub>
25150	277	54	264.35	H <sub>1</sub>
25151	54	23	70.55	H <sub>0</sub>
25158	32	17	40.94	H <sub>0</sub>
25161	308	57	286.73	H <sub>1</sub>
25163	196	57	286.73	H <sub>0</sub>
25167	388	57	286.73	H <sub>1</sub>
25171	254	57	286.73	H <sub>0</sub>
25172	53	26	86.31	H <sub>0</sub>
25176	259	46	207.78	H <sub>1</sub>
25177	186	48	221.50	H <sub>0</sub>
25178	32	25	80.99	H <sub>0</sub>
25180	102	25	80.99	H <sub>1</sub>
25181	246	57	286.73	H <sub>0</sub>
25183	172	57	286.73	H <sub>0</sub>
25184	22	13	22.63	H <sub>0</sub>
25186	297	54	264.35	H <sub>1</sub>
25192	160	57	286.73	H <sub>0</sub>

Tabla 5.3 Resultados de la prueba de Mann-Kendall aplicada a la Hp anual de Sinaloa.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>S</i>	<i>Var [S]</i>	<i>Z<sub>MK</sub></i>	<i>Hipótesis</i>
25001	57	40	21102.67	0.27	H <sub>0</sub>
25002	24	0	1625.33	0.02	H <sub>0</sub>
25003	45	126	10450.00	1.22	H <sub>0</sub>
25006	35	-41	4958.33	0.57	H <sub>0</sub>
25007	24	35	1625.33	0.84	H <sub>0</sub>
25008	52	130	16059.33	1.02	H <sub>0</sub>
25009	45	-30	10450.00	0.28	H <sub>0</sub>
25011	20	21	950.00	0.65	H <sub>0</sub>
25012	57	35	21102.67	0.23	H <sub>0</sub>
25013	57	121	21102.67	0.83	H <sub>0</sub>
25014	57	-148	21102.67	1.01	H <sub>0</sub>
25015	57	32	21102.67	0.21	H <sub>0</sub>
25018	24	24	1625.33	0.57	H <sub>0</sub>
25019	24	4	1625.33	0.07	H <sub>0</sub>
25021	57	-62	21102.67	0.42	H <sub>0</sub>
25022	23	47	1433.67	1.21	H <sub>0</sub>
25023	57	-294	21102.67	2.02	H <sub>1</sub>
25024	46	-85	11155.00	0.80	H <sub>0</sub>
25025	57	-231	21102.67	1.58	H <sub>0</sub>
25027	25	-100	1833.33	2.31	H <sub>1</sub>
25028	57	277	21102.67	1.90	H <sub>0</sub>
25029	46	-197	11155.00	1.86	H <sub>0</sub>
25030	56	-334	20020.00	2.35	H <sub>1</sub>
25031	46	-79	11155.00	0.74	H <sub>0</sub>
25032	57	-362	21102.67	2.49	H <sub>1</sub>
25033	57	-179	21102.67	1.23	H <sub>0</sub>
25035	23	47	1433.67	1.21	H <sub>0</sub>
25036	57	-12	21102.67	0.08	H <sub>0</sub>
25037	23	-12	1433.67	0.29	H <sub>0</sub>
25038	25	-99	1833.33	2.29	H <sub>1</sub>
25039	25	-100	1833.33	2.31	H <sub>1</sub>
25041	57	-101	21102.67	0.69	H <sub>0</sub>
25042	57	-88	21102.67	0.60	H <sub>0</sub>
25043	26	-27	2058.33	0.57	H <sub>0</sub>
25044	43	42	9130.33	0.43	H <sub>0</sub>
25045	57	-132	21102.67	0.90	H <sub>0</sub>
25046	33	36	4165.33	0.54	H <sub>0</sub>
25047	57	-240	21102.67	1.65	H <sub>0</sub>
25048	57	-20	21102.67	0.13	H <sub>0</sub>
25049	52	-23	16059.33	0.17	H <sub>0</sub>

## Capítulo V

Tabla 5.3 Resultados de la prueba de Mann-Kendall aplicada a la Hp anual de Sinaloa (Cont. 1).

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>S</i>	<i>Var [S]</i>	<i>Z<sub>MK</sub></i>	<i>Hipótesis</i>
25050	57	154	21102.67	1.05	H <sub>0</sub>
25052	46	-150	11155.00	1.41	H <sub>0</sub>
25053	57	-334	21102.67	2.29	H <sub>1</sub>
25054	57	-336	21102.67	2.31	H <sub>1</sub>
25055	57	-154	21102.67	1.05	H <sub>0</sub>
25056	57	-248	21102.67	1.70	H <sub>0</sub>
25058	54	-217	17967.00	1.61	H <sub>0</sub>
25059	57	-152	21102.67	1.04	H <sub>0</sub>
25061	57	-258	21102.67	1.77	H <sub>0</sub>
25062	57	240	21102.67	1.65	H <sub>0</sub>
25063	18	17	697.00	0.61	H <sub>0</sub>
25064	18	27	697.00	0.98	H <sub>0</sub>
25065	45	-6	10450.00	0.05	H <sub>0</sub>
25066	57	-198	21102.67	1.36	H <sub>0</sub>
25068	24	32	1625.33	0.77	H <sub>0</sub>
25069	57	-34	21102.67	0.23	H <sub>0</sub>
25070	46	-367	11155.00	3.47	H <sub>1</sub>
25071	57	33	21102.67	0.22	H <sub>0</sub>
25072	46	-155	11155.00	1.46	H <sub>0</sub>
25073	50	-497	14291.67	4.15	H <sub>1</sub>
25074	57	-556	21102.67	3.82	H <sub>1</sub>
25076	57	344	21102.67	2.36	H <sub>1</sub>
25077	18	35	697.00	1.29	H <sub>0</sub>
25078	43	50	9130.33	0.51	H <sub>0</sub>
25080	57	66	21102.67	0.45	H <sub>0</sub>
25081	57	-142	21102.67	0.97	H <sub>0</sub>
25082	45	1	10450.00	0.00	H <sub>0</sub>
25083	24	58	1625.33	1.41	H <sub>0</sub>
25084	46	-284	11155.00	2.68	H <sub>1</sub>
25085	26	47	2058.33	1.01	H <sub>0</sub>
25086	52	-22	16059.33	0.17	H <sub>0</sub>
25087	57	-28	21102.67	0.19	H <sub>0</sub>
25088	57	20	21102.67	0.13	H <sub>0</sub>
25091	30	-33	3141.67	0.57	H <sub>0</sub>
25092	25	-30	1833.33	0.68	H <sub>0</sub>
25093	25	11	1833.33	0.23	H <sub>0</sub>
25094	25	-10	1833.33	0.21	H <sub>0</sub>
25097	25	-36	1833.33	0.82	H <sub>0</sub>
25098	57	194	21102.67	1.33	H <sub>0</sub>
25099	57	191	21102.67	1.31	H <sub>0</sub>

Tabla 5.3 Resultados de la prueba de Mann-Kendall aplicada a la Hp anual de Sinaloa (Cont. 1).

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>S</i>	<i>Var [S]</i>	<i>ZMK</i>	<i>Hipótesis</i>
25100	57	-483	21102.67	3.32	H <sub>1</sub>
25101	57	232	21102.67	1.59	H <sub>0</sub>
25102	57	-19	21102.67	0.12	H <sub>0</sub>
25110	35	-5	4958.33	0.06	H <sub>0</sub>
25115	18	53	697.00	1.97	H <sub>1</sub>
25116	45	26	10450.00	0.24	H <sub>0</sub>
25117	25	4	1833.33	0.07	H <sub>0</sub>
25118	45	-127	10450.00	1.23	H <sub>0</sub>
25119	57	-254	21102.67	1.74	H <sub>0</sub>
25150	54	-130	17967.00	0.96	H <sub>0</sub>
25151	23	37	1433.67	0.95	H <sub>0</sub>
25158	17	24	589.33	0.95	H <sub>0</sub>
25161	57	171	21102.67	1.17	H <sub>0</sub>
25163	57	-124	21102.67	0.85	H <sub>0</sub>
25167	57	286	21102.67	1.96	H <sub>1</sub>
25171	57	-249	21102.67	1.71	H <sub>0</sub>
25172	26	-15	2058.33	0.31	H <sub>0</sub>
25176	46	-165	11155.00	1.55	H <sub>0</sub>
25177	48	-103	12658.67	0.91	H <sub>0</sub>
25178	25	-18	1833.33	0.40	H <sub>0</sub>
25180	25	-112	1833.33	2.59	H <sub>1</sub>
25181	57	-22	21102.67	0.14	H <sub>0</sub>
25183	57	36	21102.67	0.24	H <sub>0</sub>
25184	13	0	268.67	0.06	H <sub>0</sub>
25186	54	-227	17967.00	1.69	H <sub>0</sub>
25192	57	-40	21102.67	0.27	H <sub>0</sub>

Tabla 5.4 Decisión final de las pruebas estadísticas de Pettitt y Mann-Kendall

Estación	Pettitt	Mann Kendall	Decisión
25001	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25002	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25003	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25006	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25007	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25008	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25009	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25011	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25012	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25013	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25014	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25015	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25018	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25019	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25021	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25022	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25023	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25024	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25025	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25027	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25028	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	<b>No Estacionario</b>
25029	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	<b>No Estacionario</b>
25030	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25031	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25032	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25033	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25035	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25036	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25037	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25038	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25039	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	<b>No Estacionario</b>
25041	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25042	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25043	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25044	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25045	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25046	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25047	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25048	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25049	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario

Tabla 5.4 Decisión final de las pruebas estadísticas de Pettitt y Mann-Kendall (Cont. ').

Estación	Pettitt	Mann Kendall	Decisión
25050	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25052	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25053	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25054	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25055	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25056	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25058	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25059	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25061	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25062	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25063	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25064	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25065	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25066	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25068	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25069	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25070	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25071	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25072	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	No Estacionario
25073	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25074	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25076	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25077	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25078	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25080	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25081	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25082	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25083	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25084	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	No Estacionario
25085	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25086	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25087	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25088	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25091	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25092	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25093	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25094	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25097	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25098	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25099	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario

## Capítulo V

Tabla 5.4 Decisión final de las pruebas estadísticas de Pettitt y Mann-Kendall (Cont. ').

Estación	Pettitt	Mann Kendall	Decisión
25100	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25101	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25102	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25110	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25115	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25116	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25117	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25118	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25119	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25150	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25151	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25158	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25161	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25163	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25167	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25171	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25172	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25176	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25177	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25178	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25180	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25181	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25183	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25184	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario
25186	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>No Estacionario</b>
25192	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	Estacionario

### 5.3 Estadísticos de las muestras de lluvia

Al aplicar las expresiones (4.4) a (4.9) se obtuvieron las características estadísticas de las series de lluvia acumulada anual. En la siguiente tabla (**Tabla 5.5 Características estadísticas de las series de lluvia acumulada anual**) se presentan dichos valores.

Tabla 5.5 Características estadísticas de las series de lluvia acumulada anual

	Estación											
	<b>25001</b>	<b>25002</b>	<b>25003</b>	<b>25006</b>	<b>25007</b>	<b>25008</b>	<b>25009</b>	<b>25011</b>	<b>25012</b>	<b>25013</b>	<b>25014</b>	<b>25015</b>
Media	792	804	405	974	714	335	455	705	1104	400	673	682
S	189	223	196	224	177	151	150	167	379	146	152	158
g	0.54	0.79	2.29	0.48	0.37	1.53	0.29	0.22	1.41	0.69	0.97	0.68
k	3.07	3.48	9.88	3.00	2.80	7.07	1.89	1.74	6.06	3.16	4.15	3.22
Cv	0.24	0.28	0.49	0.23	0.25	0.45	0.33	0.24	0.34	0.36	0.23	0.23
	<b>25018</b>	<b>25019</b>	<b>25021</b>	<b>25022</b>	<b>25023</b>	<b>25024</b>	<b>25025</b>	<b>25027</b>	<b>25028</b>	<b>25029</b>	<b>25030</b>	<b>25031</b>
Media	768	777	691	410	583	739	600	444	738	1163	521	687
S	215	239	354	148	143	243	151	133	178	327	183	200
g	0.66	0.84	3.76	0.22	0.77	1.93	0.49	1.07	0.72	-0.72	0.17	0.82
k	3.38	4.13	24.51	2.31	3.94	10.60	2.82	4.85	3.30	2.66	2.07	4.67
Cv	0.28	0.31	0.51	0.36	0.24	0.33	0.25	0.30	0.24	0.28	0.35	0.29
	<b>25032</b>	<b>25033</b>	<b>25035</b>	<b>25036</b>	<b>25037</b>	<b>25038</b>	<b>25039</b>	<b>25041</b>	<b>25042</b>	<b>25043</b>	<b>25044</b>	<b>25045</b>
Media	539	854	418	1253	592	443	443	1011	331	785	824	767
S	146	210	127	615	162	135	134	220	127	186	213	166
g	0.57	0.46	0.33	1.69	0.39	1.04	1.02	0.63	1.87	-0.58	0.58	0.63
k	3.85	2.95	2.69	6.62	2.54	4.62	4.57	4.17	9.53	4.16	3.42	2.90
Cv	0.27	0.25	0.30	0.49	0.27	0.30	0.30	0.22	0.38	0.24	0.26	0.22
	<b>25046</b>	<b>25047</b>	<b>25048</b>	<b>25049</b>	<b>25050</b>	<b>25052</b>	<b>25053</b>	<b>25054</b>	<b>25055</b>	<b>25056</b>	<b>25058</b>	<b>25059</b>
Media	840	1158	399	1099	660	760	577	706	579	507	935	562
S	226	356	145	210	460	297	169	176	144	146	225	163
g	0.02	1.24	0.64	0.72	5.26	1.98	1.00	0.42	0.48	0.42	1.00	0.85
k	4.82	5.98	3.00	3.62	37.09	8.90	3.67	2.91	3.50	3.29	4.25	4.03
Cv	0.27	0.31	0.36	0.19	0.70	0.39	0.29	0.25	0.25	0.29	0.24	0.29
	<b>25061</b>	<b>25062</b>	<b>25063</b>	<b>25064</b>	<b>25065</b>	<b>25066</b>	<b>25068</b>	<b>25069</b>	<b>25070</b>	<b>25071</b>	<b>25072</b>	<b>25073</b>
Media	2488	3390	2981	3415	3337	2547	2955	3329	2696	2338	2447	2457
S	6877	8317	7910	8311	8335	7290	7919	8340	6840	6921	6891	6889
g	3.10	2.37	2.58	2.37	2.37	2.90	2.58	2.37	3.06	3.11	3.10	3.10
k	10.96	6.88	7.93	6.87	6.89	9.73	7.94	6.89	10.81	10.99	10.97	10.97
Cv	2.76	2.45	2.65	2.43	2.50	2.86	2.68	2.50	2.54	2.96	2.82	2.80
	<b>25074</b>	<b>25076</b>	<b>25077</b>	<b>25078</b>	<b>25080</b>	<b>25081</b>	<b>25082</b>	<b>25083</b>	<b>25084</b>	<b>25085</b>	<b>25086</b>	<b>25087</b>
Media	1090	653	734	889	413	858	495	773	795	943	380	805
S	366	254	174	204	155	197	164	224	184	273	158	233
g	-0.20	0.77	1.45	0.99	0.75	0.24	0.28	0.86	0.46	-0.27	1.54	1.27
k	2.08	3.51	4.98	4.38	2.87	2.60	2.74	3.43	3.94	3.58	7.05	5.32
Cv	0.34	0.39	0.24	0.23	0.37	0.23	0.33	0.29	0.23	0.29	0.41	0.29

## Capítulo V

**Tabla 5.5** Características estadísticas de las 106 series de lluvia acumulada anual (Cont.).

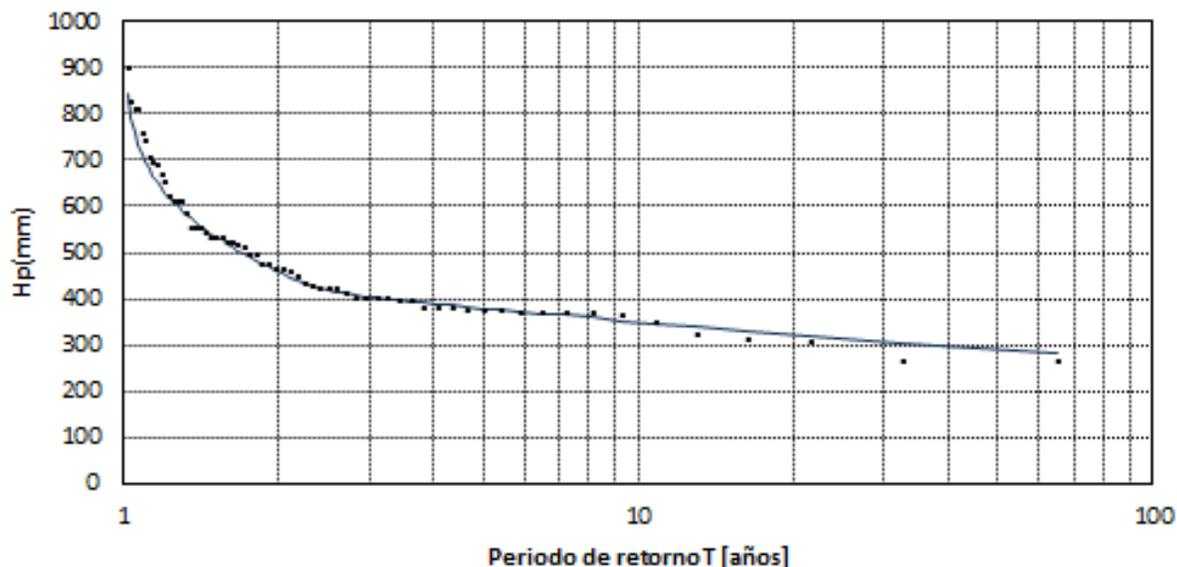
	Estación											
	<b>25088</b>	<b>25091</b>	<b>25092</b>	<b>25093</b>	<b>25094</b>	<b>25097</b>	<b>25098</b>	<b>25099</b>	<b>25100</b>	<b>25101</b>	<b>25102</b>	<b>25110</b>
Media	351	723	913	1193	1042	1021	339	337	785	967	694	928
S	127	178	251	237	243	213	148	147	187	337	155	231
g	0.64	0.52	1.29	0.50	-0.14	1.30	1.36	1.43	0.03	1.45	0.85	0.74
k	3.03	2.57	4.79	3.62	2.82	6.18	6.41	6.69	3.16	6.66	3.58	4.34
Cv	0.36	0.25	0.27	0.20	0.23	0.21	0.44	0.44	0.24	0.35	0.22	0.25
	<b>25115</b>	<b>25116</b>	<b>25117</b>	<b>25118</b>	<b>25119</b>	<b>25150</b>	<b>25151</b>	<b>25158</b>	<b>25161</b>	<b>25163</b>	<b>25167</b>	<b>25171</b>
Media	651	332	690	844	751	923	416	767	646	796	680	648
S	202	138	183	184	175	192	137	217	244	186	247	171
g	1.28	0.54	1.49	0.19	0.08	0.35	0.23	-0.91	0.60	0.71	1.04	0.75
k	3.90	2.70	4.74	3.62	2.01	3.23	2.45	5.14	3.12	3.68	4.04	3.44
Cv	0.31	0.42	0.27	0.22	0.23	0.21	0.33	0.28	0.38	0.23	0.36	0.26
	<b>25172</b>	<b>25176</b>	<b>25177</b>	<b>25178</b>	<b>25180</b>	<b>25181</b>	<b>25183</b>	<b>25184</b>	<b>25186</b>	<b>25192</b>		
Media	817	705	969	550	638	1130	939	785	913	768		
S	167	201	248	142	192	443	239	149	210	162		
g	0.01	0.42	0.72	0.08	0.83	1.20	0.84	0.84	0.83	0.15		
k	4.86	3.26	3.67	2.25	3.07	5.24	3.82	3.21	4.31	2.32		
Cv	0.20	0.28	0.26	0.26	0.30	0.39	0.25	0.19	0.23	0.21		

### 5.4 Análisis de frecuencias de lluvia acumulada anual

A los registros independientes de lluvia acumulada anual del estado de Sinaloa se les ajustaron las distribuciones **G**, **W3**, **LN3**, **G3**, **GG**, **GW3**, **W3G** y **W3W3**. Como ejemplo, en la Tabla 5.6 se muestran los resultados obtenidos para el caso de la estación climatológica 25001. En ella se observa que el mejor ajuste se obtiene mediante la distribución mezclada **GW3** ( $EEA = 27$  mm, Figura 5.4).

**Tabla 5.6** Eventos de lluvia anual  $H_p$  (mm) de diferentes periodos de retorno  $T$  (años) de la estación 25001.

Hp media	Distribución	EEA	T = 2	T = 5	T = 10	T = 20	T = 50	T = 100
791.6 mm	GW3	<b>27.0</b>	755.5	650.7	587.9	528.8	455.1	401.9
	W3G	28.8	754.4	648.9	584.5	523.4	446.6	392.5
	W3W3	30.5	755.3	650.2	593.7	544.0	485.7	445.8
	W3	39.9	777.6	637.0	572.9	526.9	483.7	460.3
	LN3	40.6	768.9	643.8	586.6	543.2	498.1	470.1
	GG	40.7	764.9	611.1	511.8	413.9	281.8	175.9
	G3	41.4	769.2	645.9	591.1	550.4	509.3	484.6
	G	67.4	808.4	630.4	512.5	399.4	253.0	143.3



**Figura 5.4** Ajuste la distribución mezclada GW3 a la serie de lluvia acumulada anual de la estación 25001.

En la Tabla 5.7 se presentan para cada estación la mejor distribución de ajuste y los eventos estimados de lluvia acumulada anual esperada para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En la Tabla 5.8 se encuentra el porcentaje de reducción de la lluvia respecto a la media anual de cada estación. Escalante y Reyes (2013) establecieron que el valor estimado para un periodo de retorno de cinco años corresponde a la lámina esperada en periodo de sequía, en tanto que el de diez años corresponde a la lámina de lluvia esperada, también en estiaje, pero que considera la variabilidad del comportamiento de la lluvia (una desviación estándar “Ss”), valores que se obtienen para cada estación a partir de la tabla 5.7. En el estado de Sinaloa, los déficits esperados con respecto a su valor medio varían, para el periodo de retorno de cinco años, de entre un 15.4% a un 41.4% (promedio 23.1%), en tanto que para el caso de diez años periodo de retorno, el déficit de lluvia pudiera variar de un 21.7% a un 48.6% (promedio 32.1%). Estas condiciones son importantes, ya que, si se considera que en el estado se puede presentar una sequía cada 4 años y durar 2 años, entonces, la lámina esperada en época de sequía sería en promedio 552.9 mm (un 23.1% menos de la lluvia media anual, que es de 719 mm).

## Capítulo V

**Tabla 5.7** *Eventos de lluvia anual  $H_p$  (mm) de diferentes periodos de retorno  $T$  (años) de todas las estaciones analizadas.*

<b>Estación</b>	<b>Distribución</b>	<b><math>T = 2</math></b>	<b><math>T = 5</math></b>	<b><math>T = 10</math></b>	<b><math>T = 20</math></b>	<b><math>T = 50</math></b>	<b><math>T = 100</math></b>
25001	GW3	755.5	650.7	587.9	528.8	455.1	401.9
25003	G3	320.5	237.1	216.1	207.0	202.8	202.1
25006	W3G	939.1	796.1	711.3	632.1	531.5	456.7
25007	GG	691.2	564.7	488.5	408.6	291.3	195.3
25008	LN3	290.3	213.0	184.2	164.9	147.2	137.3
25009	W3W3	419.8	318.9	278.2	249.2	221.8	212.0
25011	W3G	679.6	556.9	496.8	446.5	389.4	352.2
25012	LN3	1012.7	819.9	733.0	667.5	600.0	558.4
25013	W3W3	378.4	278.5	234.7	204.7	178.0	163.2
25015	G3	654.6	548.5	502.7	469.5	436.7	417.4
25018	EV3	727.8	578.5	518.1	478.5	444.9	428.4
25019	G3	729.3	577.9	510.6	460.8	410.5	380.3
25021	LN3	615.6	462.9	397.7	350.3	303.0	274.7
25022	G3	401.6	287.4	230.4	184.7	134.8	102.4
25023	GG	573.9	479.9	418.9	360.5	284.6	226.9
25025	LN3	582.7	478.2	430.0	393.2	354.8	330.8
25027	G3	418.0	335.4	299.6	273.4	247.6	232.4
25028	GW3	712.2	611.1	547.9	488.1	410.9	354.1
25029	W3W3	1273.6	890.2	695.0	573.4	466.1	408.9
25030	GW3	493.3	361.9	302.5	256.5	208.7	179.0
25031	W3W3	713.9	552.7	424.4	371.3	364.3	364.0
25032	W3G	530.2	424.9	367.7	320.0	267.4	233.2
25033	EV3	826.4	670.4	602.3	554.9	512.1	489.6
25035	GG	404.8	316.5	262.8	205.7	121.3	52.0
25036	LN3	1021.1	800.8	718.0	662.3	610.8	582.0
25037	EV3	564.8	447.4	400.9	370.8	345.6	333.5
25038	G3	415.7	331.6	295.8	270.2	245.4	231.0
25039	G3	415.2	331.2	295.9	270.8	246.7	232.8
25041	LN3	987.0	851.5	787.6	738.1	685.8	652.8
25042	LN3	304.0	234.6	204.6	182.6	160.5	147.2
25044	W3W3	809.0	660.7	578.8	510.1	432.9	383.3
25045	GW3	724.0	634.2	582.7	533.5	469.9	423.5
25046	EV1	872.8	674.3	542.9	416.8	253.6	131.3
25047	G3	1082.0	878.6	794.0	734.3	677.3	644.8
25048	EV3	373.2	270.0	229.0	202.4	180.2	169.5
25049	G3	1060.9	922.6	860.8	814.8	768.2	740.1
25050	LN3	563.4	430.3	373.0	331.1	289.1	263.8

**Tabla 5.7** *Eventos de lluvia anual  $H_p$  (mm) de diferentes periodos de retorno  $T$ (años) de todas las estaciones analizadas (Cont.).*

<b>Estación</b>	<b>Distribución</b>	<b><math>T = 2</math></b>	<b><math>T = 5</math></b>	<b><math>T = 10</math></b>	<b><math>T = 20</math></b>	<b><math>T = 50</math></b>	<b><math>T = 100</math></b>
25052	GW3	709.2	553.4	473.1	408.9	341.8	300.2
25053	GW3	526.2	447.3	398.8	351.5	291.3	250.2
25055	G3	563.9	460.4	411.6	373.8	334.1	309.2
25056	W3W3	512.2	338.1	288.2	276.6	273.0	272.3
25058	GG	896.5	729.4	621.2	517.4	382.1	281.5
25059	GG	548.6	447.3	382.0	319.4	238.5	178.4
25061	W3W3	523.2	429.8	382.7	345.6	307.3	284.4
25063	W3W3	571.2	541.0	530.1	520.7	510.7	510.7
25064	GW3	578.4	535.8	511.0	482.8	430.0	376.6
25065	G3	283.3	212.5	187.9	173.0	161.2	155.7
25066	LN3	588.4	494.1	452.2	421.0	389.1	369.6
25068	W3G	864.3	770.0	715.2	666.4	607.0	564.4
25069	G3	684.8	574.5	527.4	493.6	460.5	441.2
25070	EV1	1246.1	921.4	706.4	500.2	233.3	33.3
25071	LN3	737.0	587.6	518.6	465.8	410.7	376.3
25072	GG	861.0	724.8	636.4	551.0	438.3	349.8
25073	W3G	887.5	780.1	729.5	677.9	585.9	461.0
25074	W3G	1175.3	701.7	585.7	502.4	414.0	357.7
25076	G3	606.9	433.4	357.5	301.8	246.4	213.4
25077	G3	621.0	553.6	547.0	546.6	543.9	536.7
25078	W3W3	846.6	738.6	678.2	625.7	563.9	522.0
25080	EV3	383.4	274.7	232.6	205.9	184.0	173.6
25081	EV3	842.5	690.0	620.2	569.8	522.4	496.5
25082	EV3	478.4	353.5	297.6	257.9	221.1	201.4
25083	EV3	718.8	575.4	522.3	489.6	463.9	452.1
25084	G3	774.8	647.1	586.2	539.0	489.0	457.4
25086	LN3	342.1	255.9	219.5	193.3	167.3	151.8
25087	LN3	751.6	624.4	565.8	521.0	474.4	445.3
25088	EV3	325.9	236.8	203.0	181.8	164.7	156.7
25091	W3W3	702.4	576.8	510.9	457.0	409.7	409.7
25093	G3	1165.7	1004.7	927.9	868.2	804.9	765.0
25094	G3	1039.4	855.4	761.8	685.9	602.0	546.9
25097	EV1	1050.4	863.3	739.5	620.7	466.9	351.6
25098	G3	300.1	215.1	182.8	161.5	142.8	133.0
25099	G3	298.9	215.5	183.5	162.4	143.7	133.9
25100	G3	780.5	639.1	565.6	505.2	437.5	392.5
25110	LN3	889.3	739.5	670.6	618.2	563.6	529.6

## Capítulo V

**Tabla 5.7** *Eventos de lluvia anual  $H_p$  (mm) de diferentes periodos de retorno  $T$  (años) de todas las estaciones analizadas (Cont.).*

<b>Estación</b>	<b>Distribución</b>	<b><math>T = 2</math></b>	<b><math>T = 5</math></b>	<b><math>T = 10</math></b>	<b><math>T = 20</math></b>	<b><math>T = 50</math></b>	<b><math>T = 100</math></b>
<b>25116</b>	EV3	307.1	208.8	170.7	146.5	126.6	117.2
<b>25117</b>	W3W3	605.4	556.9	533.7	515.2	498.1	489.9
<b>25118</b>	G3	834.9	702.9	636.6	583.1	524.4	486.1
<b>25119</b>	GW3	729.0	603.9	541.6	489.4	430.2	390.4
<b>25150</b>	G3	906.1	769.0	702.1	649.4	592.7	556.4
<b>25158</b>	EV1	798.9	607.8	481.2	359.8	202.7	85.0
<b>25161</b>	GG	626.6	456.4	345.3	235.8	87.6	-31.0
<b>25171</b>	W3W3	616.8	514.5	461.2	416.7	367.4	336.1
<b>25172</b>	G3	814.3	673.8	600.4	539.9	472.0	426.7
<b>25176</b>	G3	684.2	540.1	471.1	417.2	360.0	323.8
<b>25177</b>	LN3	925.3	763.5	689.6	633.5	575.2	539.0
<b>25178</b>	W3W3	558.8	386.7	351.7	334.9	316.4	303.6
<b>25180</b>	W3G	611.4	496.2	423.0	353.5	264.3	197.6
<b>25181</b>	G3	1032.3	773.8	662.2	581.3	501.7	454.9
<b>25183</b>	G3	887.9	736.1	671.1	624.4	578.8	552.2
<b>25186</b>	W3G	875.7	752.3	683.7	623.7	552.6	502.7

**Tabla 5.8** Porcentaje de reducción de la lluvia anual  $H_p$  (mm) de  $T$  (años) respecto a su lluvia media anual ( $H_{p_{med}}$ , mm).

Estación	$H_{p_{med}}$ (mm)	$H_p$ T = 5 años	Sequía promedio (%)	$H_p$ T = 10 años	Sequía + Ss (%)
<b>25001</b>	791.6	650.7	17.8%	587.9	25.7%
<b>25003</b>	404.8	237.1	41.4%	216.1	46.6%
<b>25006</b>	974.5	796.1	18.3%	711.3	27.0%
<b>25007</b>	714.4	564.7	20.9%	488.5	31.6%
<b>25008</b>	334.8	213.0	36.4%	184.2	45.0%
<b>25009</b>	454.8	318.9	29.9%	278.2	38.8%
<b>25011</b>	705.1	556.9	21.0%	496.8	29.5%
<b>25012</b>	1103.7	819.9	25.7%	733.0	33.6%
<b>25013</b>	400.3	278.5	30.4%	234.7	41.4%
<b>25015</b>	682.0	548.5	19.6%	502.7	26.3%
<b>25018</b>	768.2	578.5	24.7%	518.1	32.6%
<b>25019</b>	776.7	577.9	25.6%	510.6	34.3%
<b>25021</b>	690.5	462.9	33.0%	397.7	42.4%
<b>25022</b>	409.9	287.4	29.9%	230.4	43.8%
<b>25023</b>	583.0	479.9	17.7%	418.9	28.1%
<b>25025</b>	599.9	478.2	20.3%	430.0	28.3%
<b>25027</b>	444.3	335.4	24.5%	299.6	32.6%
<b>25028</b>	738.2	611.1	17.2%	547.9	25.8%
<b>25029</b>	1163.1	890.2	23.5%	695.0	40.2%
<b>25030</b>	520.7	361.9	30.5%	302.5	41.9%
<b>25031</b>	687.0	552.7	19.5%	424.4	38.2%
<b>25032</b>	538.6	424.9	21.1%	367.7	31.7%
<b>25033</b>	854.1	670.4	21.5%	602.3	29.5%
<b>25035</b>	418.5	316.5	24.4%	262.8	37.2%
<b>25036</b>	1252.8	800.8	36.1%	718.0	42.7%
<b>25037</b>	591.5	447.4	24.4%	400.9	32.2%
<b>25038</b>	443.1	331.6	25.2%	295.8	33.2%
<b>25039</b>	442.7	331.2	25.2%	295.9	33.2%
<b>25041</b>	1011.1	851.5	15.8%	787.6	22.1%
<b>25042</b>	330.8	234.6	29.1%	204.6	38.1%
<b>25044</b>	823.7	660.7	19.8%	578.8	29.7%
<b>25045</b>	766.8	634.2	17.3%	582.7	24.0%
<b>25046</b>	840.2	674.3	19.7%	542.9	35.4%
<b>25047</b>	1157.6	878.6	24.1%	794.0	31.4%
<b>25048</b>	398.7	270.0	32.3%	229.0	42.6%
<b>25049</b>	1098.8	922.6	16.0%	860.8	21.7%

## Capítulo V

**Tabla 5.8** Porcentaje de reducción de la lluvia anual  $H_p$  (mm) de  $T$  (años) respecto a su lluvia media anual ( $H_{p_{med}}$ , mm), (Cont.).

Estación	$H_{p_{med}}$ (mm)	$H_p$ T = 5 años	Sequía promedio (%)	$H_p$ T = 10 años	Sequía + Ss (%)
25050	660.0	430.3	34.8%	373.0	43.5%
25052	759.9	553.4	27.2%	473.1	37.7%
25053	577.3	447.3	22.5%	398.8	30.9%
25055	579.1	460.4	20.5%	411.6	28.9%
25056	506.8	338.1	33.3%	288.2	43.1%
25058	934.9	729.4	22.0%	621.2	33.5%
25059	562.3	447.3	20.5%	382.0	32.1%
25061	543.7	429.8	20.9%	382.7	29.6%
25063	683.6	541.0	20.9%	530.1	22.4%
25064	692.8	535.8	22.7%	511.0	26.3%
25065	316.2	212.5	32.8%	187.9	40.6%
25066	613.5	494.1	19.5%	452.2	26.3%
25068	919.9	770.0	16.3%	715.2	22.2%
25069	717.5	574.5	19.9%	527.4	26.5%
25070	1191.8	921.4	22.7%	706.4	40.7%
25071	770.8	587.6	23.8%	518.6	32.7%
25072	886.7	724.8	18.3%	636.4	28.2%
25073	1049.8	780.1	25.7%	729.5	30.5%
25074	1089.9	701.7	35.6%	585.7	46.3%
25076	652.5	433.4	33.6%	357.5	45.2%
25077	733.5	553.6	24.5%	547.0	25.4%
25078	889.0	738.6	16.9%	678.2	23.7%
25080	412.7	274.7	33.4%	232.6	43.6%
25081	858.4	690.0	19.6%	620.2	27.8%
25082	494.6	353.5	28.5%	297.6	39.8%
25083	772.8	575.4	25.5%	522.3	32.4%
25084	794.5	647.1	18.6%	586.2	26.2%
25086	380.0	255.9	32.7%	219.5	42.2%
25087	805.4	624.4	22.5%	565.8	29.8%
25088	350.8	236.8	32.5%	203.0	42.1%
25091	722.6	576.8	20.2%	510.9	29.3%
25093	1192.6	1004.7	15.8%	927.9	22.2%
25094	1042.2	855.4	17.9%	761.8	26.9%
25097	1020.8	863.3	15.4%	739.5	27.6%
25098	338.7	215.1	36.5%	182.8	46.0%

**Tabla 5.8** Porcentaje de reducción de la lluvia anual  $H_p$  (mm) de  $T$  (años) respecto a su lluvia media anual ( $H_{p_{med}}$ , mm), (Cont.).

Estación	$H_{p_{med}}$ (mm)	$H_p$ T = 5 años	Sequía promedio (%)	$H_p$ T = 10 años	Sequía + Ss (%)
<b>25099</b>	336.8	215.5	36.0%	183.5	45.5%
<b>25100</b>	785.1	639.1	18.6%	565.6	28.0%
<b>25110</b>	927.6	739.5	20.3%	670.6	27.7%
<b>25116</b>	332.0	208.8	37.1%	170.7	48.6%
<b>25117</b>	690.2	556.9	19.3%	533.7	22.7%
<b>25118</b>	844.0	702.9	16.7%	636.6	24.6%
<b>25119</b>	750.8	603.9	19.6%	541.6	27.9%
<b>25150</b>	922.6	769.0	16.7%	702.1	23.9%
<b>25158</b>	767.3	607.8	20.8%	481.2	37.3%
<b>25161</b>	645.7	456.4	29.3%	345.3	46.5%
<b>25171</b>	648.0	514.5	20.6%	461.2	28.8%
<b>25172</b>	817.3	673.8	17.6%	600.4	26.5%
<b>25176</b>	705.4	540.1	23.4%	471.1	33.2%
<b>25177</b>	968.8	763.5	21.2%	689.6	28.8%
<b>25178</b>	549.7	386.7	29.7%	351.7	36.0%
<b>25180</b>	637.7	496.2	22.2%	423.0	33.7%
<b>25181</b>	1129.6	773.8	31.5%	662.2	41.4%
<b>25183</b>	939.4	736.1	21.6%	671.1	28.6%
<b>25186</b>	912.9	752.3	17.6%	683.7	25.1%

Para cada municipio se obtuvieron tanto su precipitación como su temperatura media anual, ambas bajo las condiciones actuales, esto es, sin considerar cambio climático. A partir de estos valores, es posible determinar el valor de la Evapotranspiración real “ET (mm)”, así como el porcentaje que representa éste en comparación con el valor de la lluvia media anual. La lluvia disponible en el municipio se obtiene al restar el valor de la ET al de la lluvia media anual. En la Tabla 5.9 se presentan los resultados para el caso del municipio de Ahome. La lluvia media anual en el municipio es de 365.1 mm, su temperatura media anual es de 24.9°C y se tiene una ET equivalente al 91.5% de la lluvia media anual, por lo que la lluvia disponible en el municipio es de 31.1 mm. Bajo estas condiciones de precipitación, y considerando que la superficie del municipio es de 4,342.9 km<sup>2</sup> y que contaba con una población de 451,777 habitantes para el 2015, su disponibilidad per cápita era de 299 m<sup>3</sup>/año.

## Capítulo V

**Tabla 5.9** Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones normales (sin cambio climático) en el municipio de Ahome, Sinaloa.

<i>Estación</i>	$H_{p_{med}}$ (mm)	$T_{med}$ Anual (°C)	ET (mm)	% ET	$H_{p_{disp. anual}}$ (mm)
25003	404.8	25.2	367.0	90.7%	37.8
25008	334.8	25.4	309.1	92.3%	25.8
25022	409.9	24.4	370.0	90.3%	39.9
25035	418.5	24.1	376.5	90.0%	42.0
25042	330.8	24.3	304.8	92.1%	26.0
25086	380.0	25.3	346.8	91.3%	33.2
25098	338.7	25.1	312.1	92.2%	26.6
25099	336.8	24.7	310.1	92.1%	26.7
25116	332.0	25.5	306.8	92.4%	25.2
<b>Municipio</b>	<b>365.1</b>	<b>24.9</b>	<b>334.0</b>	<b>91.5%</b>	<b>31.1</b>

En la Tabla 5.10 se presentan los valores de lluvia disponible bajo condiciones normales para todos los municipios de Sinaloa.

**Tabla 5.10** Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones normales (sin cambio climático) en los municipios del estado de Sinaloa.

Municipio	$H_{p_{med}}$ (mm)	$T_{med}$ anual (°C)	ET (mm)	% ET	$H_{p_{disp. anual}}$ (mm)
<b>Ahome</b>	365.1	24.9	334.0	91.5%	31.1
<b>Angostura</b>	520.7	24.0	455.6	87.5%	65.1
<b>Badiraguato</b>	999.0	22.2	744.1	74.5%	254.9
<b>Choix</b>	807.7	25.0	656.1	81.2%	151.6
<b>Concordia</b>	1037.5	21.0	749.3	72.2%	288.2
<b>Cosalá</b>	1046.2	24.7	789.1	75.4%	257.0
<b>Culiacán</b>	711.2	25.2	594.4	83.6%	116.8
<b>El Fuerte</b>	524.7	24.5	459.7	87.6%	65.0
<b>Elota</b>	699.1	24.4	583.2	83.4%	115.9
<b>Escuinapa</b>	1098.8	25.8	825.5	75.1%	273.4
<b>Guasave</b>	441.6	24.8	396.0	89.7%	45.6
<b>Mazatlán</b>	725.1	25.1	603.2	83.2%	122.0
<b>Mocorito</b>	714.2	24.5	593.5	83.1%	120.7
<b>Navolato</b>	648.0	25.2	550.8	85.0%	97.1
<b>Rosario</b>	941.8	24.8	734.5	78.0%	207.3
<b>Salvador Alvarado</b>	591.5	25.1	510.3	86.3%	81.2
<b>San Ignacio</b>	847.4	24.7	678.5	80.1%	168.9
<b>Sinaloa</b>	735.2	24.4	607.2	82.6%	128.0

Basado en los conceptos propuestos por Falkenmark (1993), se establece una clasificación para definir el volumen de agua per cápita disponible para los usos agrícola, industrial y doméstico de un país, la cual se presenta en la Tabla 5.11.

**Tabla 5.11** *Clasificación general de la disponibilidad de agua per cápita*

<b>Grado de Disponibilidad</b>	<b>Clave</b>	<b><math>D</math> (m<sup>3</sup>/año)</b>
Escasez Extrema	EE	$D < 1,000$
Escasez Crítica	EC	$1,000 < D < 1,700$
Disponibilidad Baja	DB	$1,700 < D < 5,000$
Disponibilidad Media	DM	$5,000 < D < 10,000$
Disponibilidad Alta	DA	$D > 10,000$

El primer escenario de disponibilidad en el estado considera que la lluvia disponible media anual no cambiaría a lo largo del tiempo, y que solamente la reducción se debería al aumento de la población. En las Figuras 5.5 a la 5.8 se presenta gráficamente el estatus que guardaría la disponibilidad per cápita municipal.

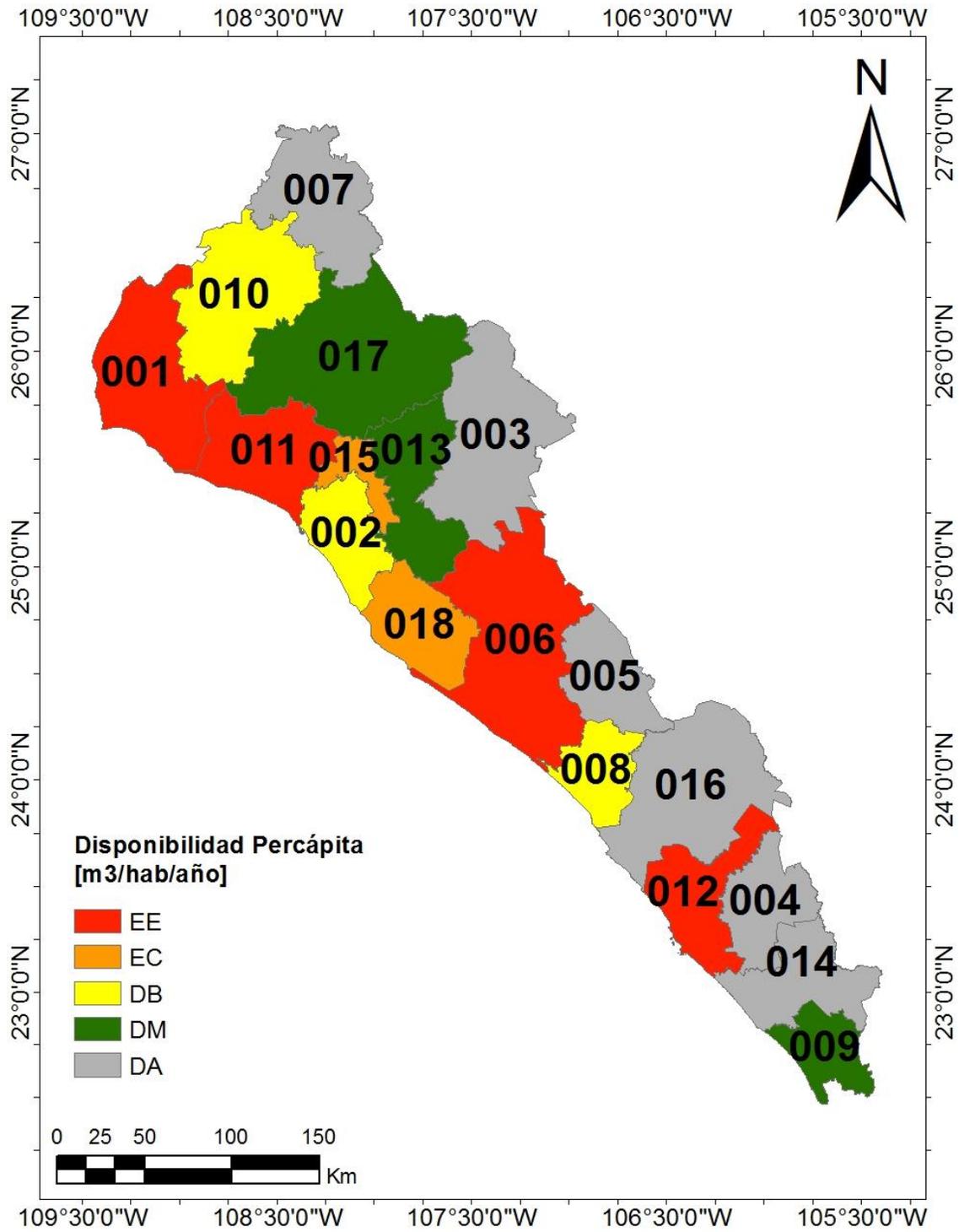


Figura 5.5 Nivel de disponibilidad per cápita municipal bajo las condiciones normales para el año 2015.

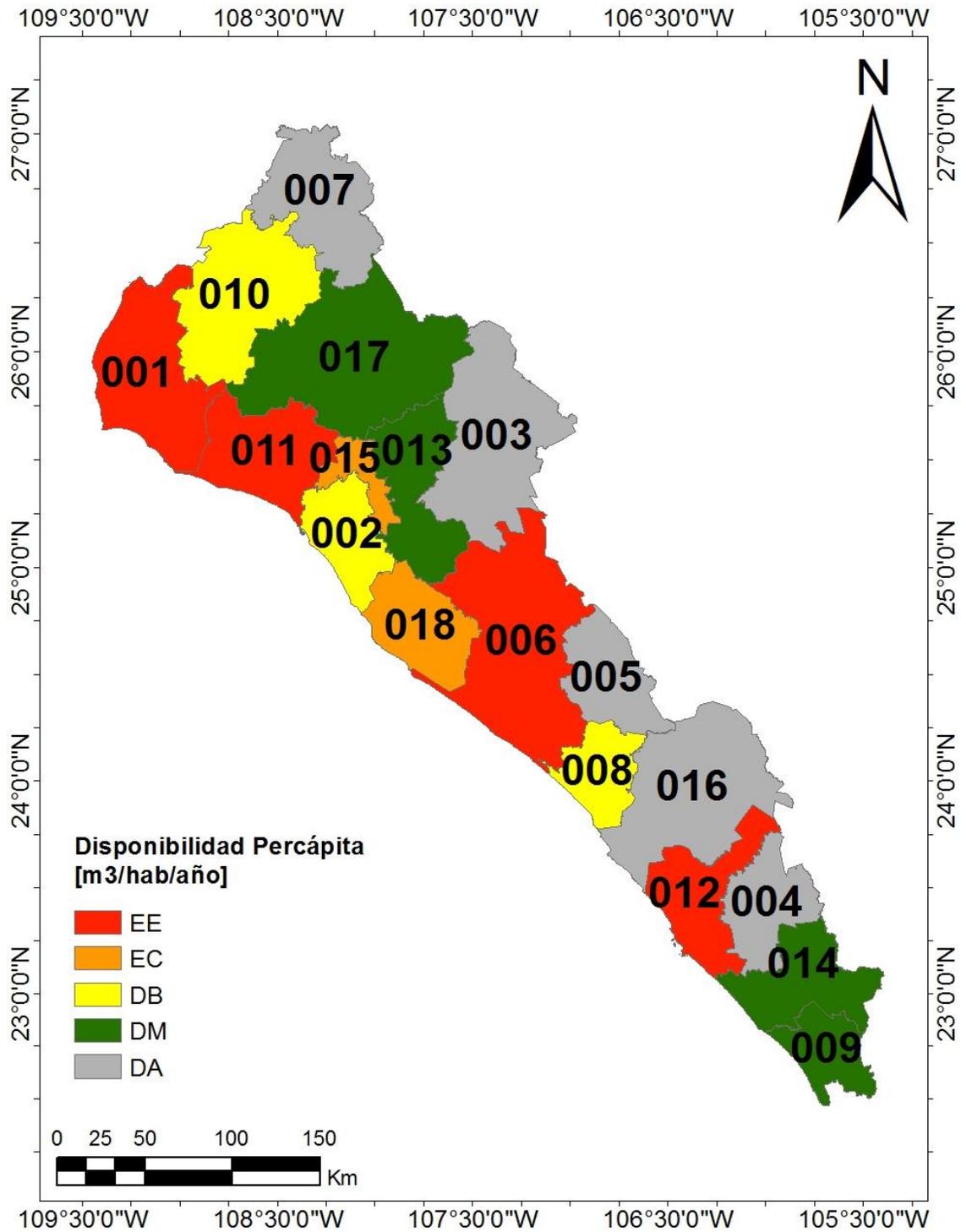
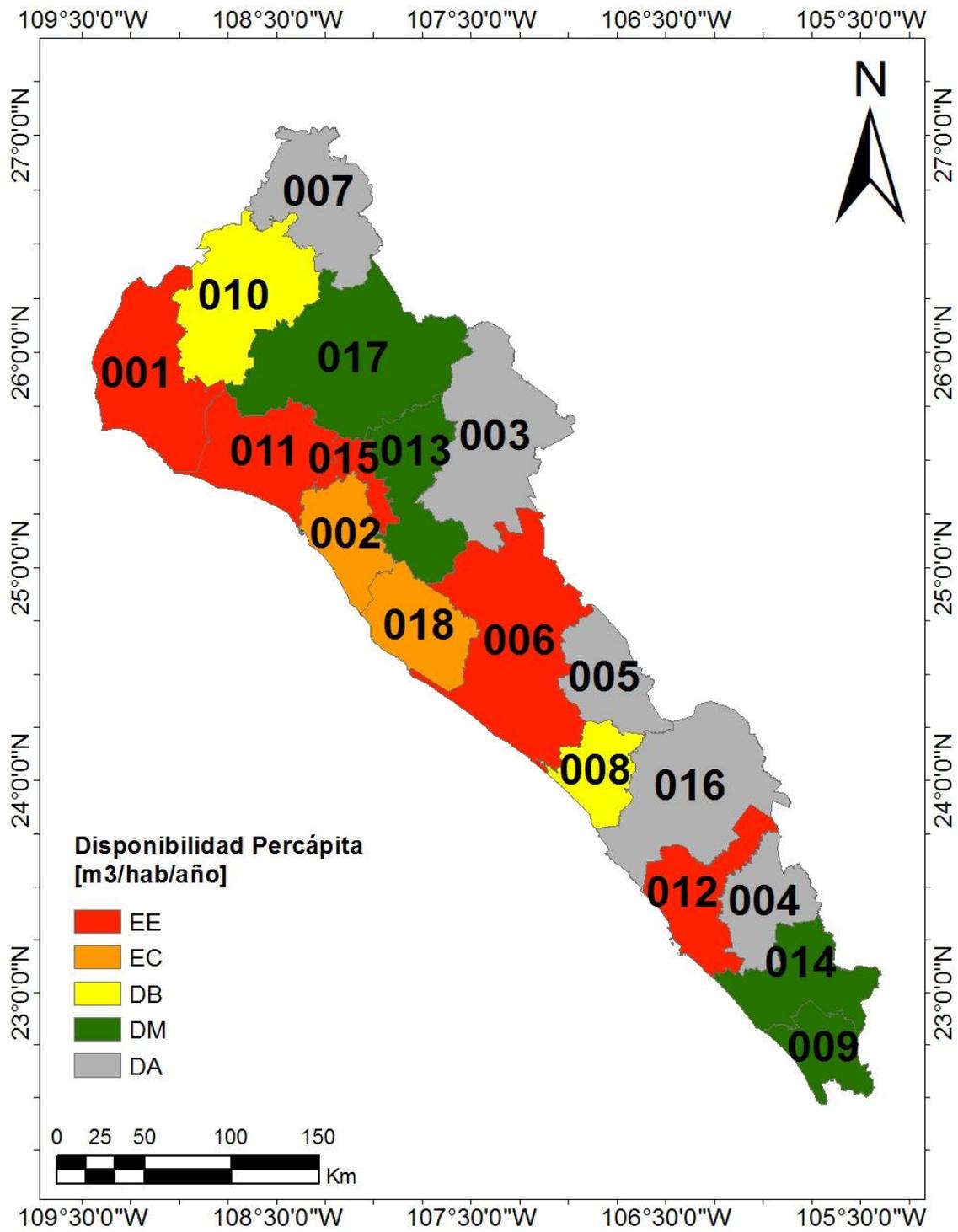
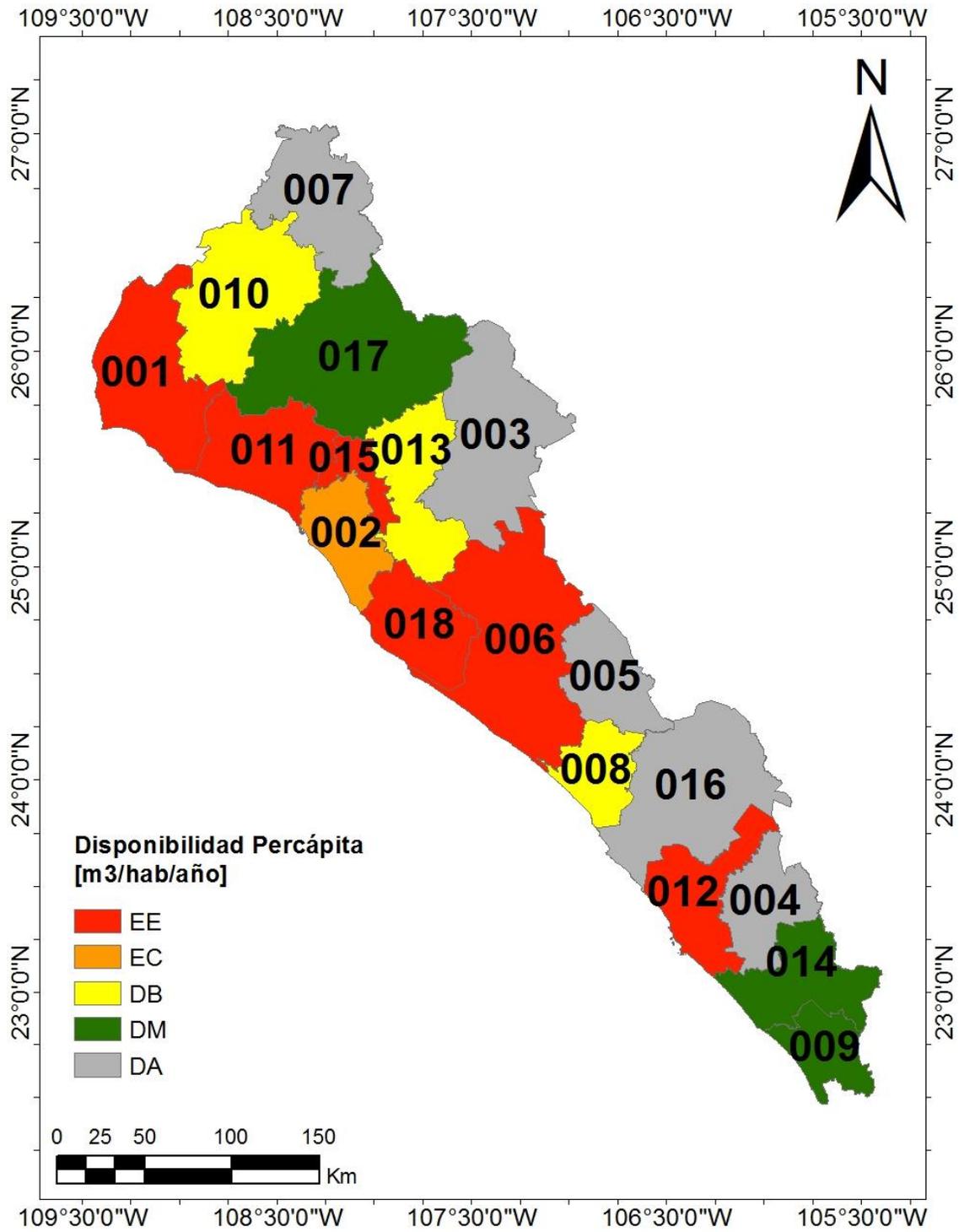


Figura 5.6 Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales para el año 2040.



**Figura 5.7** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales para el año 2070.



**Figura 5.8** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales para el año 2100.

## Capítulo V

Aún en condiciones normales (sin cambio climático) existe la presencia de años con lluvias menores al promedio (sequías), las cuales disminuyen la disponibilidad per cápita de forma importante en el estado. En la Tabla 5.12 se presenta como se vería afectada la disponibilidad per cápita del municipio de Ahome, bajo condiciones normales y de las sequías esperadas para un periodo de retorno de cinco años, y que fueron ya estimadas y presentadas en la Tabla 5.7.

**Tabla 5.12** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones normales y con la presencia de sequía (sin cambio climático) en el municipio de Ahome, Sinaloa.*

<i>Estación</i>	$H_{p_{med}}$ (mm)	$T_{med}$ Anual (°C)	ET (mm)	% ET	$H_{p_{disp.}}$ anual (mm)
25003	237.1	25.2	224.1	94.5%	13.0
25008	213.0	25.4	202.6	95.1%	10.4
25022	287.4	24.4	267.8	93.2%	19.6
25035	316.5	24.1	292.5	92.4%	24.0
25042	234.6	24.3	221.5	94.4%	13.1
25086	255.9	25.3	240.8	94.1%	15.1
25098	215.1	25.1	204.4	95.0%	10.7
25099	215.5	24.7	204.5	94.9%	10.9
25116	208.8	25.5	198.8	95.2%	10.0
<b>Municipio</b>	<b>242.6</b>	<b>24.9</b>	<b>228.9</b>	<b>94.4%</b>	<b>13.7</b>

De la tabla anterior se observa que la lluvia disponible en este municipio se reduce de 31.1 mm a 13.7 mm, lo que equivalía en el año de 2015 a una disponibilidad per cápita de 132 m<sup>3</sup>/año.

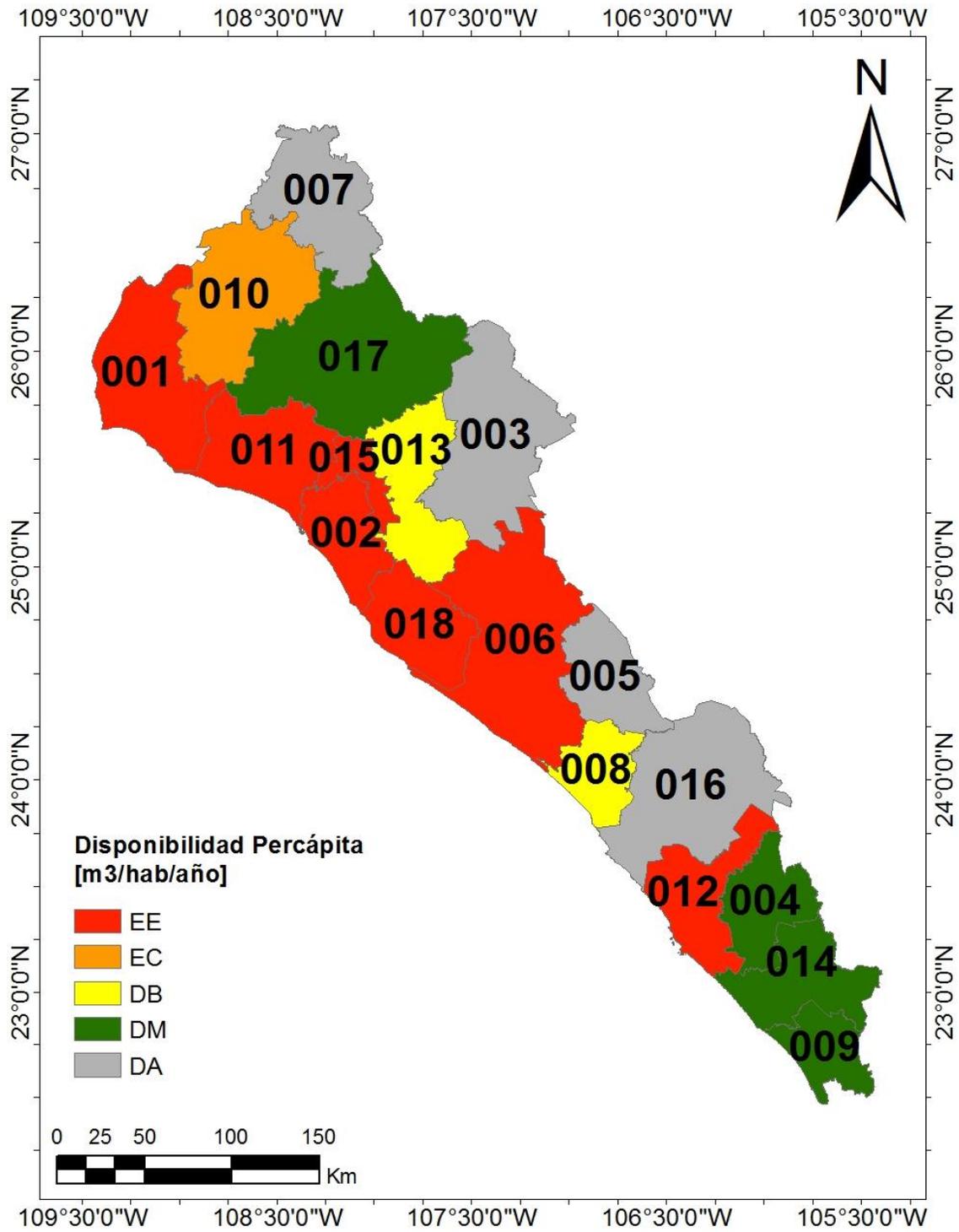
En la Tabla 5.13 se presenta como se vería afectada la disponibilidad per cápita de todos los municipios de Sinaloa, bajo condiciones normales y de las sequías esperadas para un periodo de retorno de cinco años.

**Tabla 5.13** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones normales y con la presencia de sequía (sin cambio climático) en los municipios del estado de Sinaloa.*

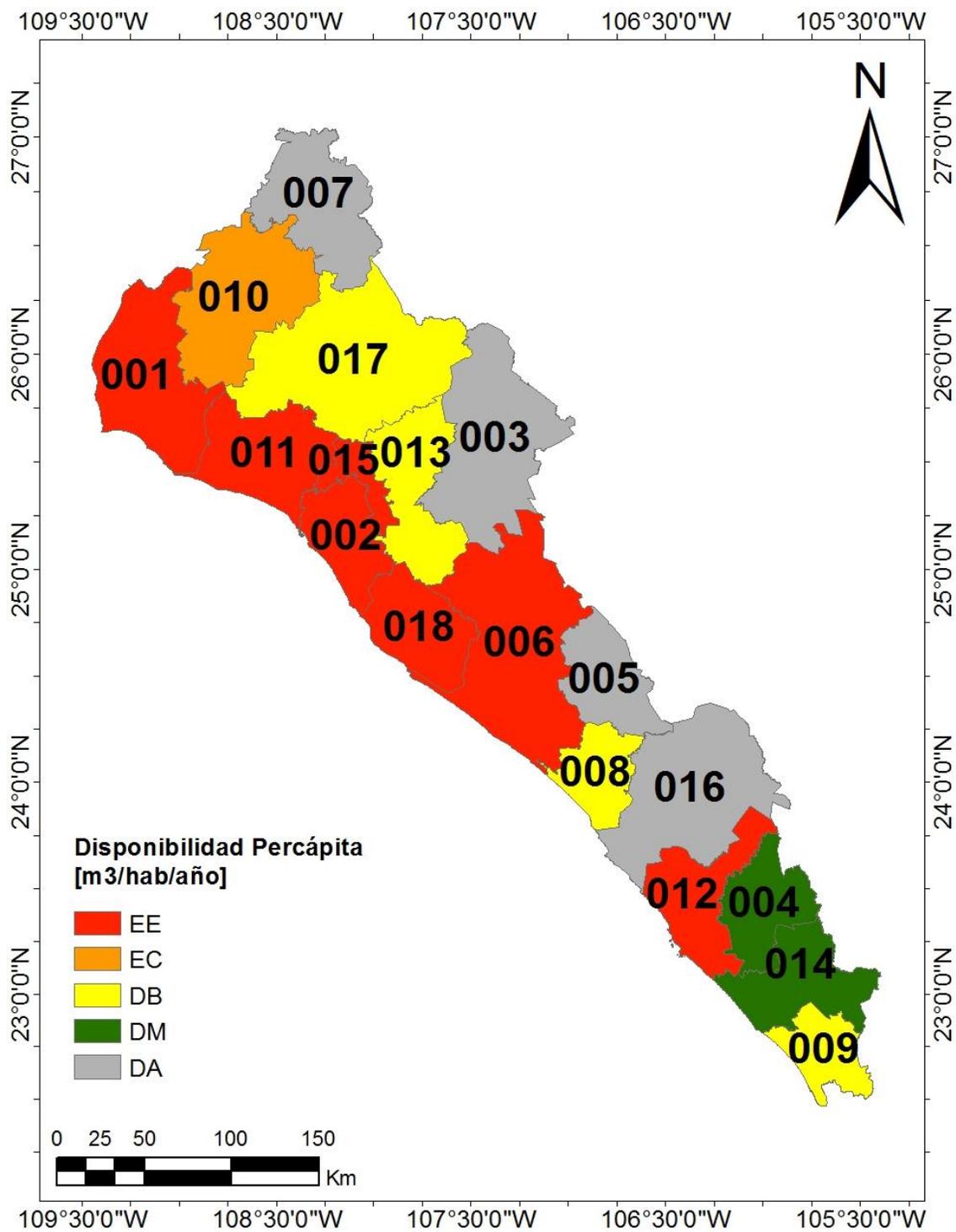
Municipio	Hp <sub>med</sub> (mm)	T <sub>med</sub> anual (°C)	ET (mm)	% ET	Hp <sub>disp.</sub> anual (mm)
<b>Ahome</b>	242.6	24.9	228.9	94.3%	13.7
<b>Angostura</b>	361.9	24.0	330.4	91.3%	31.4
<b>Badiraguato</b>	818.1	22.2	647.1	79.1%	170.9
<b>Choix</b>	633.6	25.0	540.3	85.3%	93.3
<b>Concordia</b>	767.5	21.0	609.8	79.4%	157.7
<b>Cosalá</b>	751.0	24.7	618.5	82.4%	132.5
<b>Culiacan</b>	540.6	25.2	473.1	87.5%	67.5
<b>El Fuerte</b>	399.4	24.5	361.7	90.6%	37.7
<b>Elota</b>	520.7	24.4	456.4	87.7%	64.3
<b>Escuinapa</b>	922.6	25.8	729.9	79.1%	192.7
<b>Guasave</b>	315.4	24.8	292.2	92.6%	23.3
<b>Mazatlán</b>	565.4	25.1	491.2	86.9%	74.2
<b>Mocorito</b>	555.0	24.5	482.1	86.9%	72.9
<b>Navolato</b>	514.5	25.2	453.2	88.1%	61.2
<b>Rosario</b>	753.9	24.8	621.0	82.4%	132.8
<b>Salvador Alvarado</b>	447.4	25.1	401.0	89.6%	46.5
<b>San Ignacio</b>	671.6	24.7	565.5	84.2%	106.1
<b>Sinaloa</b>	589.2	24.4	507.0	86.0%	82.2

La disponibilidad per cápita promedio en el estado baja de 143.9 mm a 87.7 mm, dado que la evapotranspiración aumenta de 82.2% a 86.3% en un año con sequía y sin considerar cambio climático.

En las Figuras 5.9 a 5.12 se presenta gráficamente el comportamiento de la disponibilidad per cápita municipal, considerando condiciones normales, presencia de sequía y aumento de la población.

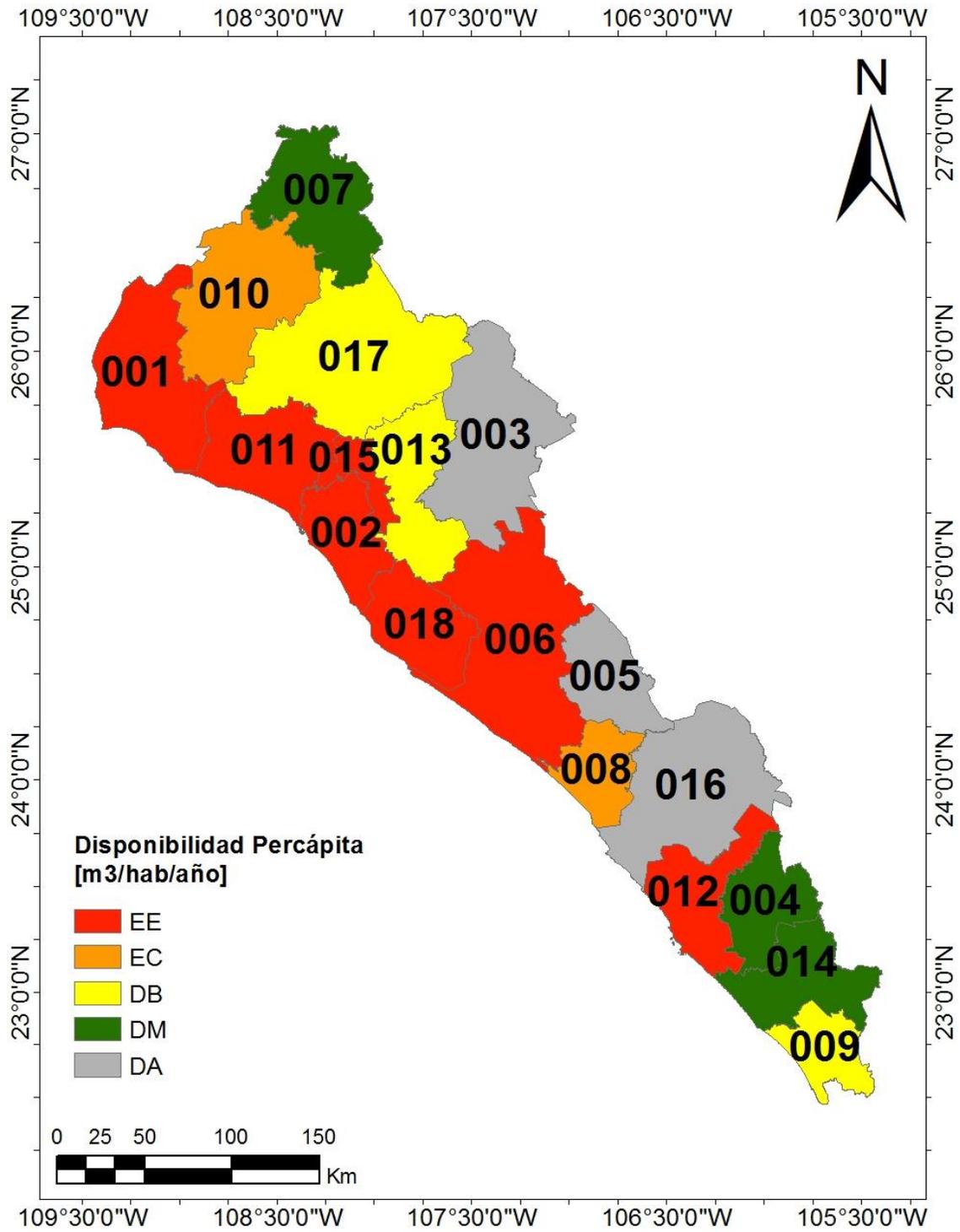


**Figura 5.9** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales y presencia de sequía para el año 2015.

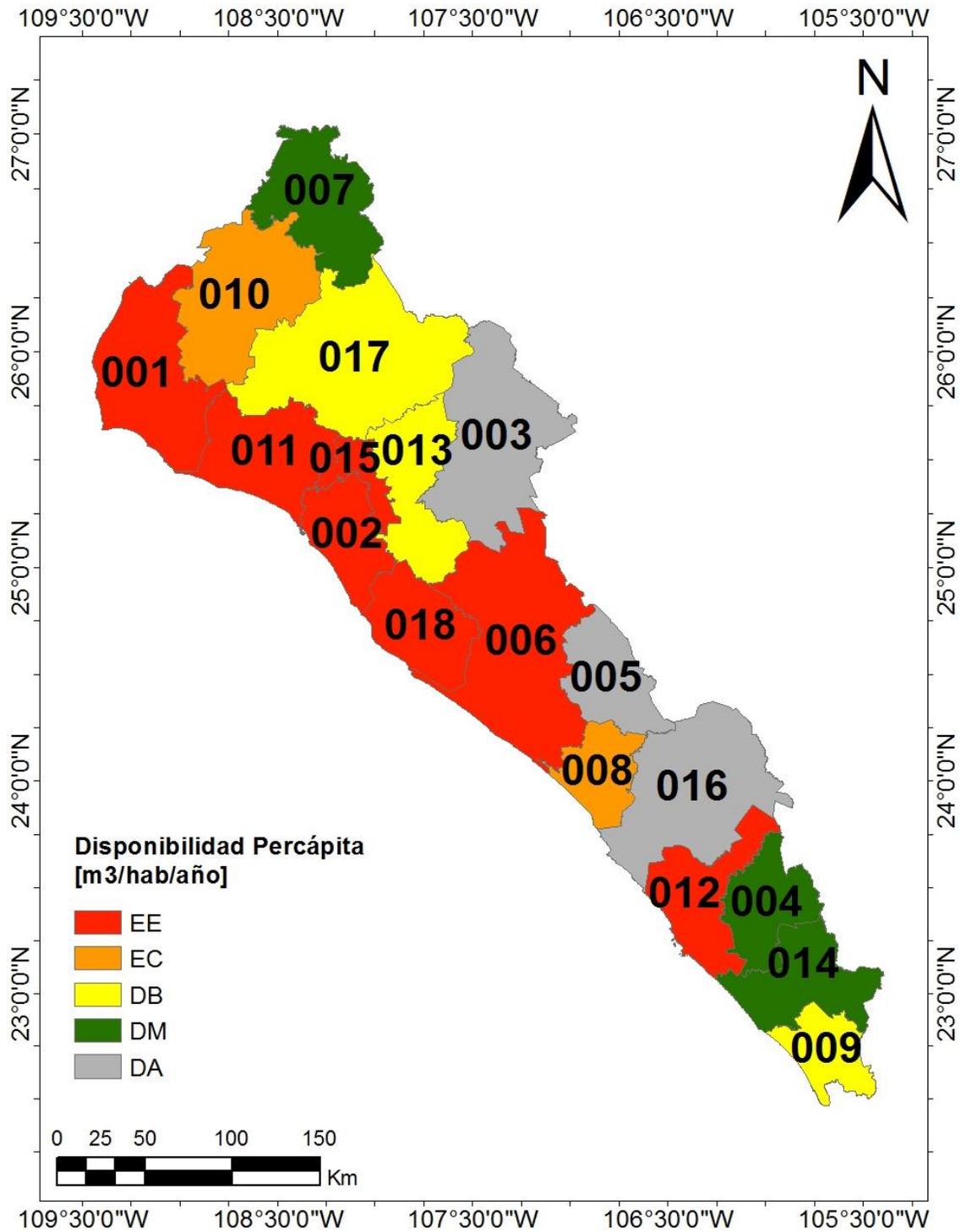


**Figura 5.10** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales y presencia de sequía para el año 2040.

## Capítulo V



**Figura 5.11** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales y presencia de sequía para el año 2070.



**Figura 5.12** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones normales y presencia de sequía para el año 2100.

## Capítulo V

Ahora se procederá a considerar los escenarios de cambio climático RCP4.5. En las tres primeras columnas de la Tabla 5.14 se tienen el nombre de la estación climatológica, así como las anomalías esperadas en el futuro cercano (2015-2039) tanto para la lluvia “ $H_{pa}$ ” y la temperatura “ $T_{med a}$ ”. En las columnas 4 y 5 se tienen las lluvias y temperaturas medias esperadas durante el periodo 2015-2039.

**Tabla 5.14** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP4.5 en el municipio de Ahome, Sinaloa.*

<i>Estación</i>	$H_{pa}$	$T_{med a}$	$H_{pmed}$ (mm)	$T_{med}$ (°C)	ET (mm)	% ET	$H_{pdisp}$ (mm)
25003	-56.2	1.1	348.6	26.3	321.6	92.2%	27.1
25008	-69.3	1.3	265.5	26.7	250.0	94.1%	15.6
25022	-76.4	1.1	333.5	25.5	308.0	92.4%	25.5
25035	-76.0	1.2	342.5	25.3	315.4	92.1%	27.0
25042	-81.5	1.3	249.3	25.6	235.1	94.3%	14.2
25086	-78.1	1.2	301.9	26.5	281.7	93.3%	20.2
25098	-85.7	1.3	253.0	26.4	238.7	94.4%	14.2
25099	-89.7	1.3	247.1	26.0	233.3	94.4%	13.8
25116	-76.1	1.3	255.9	26.8	241.6	94.4%	14.4
<b>Municipio</b>	-76.6	1.2	288.6	26.1	269.9	93.5%	18.7

De la tabla anterior (**Tabla 5.14** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP4.5 en el municipio de Ahome, Sinaloa.*) se observa que la lluvia disponible en este municipio se reduce de 31.1 mm, en condiciones normales, a 18.7 mm, lo que equivaldría en el año de 2040 a una disponibilidad per cápita de 155 m<sup>3</sup>/año, menor a los 249 m<sup>3</sup>/año que se tendrían en ese mismo año de no existir las condiciones del escenario RCP4.5.

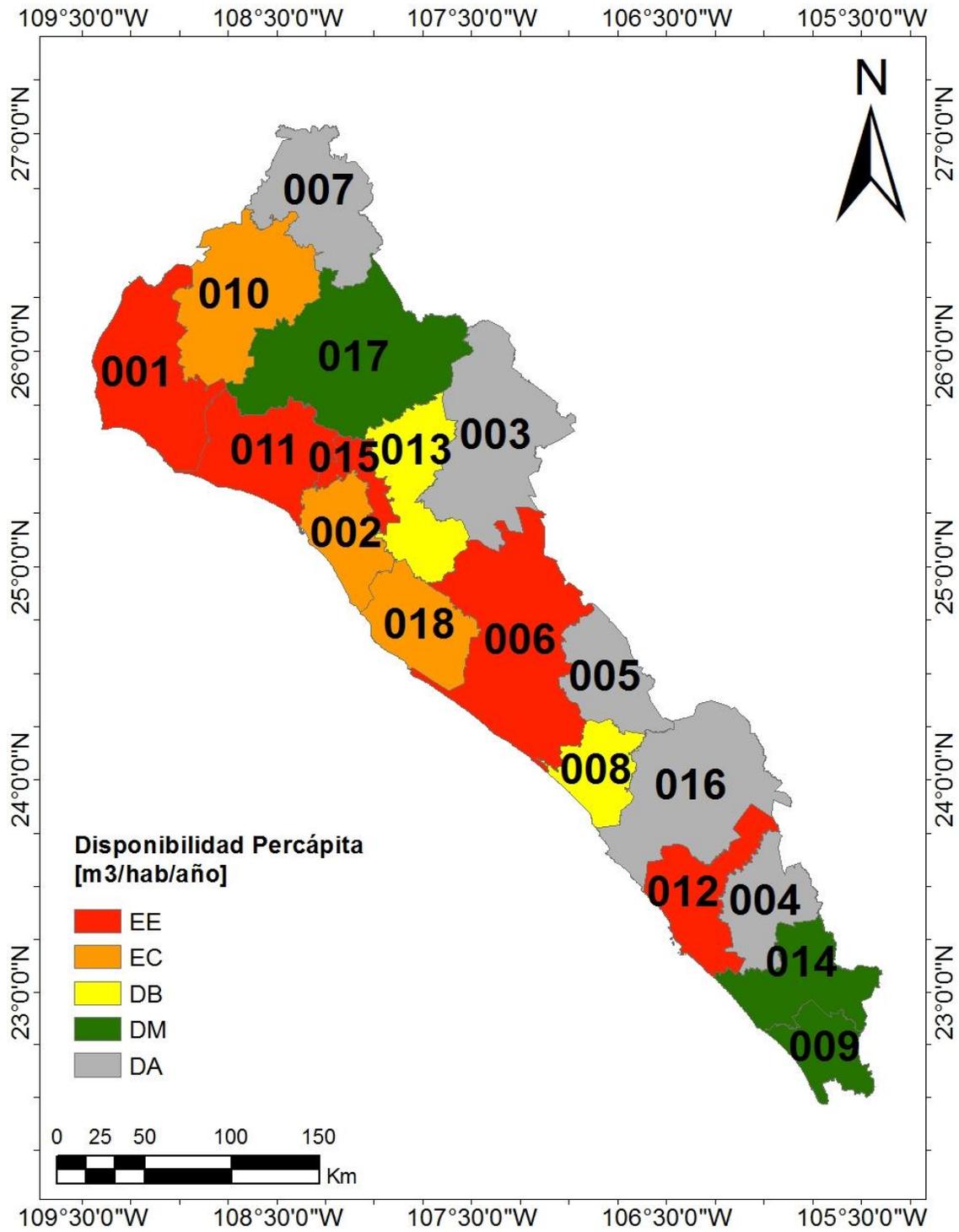
En la Tabla 5.15 se presenta como se vería afectada la disponibilidad per cápita de todos los municipios de Sinaloa, bajo condiciones del escenario RCP4.5.

**Tabla 5.15** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP 4.5 en los municipios del estado de Sinaloa.*

Municipio	Hp <sub>med</sub> (mm)	T <sub>med anual</sub> (°C)	ET (mm)	% ET	Hp <sub>disp anual</sub> (mm)
<b>Ahome</b>	288.6	26.1	269.9	93.5%	18.7
<b>Angostura</b>	446.9	25.2	400.8	89.7%	46.1
<b>Badiraguato</b>	928.3	23.4	717.3	77.3%	211.1
<b>Choix</b>	742.6	26.2	619.3	83.4%	123.4
<b>Concordia</b>	964.5	22.2	726.1	75.3%	238.4
<b>Cosalá</b>	979.3	25.9	762.5	77.9%	216.8
<b>Culiacan</b>	641.6	26.4	550.1	85.7%	91.5
<b>El Fuerte</b>	453.3	25.7	406.7	89.7%	46.6
<b>Elota</b>	627.9	25.5	537.7	85.6%	90.2
<b>Escuinapa</b>	1044.2	26.9	805.7	77.2%	238.6
<b>Guasave</b>	367.5	26.0	337.1	91.7%	30.4
<b>Mazatlán</b>	657.7	26.2	560.9	85.3%	96.8
<b>Mocorito</b>	641.8	25.7	548.2	85.4%	93.7
<b>Navolato</b>	574.9	26.5	501.5	87.2%	73.4
<b>Rosario</b>	868.5	26.0	698.8	80.5%	169.6
<b>Salvador Alvarado</b>	513.9	26.3	454.9	88.5%	59.0
<b>San Ignacio</b>	775.1	25.9	639.6	82.5%	135.6
<b>Sinaloa</b>	659.4	25.6	560.3	85.0%	99.1

La disponibilidad per cápita promedio en el estado baja de 143.9 mm en condiciones normales a 115.5 mm, equivalente al 19.7%, dado que la evapotranspiración aumenta de 82.2% a 84.5% en el escenario RCP4.5.

En la Figura 5.15 se presenta gráficamente el comportamiento de la disponibilidad per cápita municipal, considerando condiciones del escenario RCP4.5 para el año 2040.



**Figura 5.15** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones del escenario RCP4.5 para el año 2040.

El escenario de cambio climático más desfavorable es el RCP8.5 para el futuro lejano (2070-2100). En las tres primeras columnas de la Tabla 5.16 se tienen el nombre de la estación climatológica, así como las anomalías esperadas en el futuro lejano tanto para la lluvia “ $H_{pa}$ ” y la temperatura “ $T_{med a}$ ”. En las columnas 4 y 5 se tienen las lluvias y temperaturas medias esperadas durante el periodo 2070-2100.

**Tabla 5.16** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP8.5 en el municipio de Ahome, Sinaloa.*

<i>Estación</i>	$H_{pa}$	$T_{med a}$	$H_{pmed}$ (mm)	$T_{med}$ (°C)	ET (mm)	% ET	$H_{pdisp}$ (mm)
25003	-87.3	4.0	317.5	29.2	296.9	93.5%	20.6
25008	-131.7	4.4	203.1	29.8	194.8	95.9%	8.3
25022	-109.7	4.0	300.2	28.4	281.3	93.7%	18.9
25035	-137.9	4.3	280.6	28.4	264.1	94.1%	16.5
25042	-160.8	4.5	170.0	28.8	164.0	96.5%	6.0
25086	-120.1	4.3	259.9	29.6	246.2	94.7%	13.6
25098	-166.0	4.5	172.7	29.6	166.6	96.5%	6.0
25099	-172.9	4.5	163.9	29.2	158.4	96.6%	5.5
25116	-155.6	4.5	176.4	30.0	170.2	96.5%	6.2
<b>Municipio</b>	-138.0	4.3	227.1	29.2	216.6	95.4%	10.5

De la tabla anterior (**Tabla 5.16** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP8.5 en el municipio de Ahome, Sinaloa.*) se observa que la lluvia disponible en este municipio se reduce de 31.1 mm, en condiciones normales, a 10.5 mm, lo que equivaldría en el año de 2100 a una disponibilidad per cápita de 81 m<sup>3</sup>/año, menor a los 238 m<sup>3</sup>/año que se tendrían en ese mismo año de no existir las condiciones del escenario RCP8.5.

En la Tabla 5.17 se presenta como se vería afectada la disponibilidad per cápita de todos los municipios de Sinaloa, bajo condiciones del escenario RCP8.5.

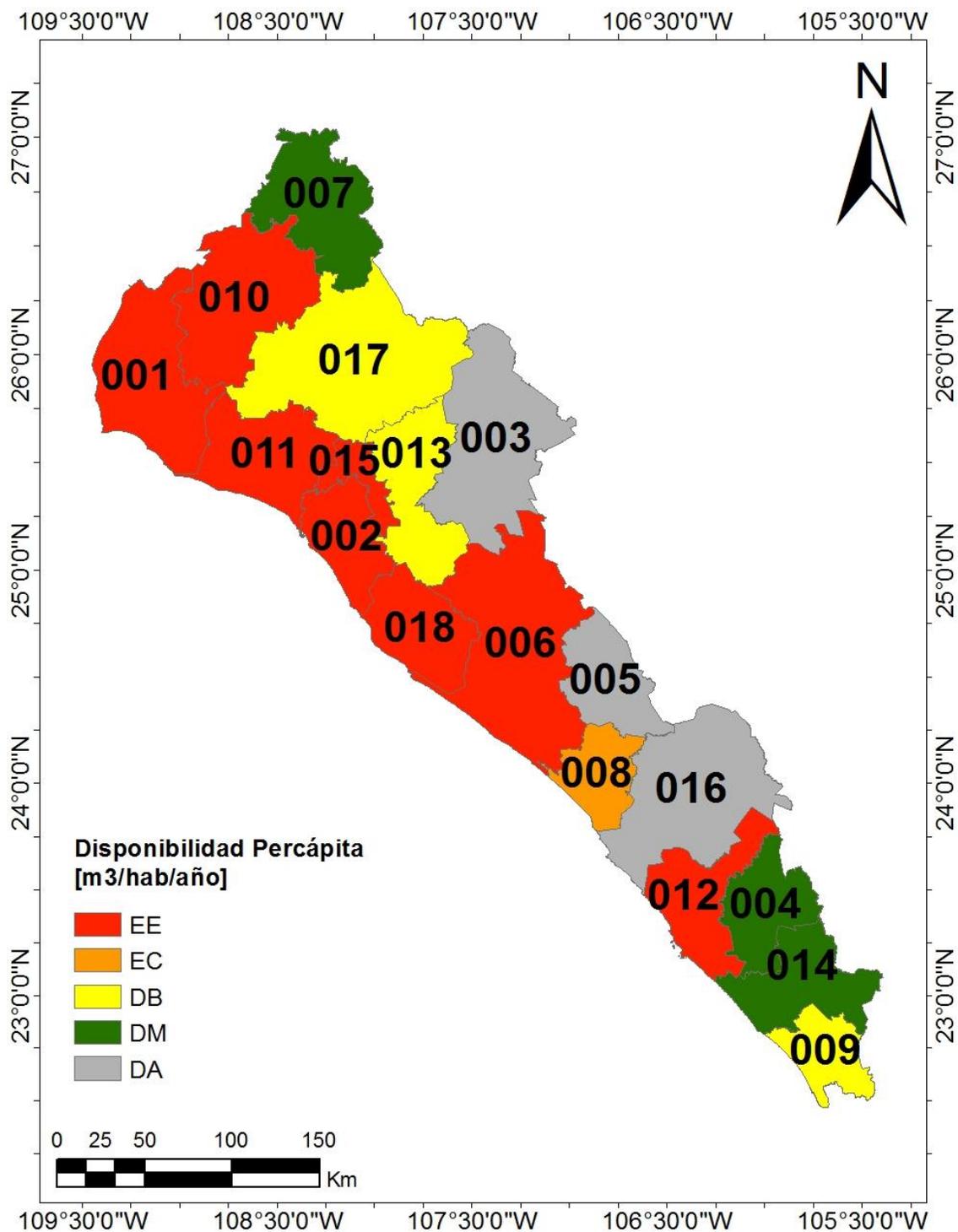
## Capítulo V

**Tabla 5.17** *Estimación de la precipitación disponible bajo condiciones del escenario RCP 8.5 en los municipios del estado de Sinaloa.*

Municipio	Hp <sub>med</sub> (mm)	T <sub>med</sub> anual (°C)	ET (mm)	% ET	Hp <sub>disp</sub> anual (mm)
<b>Ahome</b>	227.1	29.2	216.6	95.4%	10.5
<b>Angostura</b>	412.0	28.4	376.5	91.4%	35.5
<b>Badiraguato</b>	875.0	26.4	704.8	80.5%	170.2
<b>Choix</b>	696.5	29.2	597.2	85.7%	99.3
<b>Concordia</b>	920.0	25.2	724.4	78.7%	195.7
<b>Cosalá</b>	939.0	28.8	756.7	80.6%	182.3
<b>Culiacan</b>	604.1	29.5	530.0	87.7%	74.1
<b>El Fuerte</b>	405.5	28.7	371.4	91.6%	34.1
<b>Elota</b>	583.5	28.4	512.3	87.8%	71.3
<b>Escuinapa</b>	1024.2	29.8	813.4	79.4%	210.8
<b>Guasave</b>	321.3	29.0	300.1	93.4%	21.2
<b>Mazatlán</b>	610.8	29.1	534.2	87.5%	76.6
<b>Mocorito</b>	590.1	28.7	517.8	87.7%	72.4
<b>Navolato</b>	503.7	29.5	452.1	89.8%	51.5
<b>Rosario</b>	818.7	29.1	681.3	83.2%	137.3
<b>Salvador Alvarado</b>	468.4	29.4	423.7	90.5%	44.7
<b>San Ignacio</b>	711.3	29.0	607.2	85.4%	104.1
<b>Sinaloa</b>	615.1	28.5	536.2	87.2%	78.9

La disponibilidad per cápita promedio en el estado baja de 143.9 mm en condiciones normales a 92.8 mm, equivalente al 35.5%, dado que la evapotranspiración aumenta de 82.2% a 86.9% en el escenario RCP8.5.

En la Figura 5.16 se presenta gráficamente el comportamiento de la disponibilidad per cápita municipal, considerando condiciones del escenario RCP8.5 para el año 2100.



**Figura 5.16** Nivel de disponibilidad per cápita municipal esperado bajo las condiciones del escenario RCP8.5 para el año 2100.

## Capítulo V

# Conclusiones

El estado de Sinaloa es un importante productor de alimentos, pero debido a su situación geográfica, presenta problemas de escasez de agua que sin duda debe resolverse.

Parte de la solución depende de un adecuado análisis de disponibilidad hídrica, en este trabajo se utilizaron 99 estaciones climatológicas, debido a que como se mencionó 7 de las 106 resultaron dependientes y se excluyeron del estudio, además para contemplar las posibles variaciones de dicha disponibilidad, se analizaron 3 casos diferentes. En el primero de ellos se calculó la disponibilidad per cápita del agua sólo considerando el incremento de la población a través del tiempo, mostrando como resultado que para el año 2015, 4 de los 18 municipios del estado tendrían un escasez extrema, 2 escasez crítica, mientras que 3, 2 y 6, cuentan con disponibilidad baja, media y alta, respectivamente. Para los escenarios posteriores (2040, 2070 y 2100) el cambio de disponibilidad per cápita de agua sólo se desarrolla en 1 o 2 municipio y el cambio es al siguiente grado de disponibilidad (por ejemplo, de disponibilidad baja a media).

Para el siguiente escenario se consideró además del incremento de la población, la sequía, dando como resultado que el 38.89% de los estados tendrá escasez extrema y el 11.11% crítica, aumentando esta última un 5.56% para el escenario del año 2100.

Los dos escenarios antes descritos se realizaron sin considerar el cambio climático, para el último análisis se utilizaron las trayectorias de concentración representativa (RCP) 4.5, teniendo como resultado que la disponibilidad baja el 19.3%, a diferencia de la consideración del párrafo anterior la cual bajo el 39% en el año 2015, y aunque resultados considerando los efectos del cambio climático no den el más desfavorable para dicho año, hay que tener en cuenta que el escenario RCP 4.5 sólo considera los cambios en los patrones de lluvia y temperatura, faltaría evaluar el incremento de la población a través del tiempo y los períodos de estiaje o sequía.

La lluvia asociada a 5 años periodo de retorno representa una reducción del 27% respecto a su media anual para todo el estado, en tanto que la lluvia asociada a 10 años de periodo de retorno considera la posible variabilidad en un periodo de sequía, por lo que sería recomendable utilizar

## Conclusiones

únicamente, con propósitos de planeación, el 64% de la lluvia media para evitar la sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas.

Finalmente, los resultados exponen el impacto que tienen los efectos del cambio climático sobre la precipitación y la temperatura, es importante tenerlos en cuenta ya que sumado el incremento de la población, la disponibilidad del agua se verá afectada de manera muy significativa. Tal vez se piense que un escenario para el 2040 no es muy diferente al 2015 y que todavía faltan poco más de 20 años para que ocurra, sin embargo, este tipo de estudios no sólo contribuyen a realizar una mejor planeación del recurso, que no sólo se utiliza de manera doméstica, sino que es el motor principal de la agricultura, además se pueden revisar que tipo de acciones proponer desde el momento actual y con ello poder prevenir o disminuir las consecuencias adversas que se tengan más adelante.

# Referencias

- Abtew, W., Obeysekera, J., Shih, G., 1993.** Spatial analysis for monthly rainfall in south Florida. *Water Resources Bulletin*, 29:179-188
- Al-Mashidani G., Lal B. B. and Quadri I. 1980.** Drought Flow Analysis of River Tigris in Baghdad. *Hydrological Science Journal*. 25(4), 453-459.
- Cavazos, T., Salinas, J. A., Martinez, B., Colorado,....Barvo, M. 2013.** Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. <http://escenarios.inecc.gob.mx>
- Chow V. T. 1964.** *Handbook of Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill.
- CLICOM, 2017.** CLimate COMputing project. Base de datos de estaciones climáticas administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) <http://clicom-mex.cicese.mx/>.
- CMIP5, 2013.** *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*. <http://cmip-pcmdi.iijl.gov/cmip5/>
- Escalante-Sandoval, C y Reyes-Chavez L. 2005.** *Análisis de Sequías*. Vol I y II. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. 1110 p, ISBN 970-32-2781-3.
- Escalante-Sandoval, C y Orsini L. 2012.** Estimación de caudales mínimos anuales mediante distribuciones mezcladas. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José de Costa Rica. 3C:1-10.
- Escalante-Sandoval, C and Reyes-Chavez L. 2013.** Meteorological Drought Analysis in Northern Mexico. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress 2013: The wise find pleasure in water meandering through water science and engineering. 2: 1630-1641. ISBN 978-1629938141.
- Falkenmark, M. 1993.** Water Scarcity: Time for Realism. *Populi*. 20(6): 11-12.
- Gumbel E. J. 1958.** *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York. USA.
- INEGI. 2015.** Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa. 2016. [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- IPCC, 2013.** Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kite G. W. 1988.** *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. Water resources Publications. USA. 257 p.
- Kroll Ch. and Vogel R. 2002.** Probability Distribution of Low Stream Flow Series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*. 7(2), 137-146.

## Referencias

- Kuester J. L. and Mize J. H. 1973.** *Optimization Techniques with FORTRAN*, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 386-398.
- Kundzewics, Z. and Robson, A. 2004.** Change Detection in Hydrological Records – A Review of the Methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 7-19.
- Milly, P., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsh, R., Kundzewicz, Z., Lettenmaier, D., Stouffer, R., 2008.** Stationarity Is Dead: Whiter Water Management?, *Science* 319, 573-574.
- Mood A., Graybill F. and D. Boes. 1974.** *Introduction to the Theory of Statistics*. McGraw-Hill.
- Onoz B. and Bayazit M. 1999.** GEV-PWM Model for Distribution of Minimum Flows. *Journal of Hydrologic Engineering*. 4(3), 289-292.
- Pettitt, A. 1979.** A Non-parametric Approach to the Change-point Problem, *Journal of Royal Statistical Association. Series C* 28(2), 126-135.
- Salas, J., Delleur, J., Yevjevich, V. Lane, W., 1980.** *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Tabios, G.Q. and Salas, J.D. 1985.** A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*, 21: 365-380.
- Yevjevich, V. and Jeng, R. 1969.** *Properties of non-homogeneous hydrologic time series*. Hydrology papers, Colorado State University, Colorado, USA.
- Yevjevich, V., 1983.** *Coping with droughts*. USA: Water Resources Publications 417p.
- Comisión Nacional del Agua, 2017.** *Capítulo 8: Agua en el mundo. Estadísticas del agua en México*. Edición 2017 (pp. 209). México, Ciudad de México.