



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de la incertidumbre
en la extrapolación de datos de
precipitación**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Víctor Manuel Palma Valderrama

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Luis Aragón Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx. noviembre, 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/040/16

Señor
VÍCTOR MANUEL PALMA VALDERRAMA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. JOSÉ LUIS ARAGÓN HERNÁNDEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

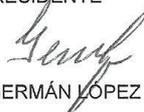
**"EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA EXTRAPOLACIÓN DE DATOS DE
PRECIPITACIÓN"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ZONA DE ESTUDIO
- II. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN
- III. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- IV. CONCLUSIONES
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 13 de abril del 2016.
EL PRESIDENTE


M.I. GERMÁN LOPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

Esta tesis está dedicada a mi madre Alma, por su infinito amor, aliento y apoyo.

RESUMEN

A lo largo de la historia, la República Mexicana ha sido golpeada por diversos fenómenos hidrometeorológicos provocando pérdidas materiales y humanas, por ello, desde hace algunos años se empezaron a colocar estaciones climatológicas para registrar la variabilidad espacial y temporal de algunas variables meteorológicas para conocer el comportamiento del clima, entre éstas: temperaturas, humedad relativa, evaporación, velocidad del viento, punto de rocío y precipitación. Esta última variable es la que se analiza en este trabajo.

Debido a que aún no existe una red de medición confiable que cubra espacialmente el 100 % del territorio nacional, además de que la longitud de registro es aún muy corta, es necesario desarrollar métodos estadísticos que permitan pronosticar el comportamiento de la precipitación en un punto, con la finalidad de generar hietogramas o hidrogramas de diseño para el diseño de una obra hidráulica.

Con la finalidad de conocer la exactitud, calidad y suficiencia de la longitud de registro de las muestras de precipitación, en este trabajo se analizará la incertidumbre a la hora de realizar la extrapolación funciones de distribución de probabilidad.

Para llevar a cabo lo anterior, primero se seleccionaron estaciones con 100, 90 y 80 años de registro. En segundo lugar, se realizó el análisis estadístico correspondiente de dichas estaciones, suponiendo muestras de 20, 50, 70 años de registro, y de 1,000 años utilizando muestras sintéticas.

Posteriormente, se obtuvieron los valores de precipitación asociados a distintos periodos de retorno con ayuda del programa AX. Los valores obtenidos se compararon con los valores medidos.

El análisis de la incertidumbre se realizó con apoyo de los estadísticos de las muestras, es indispensable cuantificar y mostrar la calidad del resultado, para que se pueda tener una idea de su confiabilidad. Sin esto, es imposible hacer comparaciones de dichos resultados, ya sea entre ellos mismos, o con valores de referencia.

Finalmente tanto de la comparación de los valores extrapolados de la precipitación con los datos medidos y evaluación de la incertidumbre se concluye que los resultados obtenidos son confiables, ya que se encuentran dentro de los límites de confianza.

AGRADECIMIENTOS

El camino ha sido difícil y lleno de obstáculos que ha requerido de mucho esfuerzo, sin embargo, para mi buena fortuna he encontrado pocas personas pero con un gran valor que me han dado sus consejos, tiempo o simplemente con escucharme, lo cual ha ayudado a finalizar esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi madre Alma, porque en todo momento siempre caminó a mi lado y es esa fuerza que me anima a continuar diciéndome “sigue adelante”. El soportar y perdonar todas mis locuras, ha querido poner en mi camino todas las herramientas que necesito en esta vida, personas que en mucho o poco han contribuido a la culminación de mi licenciatura.

A mi abuelo Avelino, quien se adelantó en el camino, por sus valiosos consejos y sabiduría, él ha sido y siempre será un ejemplo de vida, me enseñó que no importa las carencias y dificultades que puedas tener, los límites sólo tú los pones, tengo la esperanza que él estará orgulloso de mí, donde quiera que se encuentre.

A mis familiares que me han apoyado en todo momento y soportado todos mis cambios.

Una parte importante de este trabajo ha sido el Dr. José Luis Aragón mi tutor y amigo, con quien a través de esfuerzos, compartir ideas y mediante pruebas y ensayos se han desarrollado los modelos propuestos en esta tesis. No podría haber deseado tan minucioso interlocutor con tan profundo conocimiento en el campo de la hidrología.

Sinceramente

Víctor Manuel Palma Valderrama

“Y pensar que lo mejor está por venir”

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xv
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Estructura del trabajo.....	2
2 ZONA DE ESTUDIO	5
2.1 Localización	5
2.2 Orografía.....	7
2.3 Climatología.....	9
2.4 Precipitación.....	11
2.4.1 Tipos de precipitación.....	14
2.4.2 Medición	14
2.4.2.1 Estaciones meteorológicas	15
2.4.2.2 Aparatos de medición.....	17
2.4.3 Selección de estaciones	19
2.4.3.1 Requisitos mínimos	20
2.4.4 Estaciones seleccionadas.....	20
3 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	25
3.1 Precipitación diaria.....	25
3.1.1 Datos faltantes	26
3.2 Precipitación máxima anual (P _{MA})	26
3.2.1 Parámetros estadísticos	27

3.2.2	<i>Pruebas de calidad</i>	32
3.2.2.1	Prueba de independencia.....	32
3.2.2.2	Pruebas de homogeneidad.....	36
3.2.3	<i>Evolución de la precipitación media máxima anual</i>	45
3.3	Muestras de precipitación.....	50
3.4	Muestras sintéticas	50
3.4.1	<i>Series de tiempo</i>	51
3.4.2	<i>Modelos autorregresivos</i>	52
3.4.2.1	Modelo AR	52
3.5	Extrapolación de datos.....	69
3.5.1	<i>Periodo de retorno</i>	69
3.5.1.1	Asignación de periodo de retorno (Tr)	69
3.5.2	<i>Funciones de distribución de probabilidad</i>	70
3.5.3	<i>Programa AX</i>	71
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
4.1	Comparación de la precipitación medida y extrapolada.....	77
4.2	Incertidumbre.....	84
4.2.1	<i>Métodos para evaluar la incertidumbre</i>	85
4.2.2	<i>Errores</i>	85
4.2.2.1	Error absoluto.....	86
4.2.2.2	Error relativo	86
4.2.3	<i>Límites de confianza</i>	87
5	CONCLUSIONES	97
5.1	Conclusiones generales	97
5.2	Conclusiones particulares.....	98
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
7	ANEXOS	103
7.1	Anexo A. Comparación de la precipitación de las 24 estaciones	103
7.2	Anexo B. Comparación de la precipitación de las 24 estaciones.	115

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1. Ubicación de los Estados Unidos Mexicanos.
- Figura 2.2. Coordenadas extremas de México.
- Figura 2.3. Orografía de México.
- Figura 2.4. Climas de los Estados Unidos Mexicanos.
- Figura 2.5. Precipitación mensual promedio.
- Figura 2.6. Distribución de la precipitación pluvial en México.
- Figura 2.7. Estación meteorológica convencional.
- Figura 2.8. Estación meteorológica automática.
- Figura 2.9. Pluviómetro meteorológico.
- Figura 2.10. Pluviógrafo.
- Figura 2.11. Estaciones meteorológicas con más de 80 años de registro.
- Figura 2.12. Estaciones meteorológicas con más de 90 años de registro.
- Figura 2.13. Estaciones meteorológicas con más de 100 años de registro.
- Figura 2.14. Todas las estaciones Meteorológicas.
- Figura 3.1. Correlograma de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.
- Figura 3.2. Correlograma de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.
- Figura 3.3. Correlograma de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.
- Figura 3.4. Función de distribución de probabilidad t de Student.
- Figura 3.5. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.
- Figura 3.6. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.
- Figura 3.7. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.
- Figura 3.8. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 100 años.
- Figura 3.9. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 90 años.
- Figura 3.10. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 80 años.
- Figura 3.11. Funciones de distribución de probabilidad y métodos de solución.
- Figura 3.12. Ajuste de FDP para distintos periodos de retorno.
- Figura 4.1. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 20 años
- Figura 4.2. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 50 años.
- Figura 4.3. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 75 años.
- Figura 4.4. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud completa.

Figura 4.5. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 1,000 años.

Figura 4.6. Extrapolación de los datos de la estación 1050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 20 años.

Figura 4.7. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 50 años.

Figura 4.8. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 75 años.

Figura 4.9. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud completa.

Figura 4.10. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 1,000 años.

Figura 4.11. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 20 años.

Figura 4.12. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 50 años.

Figura 4.13. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 75 años.

Figura 4.14. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud completa.

Figura 4.15. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 1,000 años.

Figura 4.16. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (20 años).

Figura 4.17. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (50 años).

Figura 4.18. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (75 años).

Figura 4.19. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (100 años).

Figura 4.20. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (1,000 años).

Figura 4.21. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (20 años).

Figura 4.22. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (50 años).

Figura 4.23. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (75 años).

Figura 4.24. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (Toda la serie).

Figura 4.25. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (1,000 años).

Figura 4.26. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (20 años).

Figura 4.27. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (50 años).

Figura 4.28. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (75 años).

Figura 4.29. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (Toda la serie).

Figura 4.30. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (1,000 años).

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Datos generales de las estaciones seleccionadas.

Tabla 3.1. Precipitación máxima anual de las estaciones seleccionadas (P_{MA}).

Tabla 3.2. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 3.3. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 3.4. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Tabla 3.5. Resumen de las pruebas de independencia.

Tabla 3.6. Prueba de homogeneidad de Helmert, estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 3.7. Prueba de homogeneidad de Helmert, estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 3.8. Prueba de homogeneidad de Helmert, estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Tabla 3.9. Prueba estadística de homogeneidad t de Student.

Tabla 3.10. Prueba estadística de homogeneidad de Cramer.

Tabla 3.11. Pruebas de homogeneidad.

Tabla 3.12. Muestras sintéticas de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 3.13. Muestras sintéticas de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 3.14. Muestras sintéticas de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Tabla 3.15. Estadísticos estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 3.16. Estadísticos estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 3.17. Estadísticos estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Tabla 3.18. Funciones de distribución de probabilidad.

Tabla 3.19. Extrapolación de datos con series de 20 años de longitud.

Tabla 3.20. Extrapolación de datos con series de 50 años de longitud.

Tabla 3.21. Extrapolación de datos con series de 75 años de longitud.

Tabla 3.22. Extrapolación de datos con series completas.

Tabla 3.23. Extrapolación de datos con series de 1,000 años de longitud.

Tabla 4.1. Valores extrapolados de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 4.2. Valores extrapolados de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 4.3. Valores extrapolados de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

1 INTRODUCCIÓN

México, debido a su ubicación geográfica contiene una gran diversidad de climas, desde desiertos en el norte hasta la selva tropical en el sureste. Además, presenta una alta vulnerabilidad a la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos. Diversas zonas del país son afectadas por los impactos de ciclones tropicales, tormentas locales severas, frentes fríos y nortes, que originan lluvias y vientos extremos, granizadas y heladas, ocasionando pérdidas económicas en diversos sectores de la población y, en el peor de los casos, de vidas humanas, mientras que en otras zonas, se presentan sequías intensas y ondas de calor.

En la actualidad, la ciencia y la tecnología son capaces de dar respuestas a las grandes necesidades de la población en materia de protección civil, planeación y funcionamiento de grandes sistemas productivos. Sin embargo, el eslabón faltante es la generación de sistemas de bases de datos y de un adecuado manejo de divulgación y operación.

La conjunción de información, herramientas, conocimiento, logística y respuesta ante fenómenos naturales extremos es de suma importancia para la generación de Sistemas de Alerta Temprana, procedimientos para la planeación y la divulgación del estado del tiempo y del clima. Para ello, es necesario la implementación de modelos hidrológicos, los cuales, para su buen funcionamiento requieren de registros históricos abundantes en cantidad, calidad y distribución espacial en el país.

A pesar de los avances tecnológicos, hoy en día es difícil contar con registros adecuados, por lo que es necesario realizar una evaluación de la información existente.

Por ello, en este trabajo, se analizarán los datos de precipitación con más de 80 años de registro, se generaran muestras sintéticas que permitan cumplir el registro hasta 1, 000 años. Se obtendrán valores extrapolados los cuales serán comparados con los datos medidos. Se evaluaron los posibles errores cometidos en la extrapolación calculando la incertidumbre.

1.1 Justificación

Hoy en día, es común, utilizar los datos de precipitación para el diseño, predicción y pronóstico de alturas de precipitación, incluso en zonas donde no se tenga ninguna estación climatológica, extrapolando los datos de las estaciones más cercanas y con más años de registro.

Dado que en nuestro país los registros históricos son relativamente cortos (menores a 100 años), en este trabajo se cuantifican los errores cometidos al realizar extrapolación de registros desde 2-10,000 años con funciones de distribución de probabilidad, suponiendo muestras medidas de 20, 50 y 75 años y muestras sintéticas calculadas de 100 500 y 1,000 años, para finalmente analizar el error relativo así como también la incertidumbre en cada una de las muestras.

1.2 Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo son:

- Extrapolar datos de precipitación con funciones de distribución de probabilidad de estaciones meteorológicas con registros largos (80-100 años).
- Comparar los valores extrapolados con los medidos.
- Generar muestras sintéticas para tener registros desde 100 – 1,000 años.
- Cuantificar la incertidumbre generada en la extrapolación de los datos para conocer la calidad de los resultados.

1.3 Estructura del trabajo

La tesis consta, de una introducción, donde se presenta un panorama general del tema, se plantea el problema, se proponen hipótesis y se dan a conocer los objetivos. Posteriormente el trabajo se estructura en los 4 capítulos siguientes:

- Capítulo 1. Se presentan las características generales del país, se seleccionan las estaciones climatológicas para el estudio.
- Capítulo 2. Se presentan las series de precipitación de cada una de las estaciones seleccionadas. Se realiza una revisión de la calidad de los datos, así como el análisis estadístico correspondiente.

- Capítulo 3. Se analizan los resultados obtenidos con el enfoque propuesto mediante atributos de la misma, dando un especial énfasis en la incertidumbre.
- Capítulo 4. Se presentan las conclusiones obtenidas a través del desarrollo de la tesis, así como algunas propuestas para futuras investigaciones afines al tema.

2 ZONA DE ESTUDIO

Para el análisis de precipitación que se realiza en este trabajo se utilizan estaciones climatológicas ubicadas en distintos puntos de la República Mexicana, por lo tanto, se describirán algunas características de interés de todo el país.

2.1 Localización

Los Estados Unidos Mexicanos o México, está ubicado en América del Norte. Respecto al Ecuador, se localiza en el hemisferio norte y, de acuerdo con el meridiano de Greenwich, en el hemisferio occidental, limita al norte con Estados Unidos de América, al sur y oeste con el océano Pacífico, al este con el Golfo de México y el mar Caribe, y al sureste con Guatemala y Belice (figura 2.1).



Figura 2.1. Ubicación de los Estados Unidos Mexicanos.

Las coordenadas extremas que enmarcan el territorio mexicano son (figura 2.2.):

Por el norte, México llega hasta los 32° 43' 06" de latitud Norte y 114° 45' longitud oeste en el sitio denominado Monumento 206, en el poblado mexicalense de Los Algodones, estado de Baja California, frontera con Estados Unidos, constituyendo el extremo septentrional.

Por el sur, México llega hasta los $14^{\circ} 32' 27''$ de latitud norte y $92^{\circ} 13' 0''$ longitud oeste en la desembocadura del río Suchiate cerca de Ciudad Hidalgo, en la frontera con Guatemala, al sur de Tapachula, estado de Chiapas, constituyendo el extremo meridional.

Por el occidente, México llega hasta los $118^{\circ} 27' 24''$ longitud oeste y $32^{\circ} 43' 06''$ de latitud norte en el sitio denominado Punta Roca Elefante en la isla Guadalupe, en el Océano Pacífico, siendo un punto de referencia insular; sin embargo, el punto extremo del territorio continental de México corresponde a $32^{\circ} 32' N$ $117^{\circ} 5' O$ cerca de Tijuana, estado Baja California.

Por el oriente, México llega hasta los $86^{\circ} 42' 36''$ longitud oeste y $21^{\circ} 11'$ de latitud norte en la punta sureste de la isla Mujeres, estado Quintana Roo, en el Océano Atlántico, siendo un punto de referencia insular; sin embargo, el punto extremo del territorio continental corresponde a $21^{\circ} 8'$ norte $86^{\circ} 44'$ oeste cerca de Cancún, Quintana Roo (Martinez, 2015).

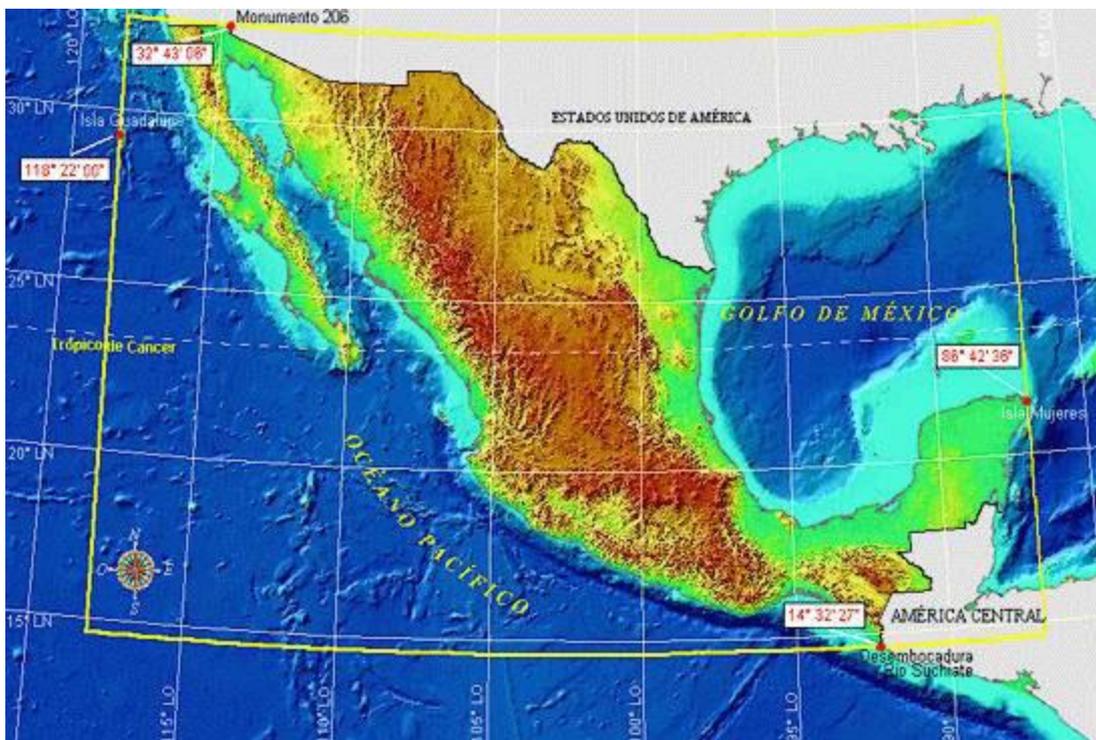


Figura 2.2. Coordenadas extremas de México.

Fuente: INEGI

2.2 Orografía

México posee un suelo tan accidentado, que debido al gran número de sierras, cordilleras, montañas, volcanes, montes y colinas que lo cruzan, es uno de los pocos países en el mundo, en donde su orografía es siempre parte fundamental en todos los temas relativos a la nación. A continuación, se presentan las principales elevaciones naturales que conforman el relieve de México (figura 2.3).

Sierra madre occidental: es una cadena montañosa de suma importancia dentro de la república mexicana. Está conformada por 1,250 km de longitud con una anchura media de 150 km y una altura media de 2,250 m.s.n.m.

Se inicia a 50 km al sur de la frontera con Estados Unidos de América (EUA), entre los estados de Chihuahua y Sonora, y se extiende hasta el estado de Nayarit (pacífico mexicano) donde hace contacto con otra cordillera llamada “cordillera neovolcánica”.

Sierra madre oriental: al igual que su hermana la sierra madre occidental, es una cordillera de grandes proporciones. Posee una longitud de aproximadamente 1,300 km, una anchura media de 50 km y una elevación media de 2,200 m.s.n.m.

Se inicia al sur del estado estadounidense de Texas y se extiende, dentro de México, en dirección norte noroeste, desde la llamada Sierra del Burro en el estado de Coahuila, hacia sur sureste hasta el estado de Veracruz (en las estribaciones de Cofre de Perote) donde hace contacto con la cordillera neovolcánica.

Cordillera neovolcánica: tiene una extensión de 900 km y una anchura promedio de 130 km. Su altura media es de 2,500 m.s.n.m. y sirve de límite natural entre la denominada Meseta de Anáhuac y la depresión del río Balsas. También se considera como una barrera natural entre América del Norte y América Central.

Su recorrido se inicia en la desembocadura del río Grande de Santiago y continúa hacia el sur hasta la bahía de Banderas (en los estados de Jalisco y Nayarit) para seguir hasta el volcán de Colima y de ahí cruzar el territorio hacia el estado de Veracruz hasta llegar a los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote.

Sierra madre del sur: es un sistema montañoso que se inicia al sureste de la bahía de Banderas, en el estado de Jalisco donde hace contacto con la cordillera neovolcánica, y continúa hasta el istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca.

Tiene una longitud de 1,200 km, una anchura promedio de 150 km y una altura media de 2,000 m.s.n.m., aunque en algunas zonas llega a alcanzar los 3,000 m.s.n.m.

Sierra madre de Chiapas: se localiza casi en su totalidad dentro del estado de Chiapas y sólo una pequeña parte dentro del estado de Oaxaca. Alcanza una altitud media de 1,500 m.s.n.m., una longitud y anchura media de 280 y 50 km respectivamente.

Se considera que se inicia cerca del río Ostuta en el municipio oaxaqueño de Santo Domingo Zanatepec y continúa hasta los límites con la república de Guatemala penetrando en ella. Del lado mexicano, se extiende por el sur del estado de Chiapas, entre las llanuras de la costa y la conocida como la “depresión de Chiapas”.

Sierra californiana: se extiende (con una longitud de poco más de 1,400 km) en dirección norte noroeste a sur sureste a lo largo de toda la Península de Baja California, desde los límites de México con los Estados Unidos (Valle de San Joaquín) hasta cabo San Lucas en el estado de Baja California Sur. Su anchura media es del orden de 70 km.

Al igual que otras cadenas montañosas recibe diferentes nombres locales según la región que cruza. En el norte: sierras de Santa Ana, San Jacinto y San Bernardino dentro de Estados Unidos y sierras Juárez y San Pedro dentro de México. En la parte media: sierras de Calamunjué y Santa Catarina, de Mulegé, de la Concepción y San Telmo. En el sur: sierras de la Laguna y la de San Antonio.

El sistema montañoso inicia con elevaciones promedio de 2,200 m.s.n.m., pero estas van decreciendo hasta alcanzar los 250 m.s.n.m. ya cerca de Los Cabos. Las alturas máximas que se destacan en toda la Sierra Californiana son principalmente (en m.s.n.m.) el volcán de las Tres Vírgenes (2,054) en el norte, el Cono de La Giganta (1,740) en el centro y el Pico de San Lázaro (2,164) en el sur (Martinez, 2015).

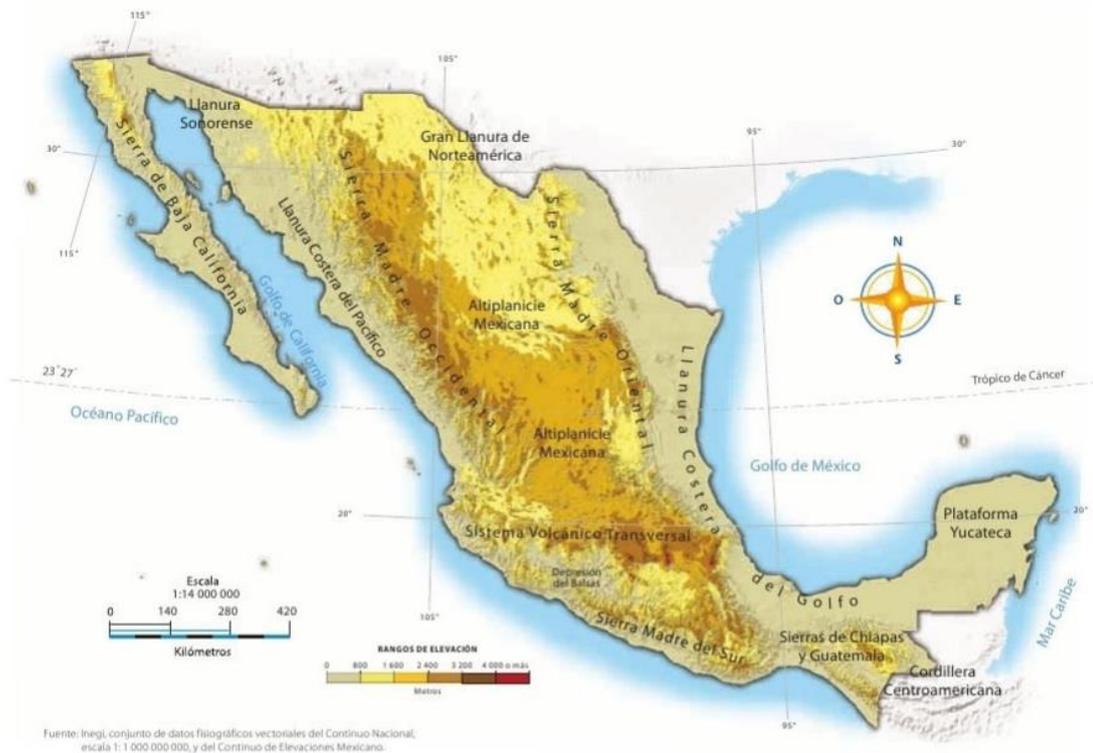


Figura 2.3. Orografía de México.

2.3 Climatología

En México, el clima está determinado por varios factores, entre los que se encuentran, la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Por lo anterior, el país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, subhúmedo, seco y muy seco (figura 2.4).

El clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3 % del territorio nacional; se caracteriza por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22 ° a 26 °C en algunas regiones, y en otras de 18 °C a 22 °C.

El clima muy seco registra temperaturas en promedio de 18 °C a 22 °C, con casos extremos de más de 26 °C, presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8 % del país.

En relación al clima cálido, éste se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero de ellos ocupa el 4.7 % del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22 °C y 26 °C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales. Por su parte, el clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23 % del país; en el se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22 °C y 26 °C, con regiones en donde superan los 26 °C.

Finalmente, el clima templado se divide en húmedo y subhúmedo; en el primero de ellos se registran temperaturas entre 18 °C y 22 °C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende el 2.7 % del territorio nacional. Respecto al clima templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5 % del país, observa en su mayoría temperaturas entre 10 °C y 18 °C y de 18 °C a 22 °C, sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10 °C, registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año (figura 2.4).



Figura 2.4. Climas de los Estados Unidos Mexicanos.

2.4 Precipitación

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas. Anualmente, México recibe del orden de 1, 489,000 km³ de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 71.6 % se evapora y regresa a la atmósfera, el 22 % escurre por los ríos o arroyos, y el 6.2 % restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua, así como la recarga incidental, el país cuenta con 471,500 hectómetros cúbicos de agua dulce renovable (INEGI, 2016).

En la mayor parte de nuestro país, la precipitación ocurre predominantemente entre, junio y septiembre, con excepción de la península de Baja California. Es importante señalar que la distribución acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso.

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas. Existen 12 rubros, mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, como la agricultura, el abastecimiento público, la industria y la generación de energía.

La precipitación normal del país en el periodo de 1981-2010 fue de 740 milímetros (CONAGUA, 2015). Los valores normales, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de registro.

Es importante señalar que la distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, debido a que el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre los meses de junio y septiembre (figura 2.5).

Por ejemplo, en la región Frontera Sur que recibe mayor cantidad de lluvia, la precipitación pluvial promedio anual 1981-2010 fue 11 veces mayor que en la región Península de Baja California, la más seca. (figura 2.6).

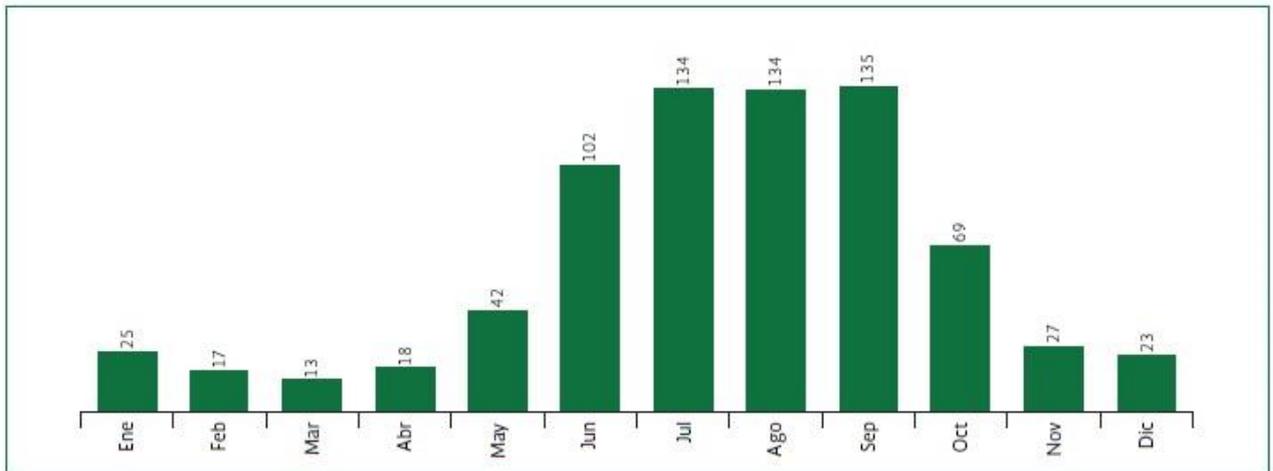


Figura 2.5. Precipitación mensual promedio.

La base de datos que se utiliza para con carácter oficial en el país es la operada por el SMN en el *Climate Computing* (CLICOM). Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales, la precipitación es la variable en la que se enfoca este trabajo por lo cual es importante tener claro su definición, medición y clasificación.

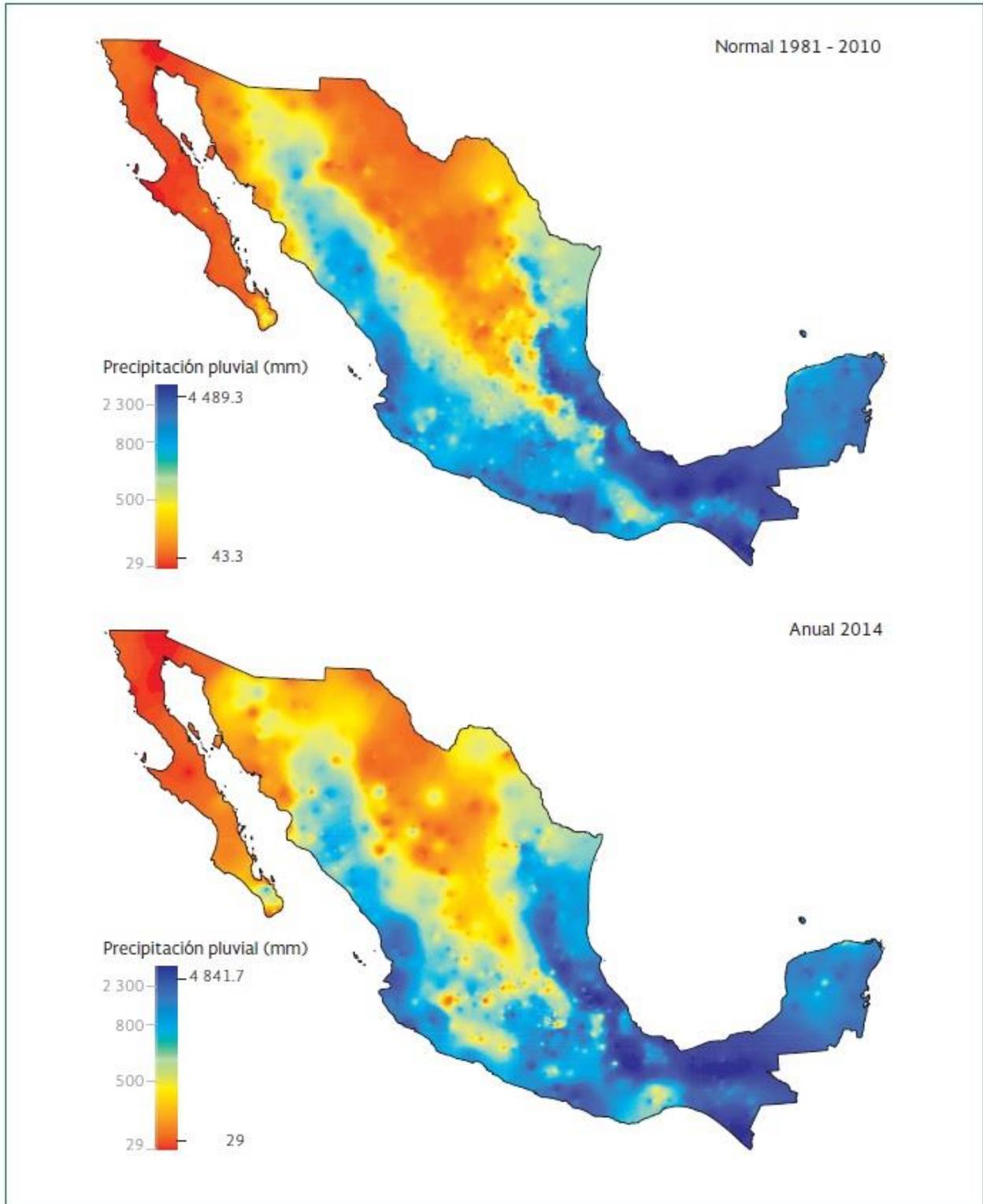


Figura 2.6. Distribución de la precipitación pluvial en México.

2.4.1 Tipos de precipitación

La intensidad y cantidad de precipitación dependen del contenido de humedad en el aire y de la velocidad vertical del mismo. De estos procesos se derivan los diferentes tipos de precipitación:

Precipitación ciclónica

Esta precipitación se asocia al paso de una perturbación ciclónica, se presentan dos casos: frontal y no frontal. La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica y es asociada a un frente frío o a un frente cálido.

En los frentes fríos el aire cálido es desplazado hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo.

En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad, dando lugar a una nubosidad más estratiforme y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea.

Precipitación convectiva

Se origina en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad, originando precipitaciones en forma de chubascos o tormentas.

Precipitación orográfica

Se origina en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera montañosa. La precipitación es mayor en barlovento, disminuyendo rápidamente el sotavento. En las cadenas montañosas importantes, el máximo de precipitación se produce antes del parteaguas. A veces, con menores altitudes, el máximo se produce, debido a que el aire continúa en ascenso.

2.4.2 Medición

La precipitación es una variable meteorológica que puede ser medida mediante varios medios y técnicas de valoración, esta metodología recibe el nombre de pluviometría, y estos son algunos de los principales aparatos con los que se puede medir.

2.4.2.1 Estaciones meteorológicas

Existen varias clases de estaciones meteorológicas, como es la estación convencional o tradicional, estación automatizada y la estación sinóptica meteorológica automatizada. El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso.

Las estaciones meteorológicas tradicionales o convencionales son aquellas en las cuales se obtienen datos meteorológicos que permiten, conocer, en una amplia región, el estado de la atmósfera en un momento determinado y hacer pronóstico sobre su evolución y comportamiento de una forma manual a través un operador encargado de las lecturas. Las lecturas se realizan todo los días a las 8:00 AM (figura 2.7).



Figura 2.7. Estación meteorológica convencional.

Estación meteorológica automática (EMA)

Es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática (figura 2.8).

Una estación meteorológica automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para

generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables (la hora que se utiliza para registrar los datos es el horario UTC), esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 o 3 horas por estación.



Figura 2.8. Estación meteorológica automática.

Estación sinóptica meteorológica automática (ESIME)

Este tipo de estación es muy similar a las EMA en los dispositivos electrónicos que la conforman, además, de su área de influencia y restricciones. La principal diferencia que tienen es que generan una base de datos y un mensaje sinóptico, estos son reportes que se generan simultáneamente gracias a un software que permite hacer los cálculos correspondientes de las variables que se reportan en todos los observatorios cada tres horas y presentan información meteorológica de tiempo presente y pasado de manera codificada.

Las estaciones sinópticas meteorológicas se encuentran ubicadas exclusivamente en los observatorios meteorológicos. Actualmente, la Red Nacional de Estaciones Sinópticas Meteorológicas cuenta con 30 sitios.

2.4.2.2 Aparatos de medición

A continuación se describen algunos aparatos más comunes para medir la precipitación en las estaciones meteorológicas.

Pluviómetros ordinarios

Consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (colector). Entre éstos, por lo general existe un embudo (figura 2.9).

Existen muy diversos tipos de pluviómetros, todos con el mismo principio, lo que varía es la altura de la boca del aparato sobre el suelo, la situación del colector sobre tierra o bajo tierra, la forma de hacer la lectura, etc.

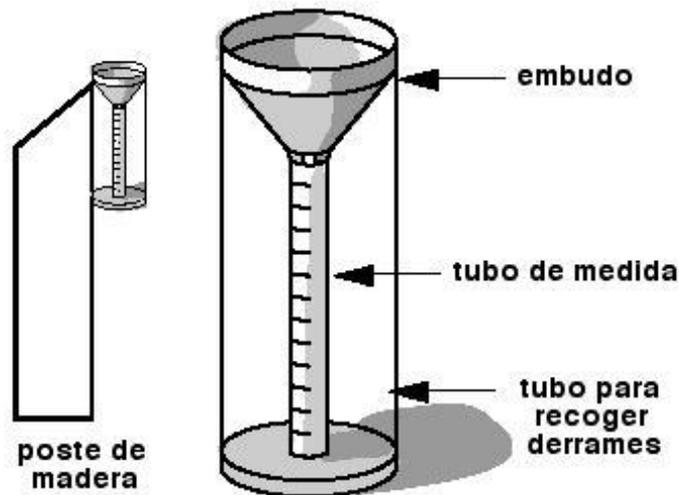


Figura 2.9. Pluviómetro meteorológico.

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado (pluviograma). En el recipiente se coloca un flotador que se une a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel, tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón. Son instrumentos destinados a medir la distribución de la lluvia en el tiempo, además de su intensidad en un determinado lugar (figura 2.10).



Figura 2.10. Pluviógrafo.

Radar

No sólo se puede medir la precipitación en sitio, sino que otra forma para medirla es a distancia mediante radar meteorológico. Las medidas de la precipitación mediante el radar se abocan a la altura y a la intensidad de la precipitación.

El proceso de medición comienza con la captura de fotografías que proyectan el área del temporal que la produce; en éstas aparecen zonas luminosas de mayor o menor intensidad. En lo referente a la intensidad de la precipitación, en las pantallas del radar meteorológico el eco de las gotas de agua es distinto del producido por otros obstáculos, por lo que éste puede ser definido como lluvia. Los datos generados por el radar son de gran utilidad para el manejo de situaciones ocasionadas por fuertes precipitaciones. Por otro lado, representa un medio para efectuar medidas de precipitación en zonas inaccesibles.

Satélite

El satélite es otra herramienta para estimar la precipitación de lluvia desde el espacio, se basa en la medición de la cantidad de radiación reflejada y emitida a través de las cimas de las nubes. La mayor parte de la radiación no penetra profundamente en las regiones nubosas que contienen partículas de tamaño similar o superior al de la longitud de onda de la radiación. Así pues, gran parte de la radiación proviene de las regiones superiores de las nubes precipitantes.

2.4.3 Selección de estaciones

A lo largo del país se localizan 3,817 de estaciones climatológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), miden algunas variables climatológicas como: temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento. De estas, 1,064 son estaciones de referencia, de donde se obtienen datos que determinan el comportamiento normal del clima nacional.

Actualmente, se tiene una carencia de estaciones climatológicas de referencia en el norte, noroeste, noreste y sureste del país, principalmente entre los estados de Chihuahua y Coahuila.

A finales de los años 90, diversas bases de datos relacionadas con el clima se hicieron disponibles en el país, la mayoría de ellas en discos compactos. Por su fácil distribución, estos fueron utilizados de manera intensiva por la comunidad, como fuente de información climática.

En los años 2004 y 2005 el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con la participación de las gerencias estatales de la CONAGUA y la colaboración de otras agencias, realizó un esfuerzo importante en materia de rescate de información y digitalización de datos climáticos. Durante este esfuerzo se capturaron y actualizaron datos de la red de estaciones climatológicas convencionales en la mayoría de los estados del país con la finalidad de reducir al mínimo el número de valores “no disponibles” en la base de datos nacional.

Por otra parte, se tiene registro de diversos esfuerzos, que han sido encaminados a resolver aspectos relacionados con el manejo y uso eficiente de las bases de datos del clima en México. Si bien es cierto que se cuenta con una red de estaciones hidrometeorológicas automáticas cuyos datos están disponibles en tiempo real, esta red tiene un periodo corto de registro y su densidad es baja.

2.4.3.1 Requisitos mínimos

Para la realización del análisis de precipitación planteado en este trabajo se necesitan algunas características mínimas que debe cumplir una estación climatológica, para poder considerar en el análisis de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación con Funciones de Distribución de Probabilidad (FDP).

- Longitud de registro grande (en el país, sólo se tienen registros hasta de 100 años).
- Las estaciones con más del 90 % de registro efectivos (el número de años efectivos entre el número de años totales).
- Distintas elevaciones
- Distribución espacial, con ello se intenta considerar la variabilidad climatológica y pluvial.

2.4.4 Estaciones seleccionadas

Tomando en cuenta las características mínimas anteriormente mencionadas, se realizó una selección minuciosa de estaciones que cumplieran con estas características, del total de estaciones existentes en la República Mexicana solo 24 cumplen.

De estas 24 estaciones (figura 2.14 y tabla 2.1.), 2 cuentan con más de 100 años (figura 2.13), 10 con más de 90 años (figura 2.12) y 12 con más de 80 años (figura 2.11). Como se puede observar, la distribución espacial es primordial y se encuentran distribuidas a lo largo del territorio nacional (Aguascalientes, Baja California Sur, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Sonora y Veracruz) con variabilidad climática y elevación (tabla 2.1).



Figura 2.11. Estaciones meteorológicas con más de 80 años de registro.



Figura 2.12. Estaciones meteorológicas con más de 90 años de registro.



Figura 2.13. Estaciones meteorológicas con más de 100 años de registro.



Figura 2.14. Todas las estaciones Meteorológicas.

Tabla 2.1. Datos generales de las estaciones seleccionadas.

Número	Clave	Nombre	Estado	Longitud (°)	Latitud (°)	Elevación (m.s.n.m)	Fecha de Inicio	Fecha Final
1	11028	Irapuato	Guanajuato	-101.34	20.67	1,729	05/01/1903	03-31-2012
2	13012	Huichapan	Hidalgo	-99.64	20.37	2,120	06/01/1903	03-31-2013
3	3038	Mulege	Baja California Sur	-112	26.89	10	07/01/1903	03-31-2014
4	11050	Ocampo	Guanajuato	-101.47	21.65	2,258	08/01/1903	03-31-2015
5	13013	Ixmiquilpan (SMN)	Hidalgo	-99.22	20.48	1,700	09/01/1903	03-31-2016
6	14096	Mascota (SMN)	Jalisco	-104.8	20.53	1,230	10/01/1903	03-31-2017
7	16007	Apatzingán (SMN)	Michoacan	-102.36	19.09	320	11/01/1903	03-31-2018
8	16027	Cuitzeo	Michoacan	-101.14	19.96	1,831	12/01/1903	03-31-2019
9	18002	Ahuacatlan	Nayarit	-104.5	21.1	999	13/01/1903	03-31-2020
10	21063	Pixtla	Puebla	-98.3	18.2	1,119	14/01/1903	03-31-2021
11	26075	Quiriego (SMN)	Sonora	-109.3	27.5	210	15/01/1903	03-31-2022
12	30211	Las vigas	Veracruz	-97.1	19.6	2,426	16/01/1903	03-31-2023
13	1018	Presa Plutarco Elías calles	Aguascalientes	-102.41	22.14	2,053	17/01/1903	03-31-2024
14	2038	Presa Rodríguez	Baja California Sur	-116.92	32.45	120	18/01/1903	03-31-2025
15	3029	La Purísima	Baja California Sur	-112.07	26.18	95	19/01/1903	03-31-2026
16	3062	Santiago	Baja California Sur	-109.73	23.48	132	20/01/1903	03-31-2027
17	10027	Francisco I. Madero	Durango	-104.32	24.4	1,960	21/01/1903	03-31-2028
18	11052	Pericos	Guanajuato	-101.12	20.52	1,718	22/01/1903	03-31-2029
19	12047	Iguala (SMN)	Guerrero	-99.54	18.34	738	23/01/1903	03-31-2030
20	14040	Chapala	Jalisco	-103.19	20.29	1,530	24/01/1903	03-31-2031
21	19024	Anáhuac	Nuevo León	-100.1	27.2	194	25/01/1903	03-31-2032
22	20048	Juchitán de Zaragoza	Oaxaca	-95	16.4	30	26/01/1903	03-31-2033
23	28086	San Fernando	Tamaulipas	-98.2	24.8	46	27/01/1903	03-31-2034
24	30163	Soledad de Doblado	Veracruz	-96.4	19	94	28/01/1903	03-31-2035

3 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

En este capítulo se describe el procedimiento que se utilizó para realizar el análisis estadístico de la precipitación de cada una de las 24 estaciones seleccionadas. Así la metodología seguida consistió primero en validar los datos de precipitación diaria acumulada en 24 horas, la precipitación acumulada en 24 horas no necesariamente corresponde a la precipitación máxima en un día, por lo que es necesario realizar una corrección por intervalo fijo de observación, esto es $P_d = 1.13P_{24h}$ (Weiss, 1964). Lo anterior es recomendable cuando la precipitación extrapolada se utiliza en el diseño de obras hidráulicas.

En segundo lugar de la precipitación máxima anual (P_{MA}), se realizó el análisis de frecuencias. Dado el número de estaciones, en lo que sigue solamente se aplicarán los procedimientos correspondientes a 3 estaciones representativas con más de 100 años de registro (13012 Huichapan, Hidalgo), 90 años (11050 Ocampo, Guanajuato) y 80 años (30163 Soledad de Doblado, Veracruz). De las estaciones restantes solamente se presentarán los resultados correspondientes.

3.1 Precipitación diaria

Cada una de las 24 estaciones elegidas tienen un dato de precipitación acumulada cada 24 horas (8:00 p.m. - 8:00 a.m. del día siguiente) durante los años de registro. En el caso de la estación 11028 Irapuato con 110 años de registro, ésta tiene 40,150 valores registrados, lo que da lugar a una serie de datos o serie hidrológica (una serie hidrológica es un conjunto de variables organizadas de forma secuencial, normalmente a intervalos iguales).

Como es sabido, hay estaciones que no cuentan con algunos valores de precipitación, incluso años completos, lo cual provoca que se tengan huecos en las series de datos, por lo que es necesario completar los datos faltantes, según convenga, valores diarios o máximos anuales.

3.1.1 Datos faltantes

Para estimar datos faltantes, existen diversos métodos (Campos, 1998); en este trabajo se utilizó regresión estadística y el método *Inverse-distance-weighted* (IDW). Lo anterior se hizo para periodos de datos faltantes diarios menores a un año.

El método de regresión estadística es de los más utilizados; se auxilia de una estación cercana, para establecer una correlación lineal, mediante una ecuación de dos variables del tipo $P_y = mP_r + b$, (con un coeficiente de correlación $r^2 > 0.8$).

Cuando no fue posible utilizar el método anterior debido a que la calidad de los resultados es pobre, se auxilió del método IDW.

$$p_i = \frac{\sum \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}}$$

Ecuación 3.1

3.2 Precipitación máxima anual (P_{MA})

Para realizar la extrapolación de datos hidrológicos a distintos periodos de retorno (Tr), es necesario utilizar una serie hidrológica. En hidrología tradicionalmente se utilizó series hidrológicas de datos máximos anuales.

Una serie hidrológica de máximos anuales, es aquella, en la cual se tiene un solo valor por año, siendo éste el máximo de los datos registrados cada año.

Cuando en los datos diarios de una estación se tenían huecos mayores a 1 año, en primer lugar se utilizó una media temporal siempre y cuando el número de datos faltantes fuera menor al 10 %, en caso contrario, se emplearan los métodos descritos en el apartado 3.1.1.

3.2.1 Parámetros estadísticos

Las series hidrológicas se describen generalmente a través de sus parámetros estadísticos como la media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis, distribución de probabilidad y de la estructura de dependencia en el tiempo, que obedecen a las ecuaciones siguientes:

Media

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

Ecuación 3.2

Varianza no sesgada

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

Ecuación 3.3

Desviación estándar

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

Ecuación 3.4

Coeficiente de asimetría no sesgado

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

Ecuación 3.5

Coeficiente de curtosis sesgado

$$k_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(S^2)^2}$$

Ecuación 3.6

Coficiente de curtosis no sesgado

$$k_{insesg} = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} k_{sesg} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Autovarianza

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i-k} - \bar{x}) \quad \text{Ecuación 3.8}$$

De esta manera, las series de precipitación máxima anual y los parámetros estadísticos de cada estación se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Precipitación máxima anual de las estaciones seleccionadas (P_{MA}).

Clave	11028	13012	3038	11050	13013	14096	16007	16027	18002	21063	26075	30211	1018	2038	3029	3062	10027	11052	12047	14040	19024	20048	28086	30163	
Año	hp (mm)																								
1	1903	56.0	219.0																						
2	1904	53.2	76.3																						
3	1905	51.0	182.6																						
4	1906	44.8	112.3																						
5	1907	46.3	26.7																						
6	1908	45.8	39.0																						
7	1909	40.0	40.7																						
8	1910	38.3	49.7																						
9	1911	54.0	30.3																						
10	1912	32.5	38.0																						
11	1913	0.0	10.5																						
12	1914	52.6	40.0																						
13	1915	52.6	40.1																						
14	1916	52.6	0.0																						
15	1917	52.6	7.3																						
16	1918	52.6	38.0																						
17	1919	52.6	1.8																						
18	1920	52.6	4.3																						
19	1921	52.6	2.5																						
20	1922	60.6	250.0	30.2		36.2		60.2				86.3								84.0					
21	1923	40.0	170.0	42.7		22.7	42.0	129.7	153.0			63.5								57.0					
22	1924	35.6	42.0	1.5	26.0	6.2	53.4	60.5	40.5	46.4		121.0								69.2					75.2
23	1925	32.5	62.0	2.0	24.0	6.2	53.5	58.0	42.2	52.4	26.5	58.5								82.5					131.8
24	1926	84.3	20.0	2.0	36.5	5.0	34.0	64.5	48.0	57.8	69.5	155.0								62.5					66.2
25	1927	72.5	35.5	2.2	38.4	42.5	38.0	65.0	26.7	55.0	55.5	120.0	0.0							87.5					34.7
26	1928	59.3	25.5	10.0	52.0	43.7	47.5	58.7	54.3	38.5	75.0	48.5	86.0							68.0					75.2
27	1929	57.5	20.0	60.0	30.0	62.0	40.0	72.5	29.2	49.0	38.0	68.0	175.0	16.2						58.0					40.0
28	1930	54.0	25.5	30.0	40.0	60.0	74.2	69.5	30.4	44.5	50.0	130.0	181.5	30.0						47.0					85.7
29	1931	67.5	40.6	19.0	25.0	40.0	56.0	110.0	60.0	47.0	114.0	126.0	80.0	23.1						76.0			1.5		90.0
30	1932	60.8	40.0	11.0	58.0	59.0	61.0	67.0	35.2	41.0	4.0	64.0	89.5	30.5			27.5			65.0			65.0		10.0
31	1933	70.0	56.5	12.0	33.0	52.0	47.0	63.0	69.8	53.0	50.0	50.0	230.0	0.0	40.0			28.5		62.0		60.5		231.5	32.5
32	1934	52.5	32.2	90.0	40.0	35.0	65.0	55.0	83.2	87.0	100.7	160.0	92.5	38.0	16.5			60.0		67.8	51.0	49.0		71.5	81.0
33	1935	53.0	20.0	74.6	40.0	80.0	40.0	86.0	71.3	118.0	79.7	52.0	70.0	33.5	6.7			45.0		55.0	101.5	90.2		82.0	93.0
34	1936	39.4	30.0	95.0	37.0	21.0	32.5	64.0	40.9	47.0	51.5	82.0	165.0	55.1	5.9			40.3		43.0	62.5	40.0		58.0	53.0
35	1937	38.2	54.2	10.0	46.0	38.1	53.0	95.0	64.7	44.0	63.5	60.0	110.3	56.0	21.1	1.0	16.5	6.5	48.0	59.0	32.0	114.7	39.0	67.9	
36	1938	57.6	24.0	26.6	42.0	36.5	50.0	50.0	28.3	78.0	82.2	65.0	54.0	41.5	21.1	40.0	79.0	40.5	44.7	62.0	78.0	88.7	40.5	226.0	51.0
37	1939	38.4	28.0	55.5	35.0	26.5	39.0	65.0	9.8	52.0	50.0	55.0	142.5	31.5	3.7	24.0	61.5	34.5	56.0	90.0	38.7	60.0	55.0	57.0	47.3

Evaluación de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación

38	1940	47.2	37.0	81.5	37.0	26.2	10.0	95.0	29.9	46.0	54.0	50.0	70.0	55.0	10.2	62.5	31.2	43.5	48.0	51.0	61.5	82.5	27.0	76.0	32.5
39	1941	44.4	53.6	16.0	60.0	42.5	20.0	33.0	20.8	48.0	52.5	65.0	175.0	54.3	12.0	19.2	70.3	50.5	58.2	87.0	61.8	119.0	74.1	63.9	45.5
40	1942	47.0	54.0	12.5	42.0	45.2	49.0	49.0	19.5	61.0	30.0	71.0	110.3	30.0	25.0	8.5	190.3	40.0	59.0	69.0	44.6	46.5	97.6	64.3	100.0
41	1943	36.1	65.4	30.0	65.0	46.3	46.0	61.0	20.7	60.0	60.0	70.0	40.0	38.0	44.0	23.0	140.0	38.0	73.5	36.0	47.0	42.5	97.5	86.0	55.0
42	1944	39.0	69.5	30.5	40.0	58.2	28.0	48.5	20.8	54.0	71.0	60.0	170.0	54.0	50.0	15.4	20.0	25.0	12.0	63.0	54.9	67.0	83.0	75.0	212.5
43	1945	71.0	20.0	65.0	30.0	18.0	58.0	61.0	20.7	38.0	60.0	100.0	77.5	34.5	42.0	14.0	57.0	42.0	2.9	35.0	43.0	82.0	96.2	65.7	156.0
44	1946	75.0	74.0	150.0	46.0	29.4	51.0	54.0	20.4	47.5	80.0	75.0	57.5	54.0	19.0	0.0	43.0	60.7	38.0	65.3	42.2	73.5	154.0	66.2	64.2
45	1947	36.5	60.0	1.8	55.0	63.8	57.5	52.5	20.2	62.0	63.2	80.0	97.5	52.5	17.0	45.0	67.0	47.8	34.0	65.2	61.5	44.0	165.0	137.0	115.0
46	1948	43.0	35.0	29.0	32.0	33.7	48.0	92.0	22.3	40.0	53.5	65.0	90.0	49.5	21.0	8.0	45.0	49.0	43.0	65.1	74.4	93.0	90.0	74.0	47.5
47	1949	69.5	9.0	10.5	23.0	69.5	63.8	107.0	25.3	75.0	60.4	50.0	189.0	39.0	8.0	16.0	130.0	46.5	42.0	75.0	44.0	99.0	90.0	40.5	46.0
48	1950	60.0	35.0	28.1	80.0	48.6	71.0	81.0	28.2	55.0	60.3	55.0	198.5	22.0	14.0	1.0	69.2	44.8	39.8	52.0	32.5	45.0	315.0	144.5	121.5
49	1951	41.0	36.0	28.5	48.0	33.4	67.0	76.0	26.9	55.0	70.2	60.0	137.0	58.5	19.0	19.2	65.0	61.0	47.5	47.0	38.0	40.0	150.0	116.0	66.0
50	1952	58.6	30.0	28.8	34.0	40.0	69.0	110.0	33.3	85.0	60.3	64.0	128.0	27.9	32.0	22.5	40.0	32.0	51.5	50.0	70.4	55.0	67.0	108.0	120.0
51	1953	44.8	50.0	29.2	52.0	43.5	59.0	47.0	34.8	61.0	64.1	80.0	86.5	41.3	15.5	51.5	87.0	67.0	40.5	61.0	40.0	54.5	80.1	70.0	197.0
52	1954	67.4	20.0	10.0	21.0	45.0	70.0	65.0	29.2	62.0	43.0	80.0	175.0	23.4	47.0	30.0	83.0	47.0	68.0	74.6	19.6	52.5	76.0	111.0	433.0
53	1955	50.0	8.4	11.4	50.0	69.5	96.0	90.0	26.4	125.5	39.3	70.0	98.5	35.6	30.0	10.3	96.0	42.0	63.5	65.3	36.0	73.0	151.6	62.5	72.2
54	1956	22.7	2.8	14.8	34.0	44.0	72.3	60.0	26.5	48.0	53.2	72.0	98.5	59.5	9.8	65.0	48.0	43.0	26.5	65.7	50.0	50.0	80.0	71.0	66.5
55	1957	51.7	3.0	50.3	65.0	34.0	60.0	46.0	25.7	48.0	56.2	95.0	67.0	51.0	41.0	73.5	40.0	31.0	55.0	57.7	33.3	65.3	49.0	175.0	73.0
56	1958	53.8	3.5	36.2	40.0	31.5	51.6	67.0	54.0	56.0	56.3	70.0	57.5	44.9	24.4	42.0	80.0	68.0	42.0	65.7	49.0	113.5	74.0	80.0	67.5
57	1959	47.5	4.8	52.0	76.0	50.5	56.0	50.0	35.2	63.0	40.2	78.0	100.0	41.0	22.0	54.0	145.0	31.0	51.8	48.2	58.0	94.5	138.0	70.0	67.0
58	1960	27.2	25.0	46.0	51.0	45.0	45.0	44.0	32.5	81.0	34.7	105.0	76.5	43.0	19.5	50.1	74.0	46.0	60.0	47.7	48.0	33.5	190.0	45.0	98.0
59	1961	43.8	31.0	32.0	75.0	44.0	85.0	40.0	32.8	51.0	54.1	56.0	120.0	25.5	17.4	38.0	136.0	37.0	30.0	143.9	46.0	92.5	90.0	117.0	137.0
60	1962	54.0	28.4	63.5	63.0	41.6	61.4	113.0	23.3	57.0	149.5	56.0	50.0	33.0	27.0	44.0	72.5	48.0	55.0	59.4	55.5	69.5	135.5	54.0	103.0
61	1963	68.5	41.6	21.0	32.0	56.0	56.5	66.0	40.5	67.0	60.1	88.0	97.0	55.0	32.1	32.5	34.0	60.0	34.5	263.0	56.7	60.0	104.2	163.6	54.0
62	1964	137.8	38.0	11.0	32.0	86.5	67.0	63.0	38.6	37.0	42.1	76.0	84.6	34.0	23.6	9.6	136.0	47.0	37.0	80.0	49.3	105.0	60.7	43.0	100.0
63	1965	44.0	48.0	2.0	127.0	45.5	38.0	45.0	45.6	49.0	69.1	94.0	55.5	25.2	53.9	20.0	83.5	49.0	45.0	220.4	80.3	68.0	83.0	60.0	128.5
64	1966	80.0	59.5	1.4	34.0	39.5	76.0	70.0	43.4	52.0	91.0	42.0	220.0	77.6	29.2	15.3	38.0	42.0	48.0	71.8	73.2	69.0	97.0	80.0	136.0
65	1967	59.5	54.0	18.4	32.0	31.0	46.3	80.0	54.7	66.0	68.2	65.0	105.5	42.0	76.3	98.0	100.0	69.0	40.0	64.3	121.7	77.5	80.5	126.5	75.0
66	1968	66.4	48.0	0.7	39.0	53.2	110.0	118.0	30.4	64.0	51.3	112.0	64.0	49.0	22.8	36.0	46.0	38.0	76.0	55.3	67.0	76.5	74.5	40.0	78.0
67	1969	62.4	49.5	21.5	50.0	49.5	59.2	62.0	46.3	36.0	80.5	119.5	75.5	19.0	20.3	25.1	20.0	24.0	40.5	34.3	53.0	102.5	140.6	93.5	176.0
68	1970	65.0	48.0	56.0	32.0	31.5	57.6	56.0	38.8	52.0	50.5	62.0	45.0	98.0	40.5	28.0	32.5	55.0	42.7	24.1	108.0	40.5	162.0	89.0	75.0
69	1971	48.6	46.5	28.0	42.6	84.5	102.0	75.0	28.5	57.0	84.1	161.0	57.5	58.0	10.2	23.5	47.0	44.0	70.0	30.0	85.0	144.5	107.0	155.0	100.0
70	1972	60.0	45.0	68.0	42.6	44.2	49.0	88.0	29.4	62.0	68.1	48.2	95.0	54.0	20.0	111.5	105.0	48.0	125.0	9.2	62.7	43.5	55.8	68.5	115.0
71	1973	51.5	50.0	17.0	42.6	29.0	45.0	108.0	32.5	52.0	100.1	59.0	55.0	40.7	28.2	20.0	67.0	64.0	65.3	30.2	66.2	67.5	208.0	93.5	110.0
72	1974	71.0	44.0	33.5	45.0	36.5	63.0	90.0	41.3	64.0	80.5	75.5	129.0	35.5	30.0	66.0	65.0	40.0	58.8	23.7	71.0	118.5	224.4	35.5	160.0
73	1975	69.0	65.0	12.0	39.0	47.5	48.0	69.0	31.2	65.0	261.0	38.0	93.5	35.4	17.5	22.0	32.0	38.0	48.6	26.7	71.5	59.5	112.5	119.0	108.5
74	1976	48.2	58.5	37.0	52.0	41.5	55.0	60.0	36.7	35.5	160.0	73.5	42.0	29.0	48.9	23.5	213.5	45.0	59.5	41.8	43.0	84.5	108.5	100.0	49.0
75	1977	58.5	50.0	31.5	45.0	25.2	43.0	42.0	31.2	42.5	80.5	49.8	28.0	33.9	49.2	35.0	88.5	46.0	50.2	39.3	46.5	45.5	101.5	105.0	49.0
76	1978	34.5	85.5	105.0	28.2	32.0	46.0	87.0	42.3	34.5	160.0	67.0	73.0	45.3	40.0	25.0	95.0	42.0	51.0	46.3	83.0	150.0	122.5	159.0	80.0
77	1979	39.7	67.0	38.0	34.0	35.0	64.5	65.0	36.4	62.0	80.0	67.9	200.0	46.0	18.9	6.0	125.0	38.0	29.0	52.4	47.0	61.5	173.3	72.0	65.0

Evaluación de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación

78	1980	35.9	63.5	25.0	30.0	61.0	51.5	45.0	51.4	55.0	100.0	57.0	172.0	40.0	63.2	27.0	45.3	42.0	78.0	54.2	110.0	73.0	170.0	65.0	100.0
79	1981	71.5	45.0	21.0	47.0	49.0	50.0	188.5	34.3	48.0	80.0	89.5	140.0	33.5	23.2	20.0	162.5	38.0	38.5	49.8	85.0	112.5	177.5	85.0	190.0
80	1982	56.0	58.5	19.0	32.5	15.5	60.0	60.0	25.2	62.0	100.0	55.4	105.0	49.4	31.1	8.5	243.8	45.0	40.0	64.2	53.6	62.0	45.0	87.5	63.0
81	1983	44.8	120.0	38.5	23.5	19.0	80.0	69.5	46.3	51.0	60.0	112.5	56.0	50.4	65.8	36.2	39.0	45.0	51.2	41.8	71.9	49.5	83.5	65.5	164.0
82	1984	36.2	28.5	58.0	25.0	43.8	55.5	96.0	42.3	74.0	140.0	83.5	98.0	48.4	33.4	53.0	41.8	45.0	42.7	60.0	64.5	77.5	160.5	79.5	124.5
83	1985	48.5	55.0	15.0	49.4	44.5	55.0	76.4	43.0	80.0	100.0	50.5	129.0	41.9	42.0	38.4	54.1	39.0	52.5	52.0	84.2	99.5	90.6	100.0	115.5
84	1986	56.5	48.5	30.0	38.0	38.0	49.5	44.5	43.0	70.0	100.0	91.5	67.0	52.5	30.9	50.0	72.8	0.0	62.5	48.8	67.0	149.0	60.5	106.0	85.0
85	1987	32.0	23.0	2.0	57.5	28.0	69.6	88.7	44.0	60.0	69.0	65.0	59.0	100.8	51.0	16.0	36.3	25.4	26.5	70.8	65.5	74.0	55.6	87.5	120.0
86	1988	59.0	60.0	36.5	46.0	64.0	63.0	42.0	44.0	86.0	62.0	51.0	49.0	34.3	30.0	15.0	81.5	54.0	49.6	102.7	90.5	103.0	177.7	137.5	72.0
87	1989	49.8	65.0	17.0	36.5	33.5	56.4	57.8	33.5	46.0	100.0	54.0	34.0	63.2	23.3	36.0	43.0	47.5	41.0	32.2	65.1	22.5	137.7	78.0	95.0
88	1990	92.0	55.0	35.0	56.5	41.5	42.3	80.0	43.5	30.0	82.0	174.0	28.0	66.4	16.4	56.0	65.5	45.0	52.5	50.8	83.2	62.0	79.5	60.5	62.0
89	1991	51.8	23.0	45.0	46.0	36.0	45.1	48.0	43.5	90.0	40.0	120.0	35.0	66.0	68.5	22.0	124.0	49.4	50.0	81.8	94.0	58.5	98.8	85.0	100.0
90	1992	60.0	35.0	61.0	47.5	33.0	74.0	71.0	57.0	50.0	52.0	150.0	37.0	58.0	36.0	60.0	76.5	41.0	60.0	40.3	111.7	69.0	68.8	70.5	35.0
91	1993	35.0	36.0	61.0	42.0	55.0	83.0	37.0	50.1	45.0	65.0	114.5	31.0	35.0	86.9	100.0	120.0	41.8	34.5	81.5	59.2	63.0	160.0	53.5	110.0
92	1994	53.5	45.0	95.0	30.0	45.6	47.0	44.5	60.1	60.0	51.5	103.0	34.0	46.5	22.4	40.5	49.0	25.2	34.5	55.6	64.5	60.0	110.1	83.0	115.0
93	1995	60.0	6.7	22.8	40.0	22.8	50.0	111.0	33.1	46.0	51.0	91.0	98.0	32.0	61.8	29.0	95.5	38.0	47.5	40.9	40.7	56.0	170.6	71.0	60.0
94	1996	65.9	78.0	13.0	23.0	43.5	78.0	86.0	25.5	70.0	62.0	68.0	32.0	31.0	21.8	54.0	81.2	32.0	46.5	35.7	78.6	59.5	114.5	67.5	85.0
95	1997	52.3	43.0	34.5	32.0	24.5	52.0	182.5	22.0	65.0	65.0	138.0	28.0	40.0	41.5	21.6	122.3	47.5	33.0	44.0	60.3	74.0	231.8	71.0	90.0
96	1998	37.0	46.0	86.5	50.0	25.5	51.0	57.0	46.5	73.0	67.0	54.0	27.0	36.5	53.8	81.0	340.5	71.0	37.0	75.8	53.9	38.0	143.0	144.5	96.0
97	1999	65.9	37.0	11.0	12.5	22.5	56.0	84.5	47.5	77.0	46.5	81.0	122.0	40.0	20.0	13.4	63.0	24.0	47.0	62.0	87.8	127.5	251.3	101.5	96.0
98	2000	40.0	54.0	38.5	41.0	34.0	105.0	40.5	46.2	70.0	47.0	58.0	108.0	52.5	31.8	18.4	48.3	48.0	36.0	63.0	38.2	69.5	95.2	53.0	105.0
99	2001	54.0	33.0	215.0	55.0	58.9	58.5	44.0	47.0	49.0	74.0	141.0	40.0	54.5	37.6	18.5	173.0	42.0	54.2	48.0	47.9	55.5	128.2	94.2	76.5
100	2002	50.6	26.0	20.0	42.0	44.0	44.0	52.0	40.0	158.0	65.2	63.5	23.0	58.5	16.8	8.4	93.0	51.2	42.0	72.0	62.9	101.0	107.8	104.0	68.0
101	2003	37.0	26.0	94.0	45.0	92.5	71.2	117.0	55.0	50.0	60.0	63.5	23.0	54.0	36.5	23.6	99.0	53.0	66.0	68.6	51.2	180.0	122.5	105.5	120.0
102	2004	53.2	15.0	60.0	51.0	68.9	51.3	100.0	90.0	82.3	73.0	84.5	97.2	45.5	90.0	36.6	100.0	49.5	36.3	56.9	88.9	217.0	81.4	115.5	40.0
103	2005	65.0	45.0	18.0	38.0	37.5	46.6	60.0	28.0	44.9	65.0	41.1	97.3	29.7	29.6	23.0	61.6	44.6	35.1	66.6	57.0	128.5	164.2	119.5	16.0
104	2006	43.6	43.0	209.0	27.0	54.4	41.4	82.5	47.2	75.0	67.5	74.3	97.5	54.5	17.3	83.4	95.4	12.2	43.2	49.8	49.1	128.0	60.0	71.0	92.6
105	2007	49.0	71.0	29.0	30.0	36.5	68.2	102.0	47.2	67.0	53.5	189.5	193.0	33.0	24.0	17.5	100.1		33.0	76.5	62.7	77.7	96.0	101.8	36.0
106	2008	61.4	55.0	130.0	48.0	38.0	95.5	89.0	47.2	51.0	47.5	109.0	96.0	53.0	87.0	165.0	48.0		43.7		62.8	71.5	146.6	88.9	114.0
107	2009	80.0	43.0	305.0	42.0	59.1	62.0	51.0	47.2	83.0	90.5	61.5	65.0	35.5	59.4	193.9	67.0		54.5		77.8	41.5	79.2	80.5	36.0
108	2010	31.2	50.0	12.0	70.0	43.7	110.8	57.0	47.3		45.3	61.0	63.0	40.0	52.1	10.4	41.5		73.0		65.1	166.5	212.8	88.0	180.0
109	2011	33.2	38.0	125.0	57.0	37.8	64.4	66.5	0.0		58.2	0.0	77.0	44.0	56.0	21.7	29.2		45.0		53.6	52.0	115.6	64.0	
110	2012	6.5	6.0	54.5	47.0	40.0	84.2	45.0	39.0		50.2			46.5	21.4	45.4	45.3		50.9		46.0			37.0	
111	2013				16.0	2.5		116.0	85.0		53.2			47.0					6.7					93.0	
n		110	110	92	92	92	92	92	91	86	89	85	90	81	84	75	76	75	77	86	79	79	75	83	87
Media		51.6	46.1	43.2	52.0	41.7	58.5	72.5	40.3	59.9	69.7	79.5	92.4	44.6	32.4	37.6	82.3	42.9	46.9	62.7	62.5	78.0	117.2	88.2	92.5
Desv. Est.		16.6	38.3	48.7	16.6	17.0	18.9	27.9	19.4	19.8	33.4	33.1	50.9	15.1	19.0	33.3	54.2	12.5	17.4	34.0	19.9	36.0	53.7	38.6	55.3
Varianza		276.4	1,469.6	2,368.8	276.1	288.5	357.5	777.8	376.5	393.4	1,117.7	1,096.9	2,586.4	228.9	362.7	1,111.2	2,933.9	156.5	301.7	1,152.7	397.2	1,297.3	2,880.9	1,491.8	3,058.6
C. asimetría		1.1	3.0	2.9	1.4	0.4	0.9	1.7	2.6	2.2	2.8	1.2	0.8	0.9	1.2	2.5	2.2	-0.4	0.8	3.8	0.8	1.5	1.1	1.4	3.0
Curtosis		9.6	15.0	14.1	10.7	4.1	4.7	7.5	15.5	10.7	15.6	4.8	3.1	6.6	4.3	11.4	10.0	4.6	8.3	22.1	3.7	5.7	4.8	6.3	19.2

3.2.2 Pruebas de calidad

Para realizar el análisis de frecuencias de las series de precipitación máxima anual, la teoría estadística sugiere que es necesario cumplir con algunas pruebas de calidad para garantizar la independencia y la homogeneidad de la misma.

3.2.2.1 Prueba de independencia

Una serie hidrológica es independiente cuando se demuestra que es una variable aleatoria. Para probar lo anterior, existen distintas pruebas, entre ellas la prueba de Anderson (Salas, 1988), la cual se basa en la determinación del coeficiente de autocorrelación r_k^j para diferentes tiempos (ecuación 3.9).

Cuando se analiza una sola serie hidrológica ($j=1$), la ecuación para calcularlo es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (x_i^j - \bar{x}^j)(x_{i+k}^j - \bar{x}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (x_i^j - \bar{x}^j)^2} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde j es la serie hidrológica, k el tiempo de retraso, n_j el número de datos de la serie j y \bar{x}^j la media de la serie hidrológica j .

Los límites al 95 % de confianza para r_k^j se pueden obtener con la siguiente ecuación (ecuación 3.10).

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n_j - k - 1}}{n_j - 1} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Los resultados de aplicar la prueba de independencia de Anderson para la serie hidrológica con más de 100 años de la estación 13012 Huichapan Hidalgo (tabla 3.2 y figura 3.1), 90 años de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato (tabla 3.3 y figura 3.2) y 80 años de la estación 30163 Soledad de doblado, Veracruz (tabla 3.4 y figura 3.3) se muestran a continuación. Además en la tabla 3.5 se muestra un resumen de resultados de la aplicación de la prueba de independencia a todas las estaciones seleccionadas.

Tabla 3.2. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

k	Límite inferior	r_k	Límite superior
1	-0.196	0.336	0.178
2	-0.197	0.174	0.178
3	-0.198	0.082	0.179
4	-0.199	-0.023	0.180
5	-0.200	-0.030	0.181
6	-0.201	-0.096	0.182
7	-0.202	-0.038	0.182
8	-0.203	-0.042	0.183
9	-0.204	-0.036	0.184
10	-0.205	-0.037	0.185
11	-0.206	-0.009	0.186
12	-0.207	-0.075	0.187
13	-0.208	-0.022	0.188
14	-0.209	-0.044	0.189
15	-0.211	-0.071	0.190
16	-0.212	-0.005	0.190
17	-0.213	0.234	0.191
18	-0.214	0.177	0.192
19	-0.215	0.095	0.193
20	-0.217	0.055	0.194
21	-0.218	0.042	0.195
22	-0.219	0.023	0.196
23	-0.220	-0.025	0.197
24	-0.222	0.020	0.198
25	-0.223	0.007	0.200
26	-0.224	-0.054	0.201
27	-0.226	-0.045	0.202
28	-0.227	0.025	0.203
29	-0.229	-0.006	0.204
30	-0.230	-0.002	0.205
31	-0.232	0.015	0.206
32	-0.233	0.007	0.208
33	-0.235	-0.053	0.209
34	-0.237	-0.072	0.210
35	-0.238	-0.015	0.211
36	-0.240	0.022	0.213
37	-0.242	0.035	0.214

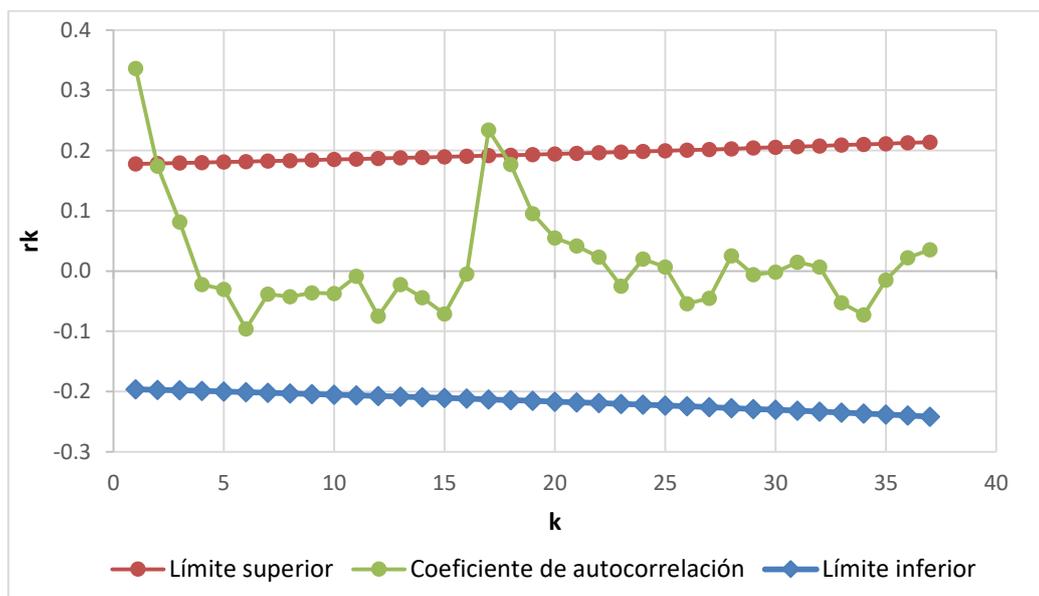


Figura 3.1. Correlograma de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Tabla 3.3. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

k	Límite inferior	r_k	Límite superior
1	-0.215	-0.036	0.193
2	-0.217	0.027	0.194
3	-0.218	0.051	0.195
4	-0.219	0.107	0.196
5	-0.220	-0.124	0.197
6	-0.222	0.103	0.198
7	-0.223	-0.018	0.200
8	-0.224	0.037	0.201
9	-0.226	0.053	0.202
10	-0.227	0.046	0.203
11	-0.229	-0.056	0.204
12	-0.230	0.032	0.205
13	-0.232	-0.113	0.206
14	-0.233	0.025	0.208
15	-0.235	0.133	0.209
16	-0.237	0.058	0.210
17	-0.238	-0.137	0.211
18	-0.240	0.063	0.213
19	-0.242	0.010	0.214
20	-0.243	-0.048	0.215
21	-0.245	-0.056	0.217
22	-0.247	0.062	0.218
23	-0.249	-0.050	0.220
24	-0.251	0.017	0.221
25	-0.253	-0.016	0.223
26	-0.255	-0.064	0.224
27	-0.257	-0.009	0.226
28	-0.259	-0.052	0.227
29	-0.261	0.021	0.229
30	-0.263	-0.004	0.231
31	-0.265	-0.031	0.232

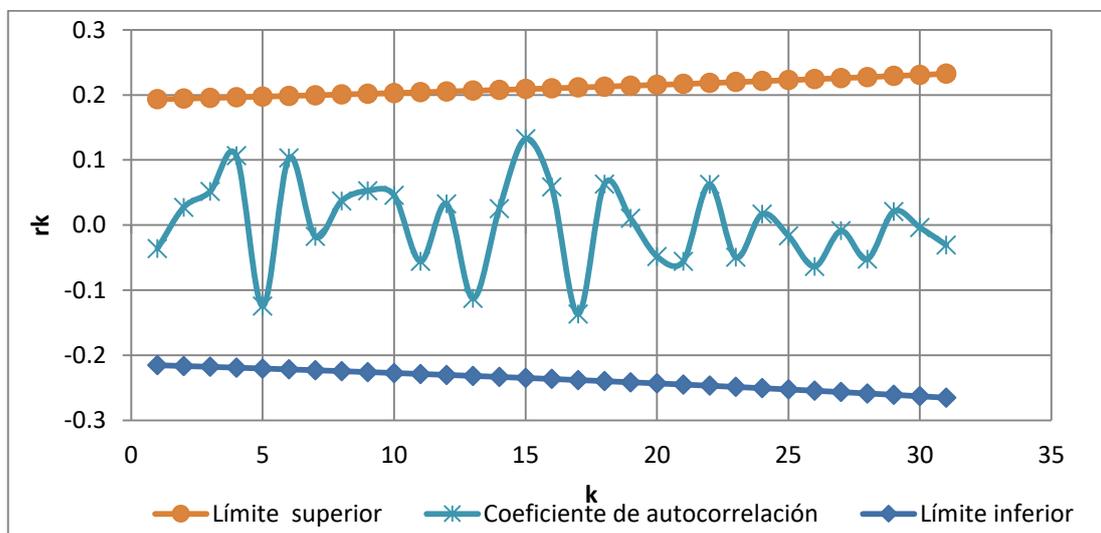


Figura 3.2. Correlograma de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Tabla 3.4. Coeficiente de correlación y límites de confianza al 95 % de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

k	Límite inferior	r_k	Límite superior
1	-0.222	0.164	0.198
2	-0.223	0.057	0.200
3	-0.224	0.004	0.201
4	-0.226	-0.043	0.202
5	-0.227	-0.128	0.203
6	-0.229	-0.048	0.204
7	-0.230	0.087	0.205
8	-0.232	0.063	0.206
9	-0.233	0.142	0.208
10	-0.235	0.195	0.209
11	-0.237	-0.047	0.210
12	-0.238	0.072	0.211
13	-0.240	-0.087	0.213
14	-0.242	-0.098	0.214
15	-0.243	0.022	0.215
16	-0.245	-0.030	0.217
17	-0.247	-0.007	0.218
18	-0.249	-0.106	0.220
19	-0.251	0.113	0.221
20	-0.253	0.057	0.223
21	-0.255	-0.090	0.224
22	-0.257	-0.110	0.226
23	-0.259	-0.134	0.227
24	-0.261	-0.106	0.229
25	-0.263	-0.076	0.231
26	-0.265	-0.133	0.232
27	-0.268	0.103	0.234
28	-0.270	-0.033	0.236
29	-0.272	0.180	0.238

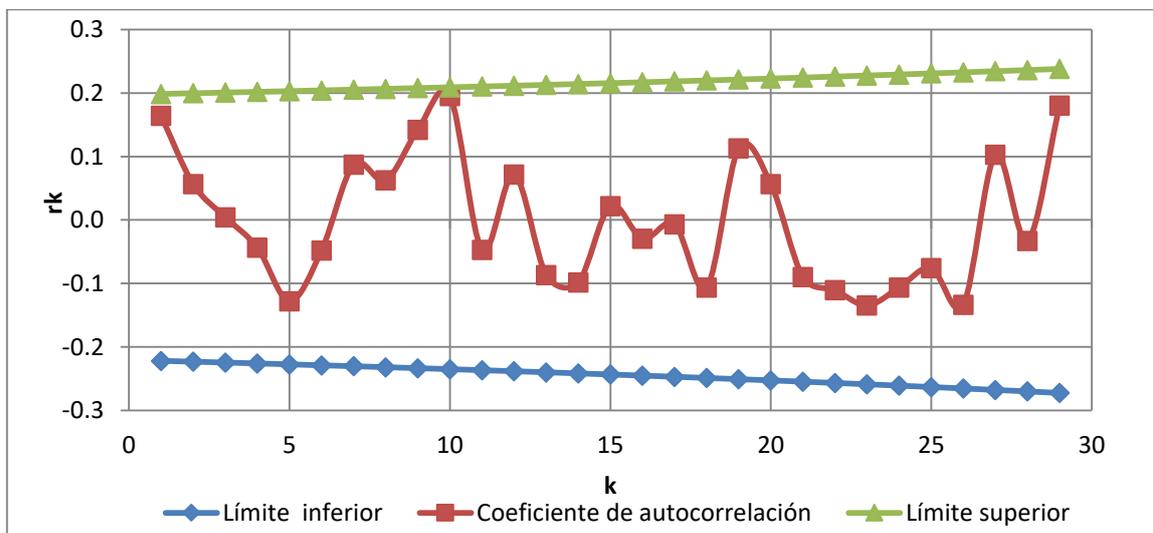


Figura 3.3. Correlograma de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Tabla 3.5. Resumen de las pruebas de independencia.

Número	Clave	Nombre	Estado	Prueba de Anderson
1	11028	Irapuato	Guanajuato	Independiente
2	13012	Huichapan	Hidalgo	Independiente
3	3038	Mulege	Baja California Sur	Independiente
4	11050	Ocampo	Guanajuato	Independiente
5	13013	Ixmiquilpan (SMN)	Hidalgo	Independiente
6	14096	Mascota (SMN)	Jalisco	Independiente
7	16007	Apatzingán (SMN)	Michoacán	Independiente
8	16027	Cuitzeo	Michoacán	Independiente
9	18002	Ahuacatlan	Nayarit	Independiente
10	21063	Piaxtla	Puebla	Independiente
11	26075	Quiriego (SMN)	Sonora	Independiente
12	30211	Las vigas	Veracruz	Independiente
13	1018	Presa Plutarco Elías Calles	Aguascalientes	Independiente
14	2038	Presa Rodríguez	Baja California Sur	Independiente
15	3029	La Purísima	Baja California Sur	Independiente
16	3062	Santiago	Baja California Sur	Independiente
17	10027	Francisco I. Madero	Durango	Independiente
18	11052	Pericos	Guanajuato	Independiente
19	12047	Iguala (SMN)	Guerrero	Independiente
20	14040	Chapala	Jalisco	Independiente
21	19024	Anáhuac	Nuevo León	Independiente
22	20048	Juchitán de Zaragoza	Oaxaca	Independiente
23	28086	San Fernando	Tamaulipas	Independiente
24	30163	Soledad de doblado	Veracruz	Independiente

3.2.2.2 Pruebas de homogeneidad

Una serie hidrológica se considera homogénea si es una muestra de una única población. Si la serie es no homogénea, se le deben hacer ajustes o correcciones para volverla homogénea, de manera que las estimaciones estadísticas muestrales sean estimaciones válidas de los parámetros poblacionales.

En los análisis meteorológicos se utiliza el termino homogeneidad de la serie y en los análisis hidrológicos se emplea el termino consistencia de la serie, ambos términos son sinónimos pues indican un cambio en la cantidad de lluvia medida por la estación, por alguna causa; sin embargo, existe una diferencia que se debe a las técnicas empleadas para investigar la homogeneidad o la consistencia, esto es, la homogeneidad comúnmente se analiza a través de pruebas estadísticas y en cambio, la consistencia por lo general se detecta con la técnica de la curva masa doble.

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o en la varianza, cuando ocurren saltos negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad.

En general, la falta de homogeneidad de los datos es inducida por las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación. También es producto de los procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas y erupciones volcánicas.

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla, entre ellas, la prueba estadística de Helmer, la prueba estadística t de Student y la prueba estadística de Cramer (Escalante y Reyes, 2005).

Prueba estadística de Helmer

Esta prueba consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie respecto a su valor medio. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, se dice que ha ocurrido una secuencia (S), en caso contrario ha ocurrido un cambio (C). Para que una serie sea homogénea, la diferencia entre el número de secuencias y cambios debe estar dentro de los límites de un cierto error probable, el cual se calcula con la ecuación 3.11.

$$-\sqrt{n-1} < |S - C| < \sqrt{n-1} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Donde n es el número de eventos o registros de la muestra por analizar.

En las tablas 3.6, 3.7 y 3.8 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento descrito a las series de precipitación máxima anual con 100 años (13012 Huichapan, Hidalgo), 90 años (11050 Ocampo, Guanajuato) y 80 años (30163 Soledad de doblado, Veracruz) respectivamente.

Un resumen de los resultados obtenidos de aplicar la prueba estadística de Helmer a las 24 estaciones seleccionadas se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.6. Prueba de homogeneidad de Helmert, estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

No.	P_{MA} (mm)	$P_{MA} - \bar{P}_{MA}$ (mm)	
1	219.0	173.4	
2	76.3	30.7	S
3	182.6	137.0	S
4	112.3	66.7	S
5	26.7	-18.9	C
6	39.0	-6.6	S
7	40.7	-4.9	S
8	49.7	4.1	C
9	30.3	-15.3	C
10	38.0	-7.6	S
11	10.5	-35.1	S
12	40.0	-5.6	S
13	40.1	-5.5	S
14	0.0	-45.6	S
15	7.3	-38.3	S
16	38.0	-7.6	S
17	1.8	-43.8	S
18	4.3	-41.3	S
19	2.5	-43.1	S
20	250.0	204.4	C
21	170.0	124.4	S
22	42.0	-3.6	C
23	62.0	16.4	C
24	20.0	-25.6	C
25	35.5	-10.1	S
26	25.5	-20.1	S
27	20.0	-25.6	S
28	25.5	-20.1	S
29	40.6	-5.0	S
30	40.0	-5.6	S
31	56.5	10.9	C
32	32.2	-13.4	C
33	20.0	-25.6	S
34	30.0	-15.6	S
35	54.2	8.6	C
36	24.0	-21.6	C
37	28.0	-17.6	S

No.	P_{MA} (mm)	$P_{MA} - \bar{P}_{MA}$ (mm)	
38	37.0	-8.6	S
39	53.6	8.0	C
40	54.0	8.4	S
41	65.4	19.8	S
42	69.5	23.9	S
43	20.0	-25.6	C
44	74.0	28.4	C
45	60.0	14.4	S
46	35.0	-10.6	C
47	9.0	-36.6	S
48	35.0	-10.6	S
49	36.0	-9.6	S
50	30.0	-15.6	S
51	50.0	4.4	C
52	20.0	-25.6	C
53	8.4	-37.2	S
54	2.8	-42.8	S
55	3.0	-42.6	S
56	3.5	-42.1	S
57	4.8	-40.8	S
58	25.0	-20.6	S
59	31.0	-14.6	S
60	28.4	-17.2	S
61	41.6	-4.0	S
62	38.0	-7.6	S
63	48.0	2.4	C
64	59.5	13.9	S
65	54.0	8.4	S
66	48.0	2.4	S
67	49.5	3.9	S
68	48.0	2.4	S
69	46.5	0.9	S
70	45.0	-0.6	C
71	50.0	4.4	C
72	44.0	-1.6	C
73	65.0	19.4	C
74	58.5	12.9	S

No.	P_{MA} (mm)	$P_{MA} - \bar{P}_{MA}$ (mm)	
75	50.0	4.4	S
76	85.5	39.9	S
77	67.0	21.4	S
78	63.5	17.9	S
79	45.0	-0.6	C
80	58.5	12.9	C
81	120.0	74.4	S
82	28.5	-17.1	C
83	55.0	9.4	C
84	48.5	2.9	S
85	23.0	-22.6	C
86	60.0	14.4	C
87	65.0	19.4	S
88	55.0	9.4	S
89	23.0	-22.6	C
90	35.0	-10.6	S
91	36.0	-9.6	S
92	45.0	-0.6	S
93	6.7	-38.9	S
94	78.0	32.4	C
95	43.0	-2.6	C
96	46.0	0.4	C
97	37.0	-8.6	C
98	54.0	8.4	C
99	33.0	-12.6	C
100	26.0	-19.6	S
101	26.0	-19.6	S
102	15.0	-30.6	S
103	45.0	-0.6	S
104	43.0	-2.6	S
105	71.0	25.4	C
106	55.0	9.4	S
107	43.0	-2.6	C
108	50.0	4.4	C
109	38.0	-7.6	C
110	6.0	-39.6	S
	$\bar{P}_{MA} =$	45.6	mm
	(S) =	70	
	(C) =	39	

$$-\sqrt{n-1} \leq |S - C| \leq \sqrt{n-1}$$

$$-10.4 \leq 30 \leq 10.4$$

Serie No homogénea

Prueba estadística t de Student

Cuando la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie hidrológica es un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t de Student es muy útil.

Se considera una serie P_i^j para $i= 1,2,\dots,n_j$, datos del sitio j, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1=n_2=n_j/2$, entonces el estadístico de prueba se define con la ecuación 3.12.

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Donde \bar{x}_1, S_1^2 son la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1 , \bar{x}_2, S_2^2 son la media y varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 .

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas, con $u=n_1+n_2-2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha=0.05$.

Sí y sólo si, el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student (Figura 3.4), se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie P_i^j se considera no homogénea (Escalante y Reyes, 2005)

La prueba estadística t de Student se aplicó a tres estaciones: estación 13012 Huichapan, Hidalgo, estación 11050 Ocampo, Guanajuato y la estación 30163 Soledad de doblado, Veracruz. Los resultados de éstas se presentan en la tabla 3.9 y en la tabla 3.11 se muestran los resultados para cada una de las 24 estaciones seleccionadas.

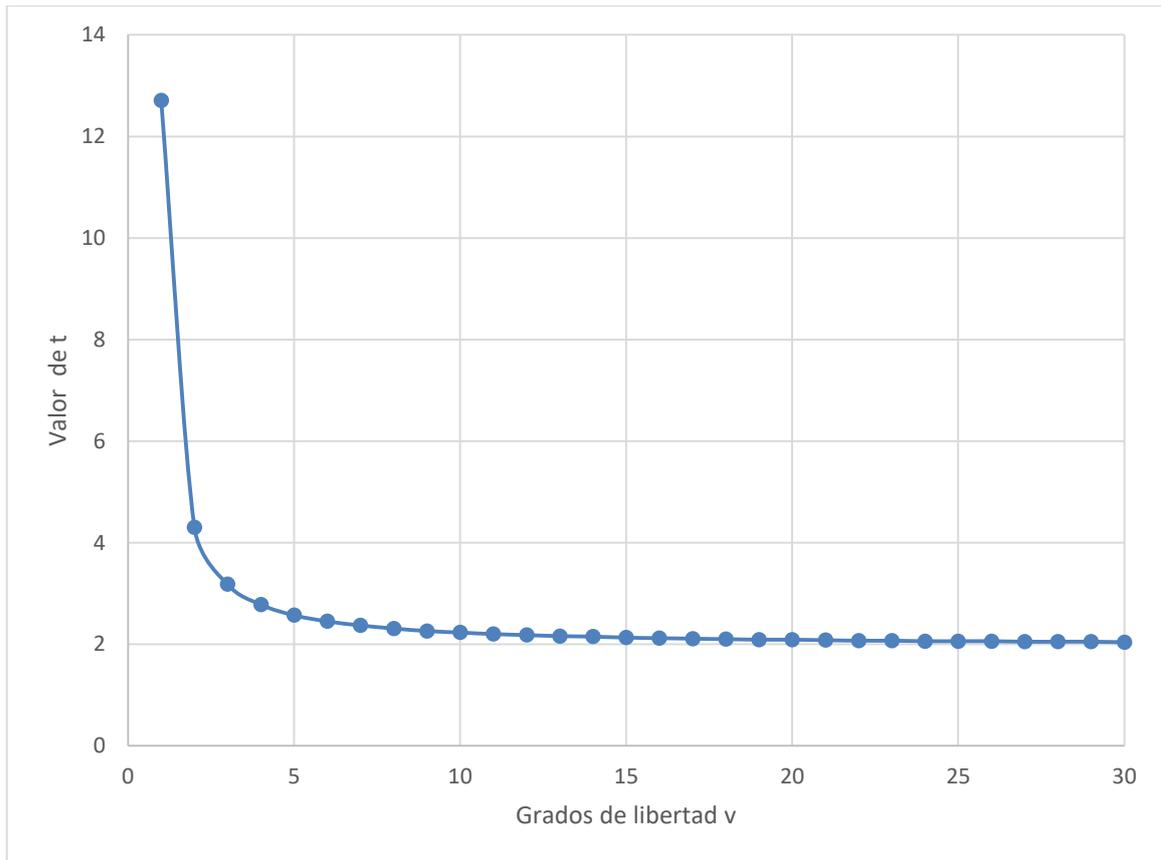


Figura 3.4. Función de distribución de probabilidad t de Student.

Tabla 3.9. Prueba estadística de homogeneidad t de Student.

Clave	Estación	Muestra		Submuestra 1			Submuestra 2			t_d	$t_{\alpha/2, 1-\alpha/2}$	Resultado
		n	Media (mm)	n_1	Media (mm)	Desviación estándar (mm)	n_2	Media (mm)	Desviación estándar (mm)			
13012	Huichapan	110	46.1	55	47.23	50.01	55	44.86	20.32	0.3225	2.04	Homogénea
11050	Ocampo	92	42.2	46	44.95	18.87	46	39.55	12.81	1.5891	2.04	Homogénea
30163	Soledad de Doblado	87	92.5	44	91.45	113.18	43	93.67	96.03	-0.09709	2.04	Homogénea

Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar la homogeneidad en el registro P_i^j de la serie j para $i=1,2,\dots,n_j$ datos, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques; el primero del tamaño total de la muestra n_j ; el segundo de tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n_j); y el tercero de tamaño n_{30} (30% de los últimos valores de la muestra n_j).

La prueba compara el valor de la precipitación media \bar{P}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{P}_{60}^j y \bar{P}_{30}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques (Escalante y Reyes, 2005)

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n_j-2)}{n_j-n_w[1+(\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j|, \text{ para } w=60 \text{ y } w=30 \tag{Ecuación 3.13}$$

$$\tau_w^j = \frac{\bar{P}_w^j - \bar{P}^j}{S_p^j} \tag{Ecuación 3.14}$$

$$\bar{P}_w^j = \sum_{k=1}^{n_w} \frac{P_k^j}{n_w} \tag{Ecuación 3.15}$$

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $u=n_1+n_2-2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha=0.05$.

Sí y sólo si, el valor absoluto de t_w , para $w=60$ y $w=30$, es mayor que el de la distribución t Student (figura 3.4), se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie P_i^j se considera no homogénea.

La prueba estadística de Cramer se aplico a 3 estaciones, una con más de 100 años de registro (estación 13012 Huichapan, Hidalgo), una con más de 90 años de registro (estación 11050 Ocampo, Guanajuato) y una estación con más de 80 años de registro (estación 30163 Soledad de doblado, Veracruz). Los resultados se muestran en la tabla 3.10 y en la tabla 3.11 se presenta un resumen de las 24 estaciones seleccionadas.

Tabla 3.10. Prueba estadística de homogeneidad de Cramer.

Clave	Estación	Muestra		Bloque 1			Bloque 2			t ₆₀	t ₃₀	t _{u,60}	t _{u,30}	Resultado
		n	Media (mm)	n ₁	Media (mm)	Desviación estándar (mm)	n ₂	Media (mm)	Desviación estándar (mm)					
13012	Huichapan	110	46.1	66	41.77	21.3	33	44.75	21.84	1.4294	0.2307	2.04	2.04	Homogénea
11050	Ocampo	92	42.2	56	42.04	17.03	36	39.34	14	0.1544	1.3943	2.04	2.04	Homogénea
30163	Soledad de Doblado	87	92.5	53	94.22	65.51	34	89.89	39.21	0.3504	0.3577	2.04	2.04	Homogénea

Tabla 3.11. Pruebas de homogeneidad.

Número	Clave	Nombre	Prueba de Helmert	Prueba t de Student	Prueba de Cramer
1	11028	Irapuato	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
2	13012	Huichapan	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
3	3038	Múgele	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
4	11050	Ocampo	Homogénea	Homogénea	Homogénea
5	13013	Ixmiquilpan (SMN)	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
6	14096	Mascota (SMN)	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
7	16007	Apatzingán (SMN)	Homogénea	Homogénea	Homogénea
8	16027	Cuitzeo	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
9	18002	Ahuacatlán	No Homogénea	Homogénea	No Homogénea
10	21063	Piactla	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
11	26075	Quiriego (SMN)	Homogénea	Homogénea	Homogénea
12	30211	Las vigas	Homogénea	No Homogénea	Homogénea
13	1018	Presa Plutarco Elías Calles	Homogénea	Homogénea	No Homogénea
14	2038	Presas Rodríguez	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
15	3029	La purísima	No Homogénea	Homogénea	No Homogénea
16	3062	Santiago	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
17	10027	Francisco I. Madero	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
18	11052	Pericos	Homogénea	Homogénea	Homogénea
19	12047	Iguala (SMN)	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
20	14040	Chapala	No Homogénea	Homogénea	No Homogénea
21	19024	Anáhuac	Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
22	20048	Juchitán de Zaragoza	Homogénea	Homogénea	Homogénea
23	28086	San Fernando	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
24	30163	Soledad de doblado	Homogénea	Homogénea	Homogénea

Para determinar si una serie es homogénea, al menos 2 de 3 pruebas de homogeneidad debe cumplir, de lo contrario se considera que la serie de datos es no homogénea.

De la tabla 3.11, se observa que las series de precipitación de las estaciones 3038 Mulege, 18002 Ahuacatlán, 21063 Piaxtla, 3029 La Purísima, 14040 Chapala y 19024 Anáhuac no cumplen con la condición anterior, pero para nuestro análisis se requieren de las mismas ya que son las estaciones con mayor registro en el país, por lo que serán consideradas. Desde el punto de vista estadístico, los datos de estas estaciones deberían analizarse más a fondo. Lo anterior consiste en analizar un cambio en la tendencia de los parámetros estadísticos, una forma de investigarlo sería a través de la curva masa doble.

3.2.3 Evolución de la precipitación media máxima anual

El objetivo del trabajo es conocer el error cometido al extrapolar los datos de precipitación, y dado que los modelos estadísticos que se utilizan dependen del tamaño de la serie y de los parámetros estadísticos, como la media y la desviación estándar, en este apartado se analizará la variación temporal de los mismos.

Si dichos valores tienden a un valor constante, ello podría indicar el número de años mínimo para realizar una extrapolación de datos.

La evolución temporal de éstos parámetros se obtuvo para la estación 13012 Huichapan, Hidalgo (figura 3.5), estación 11050 Ocampo, Guanajuato (Figura 3.6) y estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz (figura 3.7).

Además, y sólo para estas 3 estaciones se determinó la desviación estándar de la evolución temporal de la precipitación y la desviación estándar. En las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se presentan los resultados para las estaciones restantes.

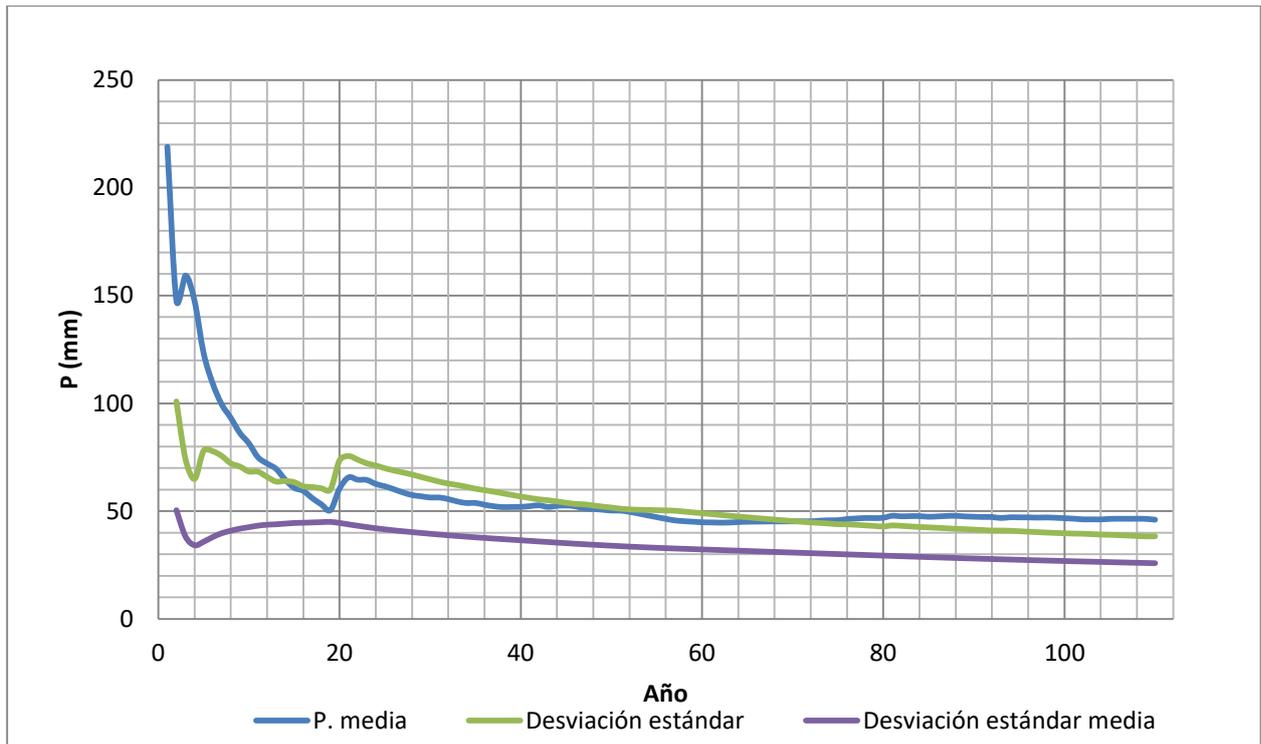


Figura 3.5. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

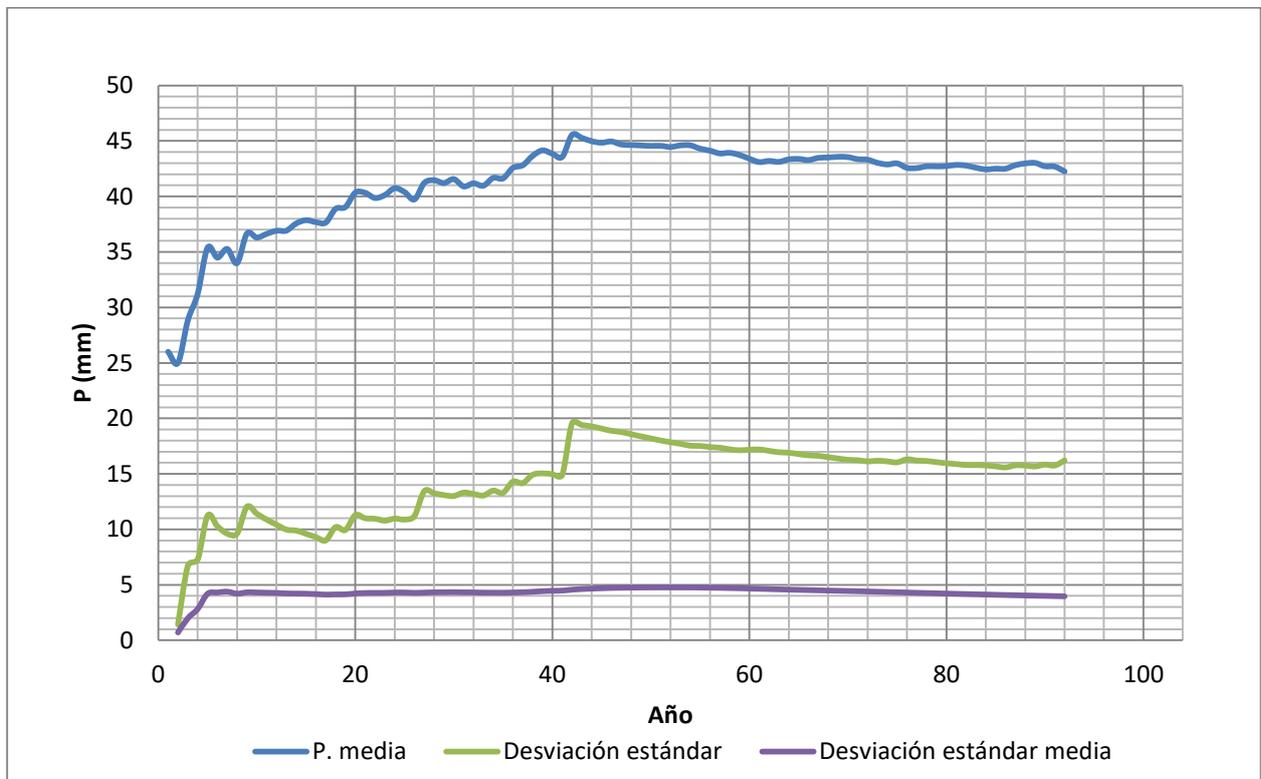


Figura 3.6. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

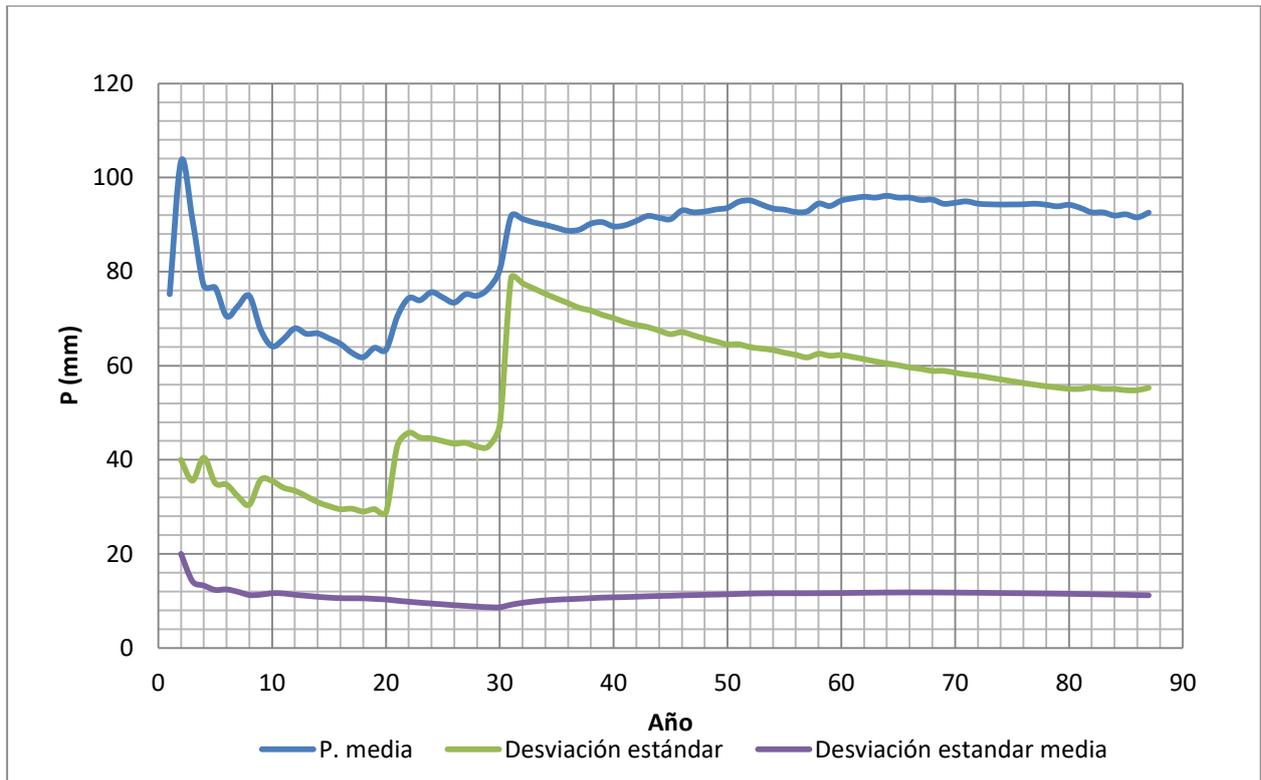


Figura 3.7. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual y desviación estándar de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

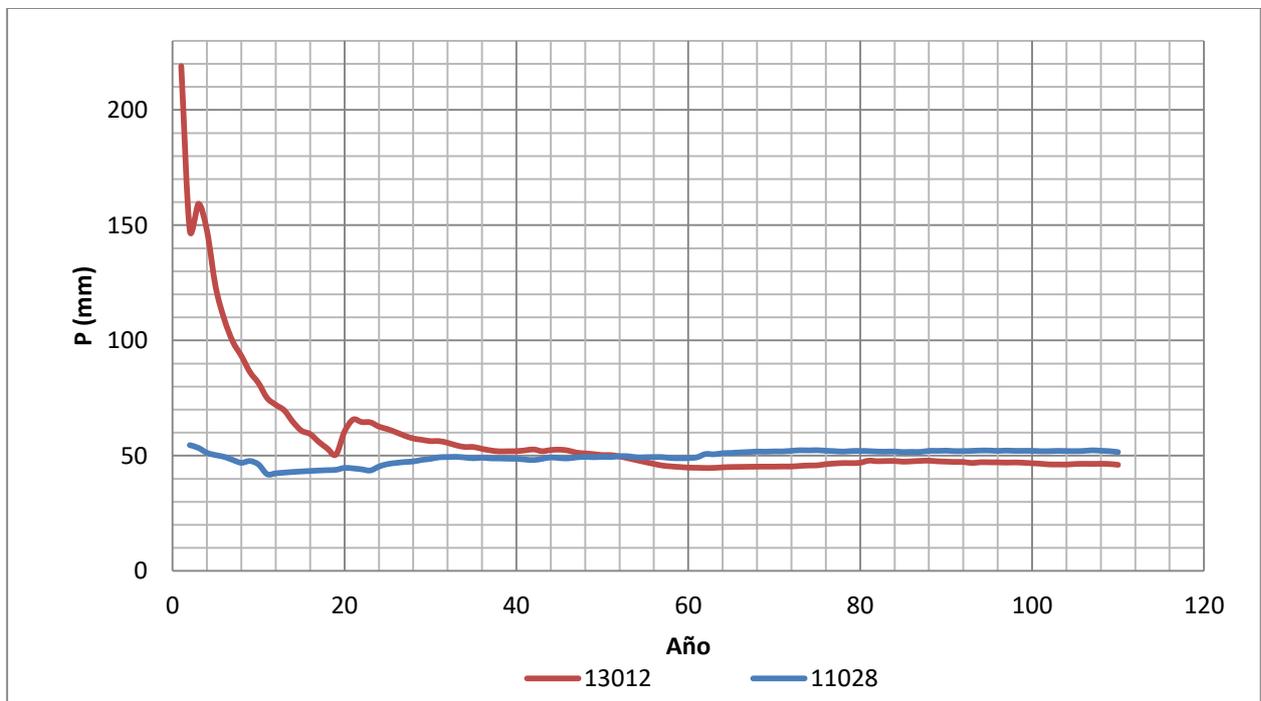


Figura 3.8. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 100 años.

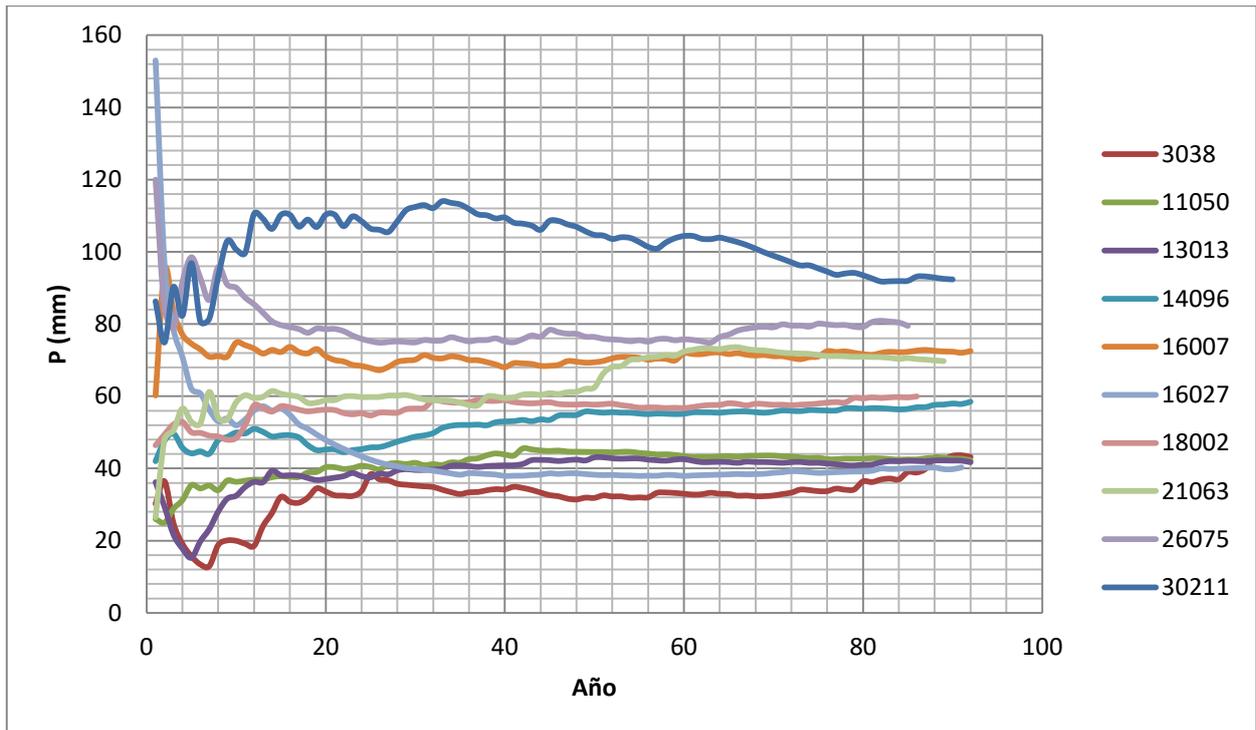


Figura 3.9. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 90 años.

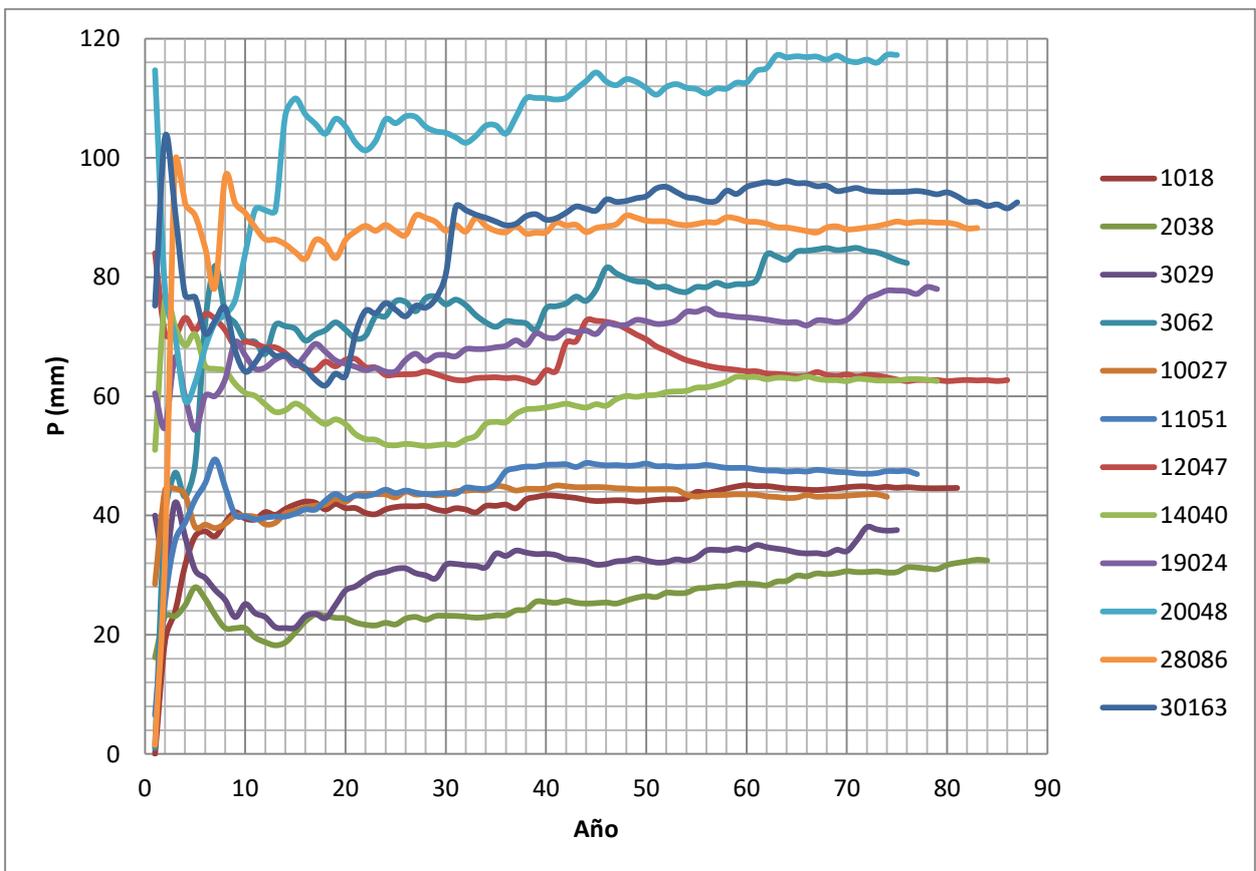


Figura 3.10. Evolución temporal de la precipitación media máxima anual de las estaciones con más de 80 años.

De los resultados, de forma general se puede apreciar que en la gran mayoría las estaciones tienden a un valor constante de la media. El número de años necesario para que ocurra lo anterior oscila entre 10 y 20 años.

En cambio, en otras estaciones (20048 y 3062) tienen un comportamiento ascendente lo cual posiblemente se refiere a un aumento de la precipitación habitual, mientras que las estaciones (30163 y 12047) tienen un cambio ascendente brusco el cual describe un comportamiento de inundaciones en los sitios donde se ubican las estaciones.

3.3 Muestras de precipitación

El número de años de registro de las estaciones bajo análisis va desde 80 a 100 años, por lo tanto, para realizar un análisis con mayor profundidad, se optó por subdividir cada serie en longitudes menores (20, 50 y 75 años), partiendo desde el inicio del registro.

Con esta subdivisión, se trata de analizar con detalle la evolución de la extrapolación de la precipitación para distintos periodos de retorno; esta extrapolación se llevará a cabo con el programa AX. (Jiménez, 1997).

Para tener una mayor confiabilidad en los resultados finales, sería necesario contar con series con longitud mayor a 100 años, para ello, la hidrología estocástica recomienda algunas técnicas para generar muestras sintéticas y aumentar el tamaño de la muestra.

3.4 Muestras sintéticas

Todos los fenómenos relacionados con la generación y distribución de la lluvia en nuestro planeta, y todas sus consecuencias directas como el escurrimiento superficial por las cuencas, la infiltración a las porciones más profundas del suelo y de manera especial el caudal de los ríos son procesos aleatorios, es decir, que tienen un cierto nivel de incertidumbre o una probabilidad de que sean igualados o excedidos en un número de años, y por lo tanto están gobernados por las leyes de la probabilidad. A los procesos gobernados por probabilidades se les llama estocásticos.

De manera que, si como resultado de un proceso matemático que ha sido establecido siguiendo principios de la física clásica para explicar un fenómeno natural, se obtiene un valor numérico, éste será y tiene carácter determinístico ya que ha seguido un proceso de ese tipo, pero se puede decir que es esencialmente estocástico, ya que el evento es de esa naturaleza.

Cualquier proceso de análisis hidrológico, relacionado a un lugar determinado o una región geográfica, supone el tener una serie de datos relacionados a la variable de interés precipitación, evaporación, caudales, etc.

La generación sintética de series de precipitación y otras variables de carácter hidrometeorológica es utilizada no sólo por los resultados en si, sino porque al estar intrínsecamente inmersos en el proceso, las variables que definen el propio proceso físico.

El problema de la hidrología es la insuficiencia de datos, sean de precipitación o, de manera más común, de caudales. En la mayoría de los casos, se asume que el futuro es estadísticamente similar al pasado. Este elemento es el que da sustento a la hidrología estocástica. La esencia básica para el análisis estocástico es que el proceso sea estacionario, es decir, que las propiedades estadísticas del proceso no varían en el tiempo. Así, las propiedades de los registros históricos se pueden utilizar para derivar series sintéticas largas.

Estas series deben mostrar propiedades estadísticas similares a aquéllas de la serie histórica, es decir de la serie que se conoce y, a partir de la cual se desea generar valores posteriores en el tiempo. Algunas propiedades de las series temporales hidrológicas pueden ser investigadas en un dominio temporal a través del análisis de correlogramas. Cuando ciertas “tendencias” se hayan detectado, estas deben ser quitadas de las series originales y, la serie de los residuales es la que se examina. Así, el interés se centra en la distribución de probabilidad de los elementos de la serie de residuales. La fuente por lo tanto es “la serie histórica”, y a partir de sus propiedades, se generarán las series probables en el futuro.

3.4.1 Series de tiempo

Se define a una serie de tiempo como “una secuencia de valores recogidos en el tiempo de una variable en particular” (Haan, 1977). Una serie de tiempo puede estar constituida sólo por eventos deterministas, estocásticos o una combinación de ambos.

Una serie de tiempo hidrológica generalmente está integrada por una componente determinística y una estocástica. La componente determinística puede ser clasificada como una tendencia, saltos, periodicidad o combinación de estas. Los intervalos de tiempo en las series de tiempo hidrológicas generalmente son del orden de horas, días, meses o años.

En el análisis de las series de tiempo hidrológicas, es de suma importancia el conocimiento de las características estadísticas, pues existe dependencia estadística en las series de tiempo provenientes del proceso físico. Se asumen dos tipos de dependencias estadísticas: dependencia temporal, que tiene relación con las características estadísticas de los valores de la serie en dos instantes de tiempo distintos y la dependencia espacial, la cual guarda relación con la correlación de la serie de datos en distintos lugares. Por lo tanto, es esencial conocer las características comunes de las series de tiempo hidrológicas.

Generación de muestras sintéticas

Las series de tiempo hidrológicas pueden ser univariadas, como la precipitación o escurrimiento anual o mensual en una estación de aforos, o multivariadas como la precipitación o escurrimiento anual o mensual en varias estaciones de aforos.

Las series univariadas se describen generalmente a través de sus características estadísticas como la media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis, distribución de probabilidad y de la estructura de dependencia en el tiempo (Salas, 1988).

Para la generación de muestras sintéticas existen distintos métodos entre ellos, AR (a) y ARMA (a,b). En este trabajo por sencillez se utilizará el modelo autorregresivo AR (a).

3.4.2 Modelos autorregresivos

Un modelo autorregresivo (AR) es una representación de un tipo de proceso aleatorio, que como tal, describe ciertos procesos de variables en el tiempo, ya sea en la naturaleza, la economía, etc. El modelo autorregresivo especifica que la variable de salida depende linealmente de sus propios valores anteriores.

Los modelos de este tipo son utilizados para escribir y predecir el comportamiento de series de tiempo, tal y como el caso de las lluvias máximas anuales. Es un caso especial del modelo más general ARMA de series de tiempo.

3.4.2.1 Modelo AR

La forma general del modelo es (Box, 1970):

$$z_t = \sum_{i=1}^p \phi_i z_{t-i} + \varepsilon_t = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j} + \sigma_\varepsilon \xi_t$$

Ecuación 3.16

Dónde p es el orden del modelo autorregresivo, z_t la variable estandarizada con la expresión $z_t = y_t - \bar{y}$, $t = 1, 2, \dots, n$, con $E[y_t] = \mu$ y $Var[y_t] = \sigma^2$, ε_t la serie de residuales que es independiente de y_t ,

con $E[\varepsilon_t] = 0$ y $Var[\varepsilon_t] = \sigma_\varepsilon^2$, σ_ε la desviación estándar de la serie de residuales ε_t , ξ_t la serie con distribución normal estándar $E[\xi_t] = 0$ y $Var[\xi_t] = 1$.

Las varianzas σ^2 y σ_ε^2 se relacionan como

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2 \left(1 - \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_j \right) \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde ϕ_j es el coeficiente autorregresivo, ρ_j el coeficiente de autocorrelación serial de la variable y_t .

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} + \dots + \phi_p \rho_{k-p} = \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_{|k-j|}, k > 0 \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Los parámetros $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ se estiman al resolver el sistema de p ecuaciones no lineales, donde los coeficientes ρ_j se sustituyen por los estimadores r_k y los parámetros ϕ_j .

$$r_k = \phi_1 r_{k-1} + \phi_2 r_{k-2} + \dots + \phi_p r_{k-p}, k > 0 \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Los parámetros $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ deben cumplir las condiciones de estacionariedad, esto es, si las raíces de la ecuación característica se ubican dentro del círculo unitario (Yevjevich, 1972).

$$u^p - \phi_1 u^{p-1} - \phi_2 u^{p-2} - \dots - \phi_p = 0 \quad \text{Ecuación 3.20}$$

La serie ξ_t se obtiene a través del procedimiento propuesto por (Muller, 1958), el cual consiste en proponer números aleatorios por parejas (u_1 y u_2) con distribución normal uniforme en el intervalo (0,1) y sustituirlos en las expresiones 3.18 y 3.19. Este procedimiento se deberá realizar tantas veces como el tamaño de la muestra.

$$\xi_1 = [2\ln(1/u_1)]^{1/2} \cos(2\pi u_2) \quad \text{Ecuación 3.21}$$

$$\xi_2 = [2\ln(1/u_1)]^{1/2} \cos(2\pi u_2) \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Una vez que se han obtenido los parámetros del modelo y se ha probado que cumplen las condiciones, se debe verificar que la serie de residuales ε_t tienen una distribución normal y es independiente.

$$\varepsilon_t = z_t - \sum_{i=1}^p \phi_i z_{t-i}, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad \text{Ecuación 3.23}$$

La normalidad se verifica considerando que el coeficiente de asimetría de los residuales $g_\varepsilon \approx 0$. La independencia se comprueba a través de la prueba de Anderson o utilizando la Prueba de Porte Manteau (Salas, 1988), la cual utiliza el estadístico:

$$Q = n \sum_{j=1}^L r_k^2(\varepsilon) \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Donde $r_k^2(\varepsilon)$ es el correlograma obtenido al aplicarla con su ecuación correspondiente, L el máximo retraso considerado ($L \approx 0.30n$).

El estadístico Q esta distribuido en forma Chi-cuadrada con L-p grados de libertad. Si para cierto nivel de confianza $Q < \chi^2_{(L-p)}$, entonces ε_t es independiente y el modelo es adecuado.

Para seleccionar el mejor modelo que describe el comportamiento de la serie de tiempo se utiliza el criterio de información de Akaike (Akaike, 1974).

$$CIA(\rho) = n \ln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + 2p \quad \text{Ecuación 3.25}$$

La mejor opción será aquel que proporcione el valor mínimo de CIA.

Modelo AR (1)

La forma del modelo es:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{Ecuación 3.26}$$

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad \text{Ecuación 3.27}$$

La función de autocorrelación es:

$$\rho_k = \phi_1^k, \quad k \geq 0 \quad \text{Ecuación 3.28}$$

El parámetro autorregresivo se estima como:

$$\hat{\phi}_1 = r_1 \quad \text{Ecuación 3.29}$$

Para cumplir la condición de estacionareidad se debe cumplir que:

$$-1 < \hat{\phi}_1 < 1 \quad \text{Ecuación 3.30}$$

$$-1 < \rho_1 < 1 \quad \text{Ecuación 3.31}$$

La serie de residuales se obtiene para $t=2,3,\dots,n$ con la siguiente expresión y se considera que $\varepsilon_1 = 0$.

$$\varepsilon_t = z_t - \hat{\phi}_1 z_{t-1} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

La varianza de los residuales se obtiene a partir de la expresión:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \sigma^2(1 - \hat{\phi}_1^2) \quad \text{Ecuación 3.33}$$

Donde σ^2 es la varianza de la serie normalizada y_t .

La versión insesgada de las anterior expresión se obtiene por:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{n}{(n-1)} \sigma^2(1 - \hat{\phi}_1^2) \quad \text{Ecuación 3.34}$$

Modelo AR (2)

La forma del modelo es (Escalante C. A., 2008):

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t \quad \text{Ecuación 3.35}$$

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad \text{Ecuación 3.36}$$

La función de autocorrelación es:

$$\rho_1 = \frac{\phi_1}{(1 - \phi_2)}, \quad k = 1 \quad \text{Ecuación 3.37}$$

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2}, \quad k > 1 \quad \text{Ecuación 3.38}$$

La expresión debe resolverse de forma recursiva considerando los valores $\rho_0 = 1$ y ρ_1 de la ecuación 3.37.

De acuerdo con la expresión 3.19, los parámetros autorregresivos se estiman como:

$$\hat{\phi}_1 = \frac{r_1(1 - r_2)}{1 - r_1^2} \quad \text{Ecuación 3.39}$$

$$\hat{\phi}_2 = \frac{r_2(1 - r_1^2)}{1 - r_1^2} \quad \text{Ecuación 3.40}$$

Para cumplir la condición de estacionareidad (3.20) se debe cumplir que:

$$\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2 < 1 \quad \text{Ecuación 3.41}$$

$$\hat{\phi}_2 - \hat{\phi}_1 < 1 \quad \text{Ecuación 3.42}$$

$$-1 < \hat{\phi}_2 < 1 \quad \text{Ecuación 3.43}$$

$$-1 < \rho_1 < 1 \quad \text{Ecuación 3.44}$$

$$\rho_1^2 < \frac{(1 + \rho_2)}{2} \quad \text{Ecuación 3.45}$$

La serie de residuales se obtiene para $t=2,3,\dots,n$ con la expresión 3.43 y se considera que $\varepsilon_1 = 0$ y $\varepsilon_2 = 0$.

$$\varepsilon_t = z_t - \hat{\phi}_1 z_{t-1} - \hat{\phi}_2 z_{t-2} \quad \text{Ecuación 3.46}$$

La varianza de los residuales se obtiene a partir de la expresión 3.21 como:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \sigma^2 \frac{(1 + \hat{\phi}_2)}{(1 - \hat{\phi}_2)} [(1 + \hat{\phi}_2)^2 - \hat{\phi}_1^2] \quad \text{Ecuación 3.47}$$

Donde σ^2 es la varianza de la serie normalizada y_t .

La versión insesgada de la expresión 3.44 se obtiene por:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{n}{(n-2)} \sigma^2 \frac{(1 + \hat{\phi}_2)}{(1 - \hat{\phi}_2)} [(1 - \hat{\phi}_2)^2 - \hat{\phi}_1^2] \quad \text{Ecuación 3.48}$$

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó a las estaciones: 13012 Huichapan, Hidalgo (100 años de registro), 11050 Ocampo, Guanajuato (90 años de registro) y 30163 Soledad de Doblado, Veracruz (80 años de registro) y se generaron las muestras necesarias para obtener una serie de 1,000 años de registro. Así, en las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 solamente se presentan 2 muestras de cada una de las 3 estaciones. Las muestras faltantes no se presentan debido a su gran cantidad de datos, pero sí se considera en los análisis posteriores. También se utilizó el mismo procedimiento con las estaciones restantes.

Tabla 3.12. Muestras sintéticas de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

m	MUESTRA ORIGINAL					MUESTRA 1					MUESTRA 10				
	Año	X	Y	Z	ϵ_t	u	ξ_t	Z _t	Y _t	X _t	u	ξ_t	Z _t	Y _t	X _t
1	1903	219	5.4	1.9	0.000	0.26	-1.0	-0.8	2.7	15.1	0.79	-0.6	-0.5	3.1	21.2
2	1904	76.3	4.3	0.8	-0.006	0.65	-1.3	-1.4	2.1	8.0	0.40	0.4	0.1	3.6	37.6
3	1905	183	5.2	1.7	1.335	0.74	0.3	-0.4	3.1	22.0	0.19	1.7	1.4	4.9	136.4
4	1906	112	4.7	1.2	0.461	0.19	0.7	0.4	3.9	49.5	0.06	0.7	1.2	4.7	107.8
5	1907	26.7	3.3	-0.2	-0.759	0.47	-1.1	-0.7	2.8	16.7	0.61	-0.6	0.0	3.5	33.8
6	1908	39	3.7	0.2	0.257	0.42	0.6	0.2	3.7	39.6	0.36	0.8	0.6	4.1	62.3
7	1909	40.7	3.7	0.2	0.132	0.64	-0.3	-0.2	3.3	27.5	0.60	-0.7	-0.3	3.2	24.8
8	1910	49.7	3.9	0.4	0.313	0.69	-0.9	-0.8	2.7	14.9	0.37	0.7	0.4	4.0	52.0
9	1911	30.3	3.4	-0.1	-0.271	0.63	0.1	-0.3	3.2	25.7	0.62	-0.6	-0.3	3.2	24.8
10	1912	38	3.6	0.1	0.175	0.77	-1.0	-0.9	2.6	13.7	0.36	0.8	0.5	4.0	54.3
11	1913	10.5	2.4	-1.2	-1.212	0.31	-0.9	-1.1	2.4	10.5	0.62	0.4	0.6	4.1	58.6
12	1914	40	3.7	0.2	0.697	0.64	-1.2	-1.5	2.0	7.5	0.18	0.9	1.0	4.5	86.2
13	1915	40.1	3.7	0.2	0.106	0.20	-1.8	-2.1	1.4	4.2	0.73	-0.4	0.1	3.6	36.0
14	1916	1	0.0	-3.5	-3.587	0.53	-0.4	-1.2	2.3	9.8	0.34	0.7	0.6	4.1	59.2
15	1917	7.3	2.0	-1.5	0.040	0.21	0.5	-0.2	3.3	28.4	0.06	-2.4	-1.7	1.8	6.3
16	1918	38	3.6	0.1	0.807	0.21	1.7	1.3	4.8	121.6	0.48	0.2	-0.5	3.0	19.2
17	1919	1.8	0.6	-2.9	-2.975	0.46	1.1	1.5	5.0	142.6	0.22	1.5	1.0	4.5	89.7
18	1920	4.3	1.5	-2.0	-0.750	0.92	-0.6	0.1	3.7	38.5	0.92	-0.8	-0.2	3.3	26.5
19	1921	2.5	0.9	-2.6	-1.679	0.52	-1.1	-0.9	2.7	14.2	0.09	-0.5	-0.5	3.0	20.3
20	1922	250	5.5	2.0	3.167	0.48	0.1	-0.3	3.2	24.9	0.71	-2.1	-1.9	1.6	4.8
21	1923	170	5.1	1.6	0.736	0.30	1.4	1.0	4.5	88.1	0.23	0.0	-0.8	2.7	14.4
22	1924	42	3.7	0.2	-0.491	0.08	0.7	1.0	4.5	92.1	0.25	1.7	1.0	4.5	90.9
23	1925	62	4.1	0.6	0.520	0.99	-0.1	0.4	3.9	48.3	0.14	-0.4	0.2	3.7	39.1
24	1926	20	3.0	-0.5	-0.785	0.42	0.1	0.2	3.7	41.0	0.28	1.9	1.6	5.1	171.0
25	1927	35.5	3.6	0.1	0.292	0.22	1.7	1.5	5.0	142.8	0.53	-0.6	0.3	3.8	44.0
26	1928	25.5	3.2	-0.3	-0.294	0.04	0.4	1.0	4.5	87.3	0.33	1.0	0.9	4.4	82.7
27	1929	20	3.0	-0.5	-0.390	0.29	-0.8	-0.2	3.3	27.5	0.80	0.4	0.7	4.2	68.9
28	1930	25.5	3.2	-0.3	-0.039	0.33	1.4	1.0	4.5	92.4	0.15	0.5	0.8	4.3	70.7
29	1931	40.6	3.7	0.2	0.318	0.59	0.7	1.0	4.6	94.8	0.69	0.6	0.8	4.3	74.1
30	1932	40	3.7	0.2	0.097	0.12	0.7	1.0	4.6	95.0	0.87	-0.6	-0.2	3.3	28.2
31	1933	56.5	4.0	0.5	0.448	0.07	2.2	2.3	5.8	320.1	0.80	-0.5	-0.4	3.1	21.5
32	1934	32.2	3.5	0.0	-0.267	0.96	-0.6	0.6	4.1	57.6	0.37	0.5	0.2	3.7	40.7
33	1935	20	3.0	-0.5	-0.494	0.82	0.6	0.7	4.2	67.9	0.29	0.2	0.3	3.8	43.0
34	1936	30	3.4	-0.1	0.123	0.07	0.3	0.5	4.0	56.1	0.23	1.6	1.4	4.9	130.4
35	1937	54.2	4.0	0.5	0.535	0.65	0.1	0.4	3.9	47.2	0.98	0.2	0.7	4.2	70.0
36	1938	24	3.2	-0.3	-0.543	0.22	0.9	0.9	4.4	80.9	0.91	-0.1	0.2	3.7	42.1
37	1939	28	3.3	-0.2	-0.027	0.87	-0.2	0.3	3.8	42.7	0.80	0.7	0.6	4.1	62.8
38	1940	37	3.6	0.1	0.184	0.31	0.5	0.5	4.0	55.2	0.02	0.1	0.3	3.8	46.7
39	1941	53.6	4.0	0.5	0.430	0.58	-1.0	-0.6	2.9	18.4	0.72	0.7	0.7	4.2	69.1
40	1942	54	4.0	0.5	0.273	0.47	0.2	-0.1	3.4	30.1	0.07	0.4	0.6	4.1	61.5
41	1943	65.4	4.2	0.7	0.462	0.09	-0.8	-0.7	2.8	16.5	0.56	-0.5	-0.1	3.4	29.0

Evaluación de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación

42	1944	69.5	4.2	0.7	0.437	0.31	2.1	1.3	4.8	127.5	0.33	0.9	0.7	4.2	67.0
43	1945	20	3.0	-0.5	-0.835	0.26	1.6	1.9	5.4	218.9	0.87	0.1	0.4	3.9	50.2
44	1946	74	4.3	0.8	1.026	0.96	-0.4	0.5	4.0	55.4	0.79	-0.5	-0.2	3.3	26.2
45	1947	60	4.1	0.6	0.235	0.74	-0.7	-0.4	3.1	22.8	0.10	2.1	1.6	5.1	163.2
46	1948	35	3.6	0.1	-0.210	0.45	0.2	0.0	3.5	33.9	0.97	-0.4	0.4	3.9	50.6
47	1949	9	2.2	-1.3	-1.329	0.51	-0.8	-0.6	2.9	18.0	0.48	-0.3	-0.1	3.4	30.5
48	1950	35	3.6	0.1	0.632	0.37	0.9	0.4	3.9	50.6	0.29	1.2	0.9	4.4	82.3
49	1951	36	3.6	0.1	0.057	0.81	-0.4	-0.2	3.3	28.4	0.80	0.6	0.9	4.4	82.0
50	1952	30	3.4	-0.1	-0.138	0.36	0.5	0.3	3.8	46.2	0.94	-0.2	0.2	3.7	40.9
51	1953	50	3.9	0.4	0.454	0.02	-2.6	-1.9	1.6	4.9	0.33	-1.4	-1.1	2.4	11.5
52	1954	20	3.0	-0.5	-0.689	0.43	1.1	0.1	3.6	35.5	0.54	-0.4	-0.8	2.7	14.9
53	1955	8.4	2.1	-1.4	-1.150	0.63	0.8	0.7	4.2	65.7	0.60	0.9	0.4	3.9	47.6
54	1956	2.8	1.0	-2.5	-1.863	0.91	-0.5	-0.1	3.4	29.3	0.92	-0.5	-0.2	3.3	26.5
55	1957	3	1.1	-2.4	-1.307	0.52	-1.1	-1.0	2.5	12.8	0.05	-1.3	-1.1	2.4	10.7
56	1958	3.5	1.3	-2.3	-1.183	0.47	0.2	-0.2	3.3	26.1	0.66	-2.1	-2.2	1.3	3.7
57	1959	4.8	1.6	-1.9	-0.936	0.83	0.4	0.2	3.7	39.8	0.46	-0.1	-1.1	2.4	11.5
58	1960	25	3.2	-0.3	0.574	0.15	0.5	0.5	4.0	53.6	0.26	1.2	0.5	4.0	56.2
59	1961	31	3.4	-0.1	0.057	0.13	-1.1	-0.7	2.8	16.6	0.33	1.4	1.4	4.9	134.3
60	1962	28.4	3.3	-0.2	-0.126	0.66	-1.7	-1.7	1.8	6.3	0.04	0.3	0.9	4.4	81.3
61	1963	41.6	3.7	0.2	0.294	0.47	-0.6	-1.3	2.2	9.4	0.42	-1.0	-0.4	3.1	22.1
62	1964	38	3.6	0.1	0.034	0.34	1.1	0.3	3.8	44.4	0.39	0.9	0.5	4.0	55.8
63	1965	48	3.9	0.4	0.308	0.97	0.2	0.3	3.8	43.0	0.68	0.5	0.6	4.2	63.5
64	1966	59.5	4.1	0.6	0.419	0.85	-0.2	-0.1	3.4	31.4	0.85	-0.7	-0.3	3.2	24.8
65	1967	54	4.0	0.5	0.227	0.57	1.0	0.8	4.3	75.4	0.50	0.8	0.5	4.0	57.2
66	1968	48	3.9	0.4	0.152	0.97	-0.2	0.2	3.7	41.3	0.12	0.8	0.9	4.4	82.0
67	1969	49.5	3.9	0.4	0.235	0.40	-1.2	-0.9	2.6	13.4	0.46	-1.1	-0.5	3.0	20.1
68	1970	48	3.9	0.4	0.191	0.43	0.5	0.0	3.5	34.4	0.43	0.5	0.2	3.7	41.2
69	1971	46.5	3.8	0.3	0.173	0.57	0.9	0.7	4.2	68.4	0.47	-0.3	-0.1	3.4	29.3
70	1972	45	3.8	0.3	0.154	0.10	0.6	0.8	4.3	74.2	0.29	1.2	0.9	4.4	82.5
71	1973	50	3.9	0.4	0.274	0.76	0.7	0.9	4.5	85.6	0.22	-0.9	-0.3	3.2	25.0
72	1974	44	3.8	0.3	0.099	0.01	0.1	0.5	4.0	53.3	0.33	1.5	1.1	4.6	99.1
73	1975	65	4.2	0.7	0.546	0.46	-1.1	-0.6	2.9	17.5	0.30	-0.5	0.1	3.6	35.0
74	1976	58.5	4.1	0.6	0.268	0.41	0.7	0.3	3.8	43.0	0.69	-1.4	-1.1	2.4	10.6
75	1977	50	3.9	0.4	0.157	0.77	0.7	0.7	4.2	63.8	0.31	-1.4	-1.7	1.9	6.4
76	1978	85.5	4.4	0.9	0.764	0.94	-0.3	0.1	3.6	35.9	0.56	-0.5	-1.2	2.3	10.3
77	1979	67	4.2	0.7	0.282	0.36	1.1	0.9	4.5	85.7	0.12	-1.9	-2.1	1.4	4.2
78	1980	63.5	4.2	0.6	0.336	0.10	0.9	1.1	4.6	102.2	0.44	0.8	-0.3	3.2	25.4
79	1981	45	3.8	0.3	0.016	0.58	0.6	1.0	4.5	90.3	0.45	-1.0	-0.9	2.6	13.5
80	1982	58.5	4.1	0.6	0.431	0.85	-0.8	-0.2	3.3	26.5	0.61	-0.8	-1.1	2.4	11.5
81	1983	120	4.8	1.3	1.033	0.63	-0.7	-0.7	2.8	16.6	0.38	-1.4	-1.6	1.9	6.8
82	1984	28.5	3.3	-0.2	-0.724	0.61	-0.6	-0.8	2.7	15.0	0.51	-0.1	-0.8	2.7	15.5
83	1985	55	4.0	0.5	0.572	0.22	-0.2	-0.5	3.0	19.9	0.41	-1.0	-1.1	2.4	10.7
84	1986	48.5	3.9	0.4	0.154	0.27	1.7	1.2	4.7	107.4	0.62	-0.9	-1.2	2.3	9.7
85	1987	23	3.1	-0.4	-0.536	0.16	-0.1	0.5	4.0	53.5	0.60	-0.9	-1.3	2.2	8.9
86	1988	60	4.1	0.6	0.754	0.25	1.9	1.8	5.3	193.7	0.45	0.3	-0.3	3.2	24.3
87	1989	65	4.2	0.7	0.409	0.54	-1.0	0.0	3.5	32.9	0.55	0.0	-0.2	3.3	28.2

88	1990	55	4.0	0.5	0.206	0.58	-0.5	-0.4	3.1	21.6	0.25	1.1	0.8	4.3	75.1
89	1991	23	3.1	-0.4	-0.592	0.55	0.6	0.3	3.8	42.9	0.18	-1.7	-1.0	2.5	12.4
90	1992	35	3.6	0.1	0.215	0.17	0.9	0.9	4.4	79.5	0.43	0.8	0.2	3.7	40.6
91	1993	36	3.6	0.1	0.057	0.94	0.2	0.6	4.1	59.4	0.64	-0.1	0.0	3.5	33.1
92	1994	45	3.8	0.3	0.268	0.87	-0.3	0.1	3.6	35.1	0.73	-0.9	-0.8	2.8	15.7
93	1995	6.7	1.9	-1.6	-1.736	0.81	-0.4	-0.3	3.2	23.9	0.23	-1.5	-1.5	2.0	7.2
94	1996	78	4.4	0.9	1.564	0.37	0.5	0.2	3.7	42.4	0.58	-0.9	-1.4	2.1	8.5
95	1997	43	3.8	0.3	-0.121	0.78	-0.5	-0.3	3.2	25.2	0.18	0.3	-0.4	3.1	23.1
96	1998	46	3.8	0.3	0.211	0.37	0.5	0.3	3.8	44.4	0.22	1.8	1.3	4.8	123.5
97	1999	37	3.6	0.1	-0.037	0.38	1.0	1.0	4.5	86.0	0.75	0.7	1.2	4.7	107.9
98	2000	54	4.0	0.5	0.438	0.88	-0.9	-0.3	3.2	23.7	0.03	0.1	0.6	4.1	63.2
99	2001	33	3.5	0.0	-0.223	0.11	1.8	1.3	4.8	120.8	0.63	-0.8	-0.4	3.1	22.4
100	2002	26	3.3	-0.2	-0.242	0.09	1.1	1.4	4.9	139.7	0.42	0.5	0.2	3.7	40.6
101	2003	26	3.3	-0.2	-0.136	0.24	1.6	1.9	5.4	221.2	0.57	0.9	0.8	4.3	75.2
102	2004	15	2.7	-0.8	-0.686	0.94	-0.7	0.3	3.8	45.1	0.09	0.6	0.8	4.3	75.4
103	2005	45	3.8	0.3	0.656	0.36	-0.6	-0.3	3.2	23.9	0.15	-1.2	-0.6	2.9	17.6
104	2006	43	3.8	0.3	0.123	0.68	-1.3	-1.2	2.3	9.9	0.64	-1.5	-1.5	2.0	7.4
105	2007	71	4.3	0.8	0.645	0.71	-0.4	-0.8	2.7	14.4	0.32	0.1	-0.6	2.9	17.8
106	2008	55	4.0	0.5	0.167	0.32	0.7	0.2	3.7	42.0	0.24	1.5	0.9	4.4	84.5
107	2009	43	3.8	0.3	0.034	0.15	1.2	1.1	4.6	97.5	0.52	1.1	1.3	4.8	123.0
108	2010	50	3.9	0.4	0.294	0.14	1.5	1.7	5.2	185.5	0.96	-0.3	0.3	3.8	46.5
109	2011	38	3.6	0.1	-0.047	0.87	-0.5	0.4	3.9	48.1	0.52	-1.1	-0.7	2.8	16.3
110	2012	6	1.8	-1.7	-1.771	0.44	0.2	0.3	3.8	45.7	0.56	-0.4	-0.7	2.8	17.2
Σ		5066	385					MUESTRA 1				MUESTRA 10			
n		110													

Estadísticos	Media	46.06	3.5	-0.024	
	Desv. Est.	38.34	0.95		0.825
	Varianza	1470	0.90		0.68
	C. Asim	2.993	-1.4		-0.98
	Curtosis	14.99	5.85		8.60
r1	0.34	0.44			
r2	0.17	0.27			

AR(1)	
σ_ϵ^2	0.7
CIA(1)	-45.3
σ_ϵ	0.8
ϕ_1	0.4

AR(2)	
ϕ_1	0.4022
ϕ_2	0.0940
σ_ϵ^2	0.6508
CIA(2)	-43.25
σ_ϵ	0.8067

Estadísticos	Media	55.31	Estadísticos	Media	48.3
	Desv. Est.	51.07		Desviación Est.	12.96
	Varianza	2607.8		Varianza	217.5
	C. Asim	2.38		C. Asim	1.06
	Curtosis	10.65		Curtosis	0.00

$\phi_1 + \phi_2$	0.496	1
$\phi_1 - \phi_2$	0.308	1
"-1 < ϕ_2 < 1"		1
		1

Tabla 3.13. Muestras sintéticas de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

m	MUESTRA ORIGINAL					MUESTRA 1					MUESTRA 10				
	Año	x_t	Y	Z	ε_t	u	ξ_i	Z_t	y_t	X_t	u	ξ_i	Z_t	y_t	X_t
1	1903	26	3.3	-0.6	0.000	0.9	0.3	0.1	4.0	52.3	0.56	0.5	0.1	4.0	54.5
2	1904	24	3.2	-0.7	-0.712	0.1	0.2	0.1	3.9	51.0	0.82	-1.0	-0.2	3.6	38.3
3	1905	36.5	3.6	-0.3	-0.294	0.7	0.8	0.2	4.1	58.8	0.95	-0.3	-0.1	3.8	45.0
4	1906	38.4	3.6	-0.2	-0.237	1.0	-0.1	0.0	3.8	46.7	0.50	0.0	0.0	3.9	48.5
5	1907	52	4.0	0.1	0.067	0.7	-0.4	-0.1	3.8	44.0	0.68	-0.9	-0.2	3.7	39.3
6	1908	30	3.4	-0.5	-0.479	0.3	0.8	0.2	4.1	58.3	0.48	0.1	0.0	3.9	49.8
7	1909	40	3.7	-0.2	-0.199	0.3	0.3	0.1	4.0	52.3	0.64	-0.1	0.0	3.9	47.5
8	1910	25	3.2	-0.7	-0.665	0.2	1.5	0.4	4.2	69.9	0.26	0.9	0.2	4.1	61.0
9	1911	58	4.1	0.2	0.169	0.7	-0.9	-0.2	3.7	38.9	0.98	-0.1	0.0	3.8	46.8
10	1912	33	3.5	-0.4	-0.382	0.5	0.0	0.0	3.9	48.3	0.65	-0.2	0.0	3.8	46.5
11	1913	40	3.7	-0.2	-0.198	0.1	0.8	0.2	4.1	59.2	0.17	0.6	0.2	4.0	56.3
12	1914	40	3.7	-0.2	-0.195	0.2	2.2	0.5	4.4	82.8	0.80	-1.8	-0.4	3.4	31.2
13	1915	37	3.6	-0.3	-0.273	0.7	-0.6	-0.1	3.7	42.0	0.62	0.7	0.2	4.1	57.7
14	1916	46	3.8	-0.1	-0.057	0.4	0.6	0.1	4.0	56.3	0.13	0.7	0.2	4.1	57.5
15	1917	42	3.7	-0.1	-0.144	0.5	1.2	0.3	4.2	65.0	0.84	0.2	0.0	3.9	50.4
16	1918	35	3.6	-0.3	-0.328	0.0	0.2	0.1	3.9	51.0	0.20	0.6	0.1	4.0	55.6
17	1919	37	3.6	-0.3	-0.275	0.8	-0.7	-0.2	3.7	40.5	0.52	-1.1	-0.3	3.6	36.6
18	1920	60	4.1	0.2	0.209	0.5	0.1	0.0	3.9	49.8	0.51	0.0	0.0	3.9	48.2
19	1921	42	3.7	-0.1	-0.140	0.5	-0.5	-0.1	3.7	42.4	0.51	-0.8	-0.2	3.7	39.4
20	1922	65	4.2	0.3	0.291	0.3	1.0	0.3	4.1	62.5	0.62	-0.8	-0.2	3.7	40.0
21	1923	40	3.7	-0.2	-0.188	0.5	0.9	0.2	4.1	60.4	0.67	-0.3	-0.1	3.8	45.3
22	1924	30	3.4	-0.5	-0.483	0.1	0.7	0.2	4.0	56.8	0.70	-0.8	-0.2	3.7	39.5
23	1925	46	3.8	-0.1	-0.060	0.8	0.1	0.0	3.9	49.5	0.77	0.0	0.0	3.9	48.5
24	1926	55	4.0	0.1	0.125	0.2	0.7	0.2	4.1	58.1	0.75	-0.7	-0.2	3.7	40.6
25	1927	32	3.5	-0.4	-0.413	0.1	-1.3	-0.3	3.6	35.6	0.31	-1.5	-0.4	3.5	33.4
26	1928	23	3.1	-0.7	-0.752	0.4	1.6	0.4	4.3	71.3	0.49	0.1	0.0	3.9	49.8
27	1929	80	4.4	0.5	0.490	0.7	0.2	0.0	3.9	50.3	0.12	2.0	0.5	4.4	78.2
28	1930	48	3.9	0.0	-0.002	0.2	0.8	0.2	4.1	59.3	0.95	-0.7	-0.2	3.7	40.9
29	1931	34	3.5	-0.4	-0.355	0.6	-0.6	-0.1	3.7	42.2	0.84	-0.3	-0.1	3.8	45.0
30	1932	52	4.0	0.1	0.065	0.7	-0.8	-0.2	3.7	39.7	0.66	-0.5	-0.1	3.8	42.9
31	1933	21	3.0	-0.8	-0.835	0.5	0.1	0.0	3.9	49.3	0.96	-0.1	0.0	3.9	47.6
32	1934	50	3.9	0.0	0.018	0.2	1.2	0.3	4.2	65.3	0.30	0.3	0.1	4.0	52.0
33	1935	34	3.5	-0.4	-0.354	0.9	-0.4	-0.1	3.8	44.0	0.28	1.6	0.4	4.3	71.6
34	1936	65	4.2	0.3	0.288	0.5	-0.1	0.0	3.9	47.5	0.00	0.0	0.0	3.9	48.4
35	1937	40	3.7	-0.2	-0.188	0.5	0.3	0.1	4.0	52.0	0.87	0.3	0.1	4.0	52.1
36	1938	76	4.3	0.4	0.447	0.8	-1.1	-0.3	3.6	36.7	0.15	0.4	0.1	4.0	53.7
37	1939	51	3.9	0.1	0.058	0.8	-0.3	-0.1	3.8	45.2	0.35	-1.3	-0.3	3.6	35.1
38	1940	75	4.3	0.4	0.437	0.3	0.7	0.2	4.0	57.0	0.43	0.6	0.2	4.0	56.5
39	1941	63	4.1	0.3	0.269	0.6	-0.9	-0.2	3.7	38.8	0.45	1.3	0.3	4.2	65.7
40	1942	32	3.5	-0.4	-0.411	0.4	0.5	0.1	4.0	54.9	0.98	-0.2	0.0	3.8	46.3
41	1943	32	3.5	-0.4	-0.422	0.1	2.1	0.5	4.4	80.8	0.01	-2.9	-0.7	3.2	23.6
42	1944	127	4.8	1.0	0.957	1.0	-0.3	-0.1	3.8	45.1	0.43	1.3	0.3	4.2	67.3

Evaluación de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación

43	1945	34	3.5	-0.4	-0.340	0.7	-0.6	-0.2	3.7	41.6	0.42	-1.3	-0.3	3.6	35.3
44	1946	32	3.5	-0.4	-0.421	0.4	0.4	0.1	4.0	54.1	0.46	0.3	0.1	4.0	52.7
45	1947	39	3.7	-0.2	-0.224	0.5	1.0	0.2	4.1	61.5	0.58	-1.0	-0.2	3.6	38.2
46	1948	50	3.9	0.0	0.028	0.1	0.7	0.2	4.1	57.6	0.44	0.4	0.1	4.0	53.3
47	1949	32	3.5	-0.4	-0.415	0.6	0.9	0.2	4.1	60.8	0.14	1.9	0.5	4.3	76.4
48	1950	42.6	3.8	-0.1	-0.135	0.0	0.2	0.0	3.9	50.8	0.94	-0.7	-0.2	3.7	40.8
49	1951	42.6	3.8	-0.1	-0.131	0.4	1.2	0.3	4.2	64.9	0.32	1.0	0.3	4.1	62.7
50	1952	42.6	3.8	-0.1	-0.131	0.1	0.5	0.1	4.0	54.8	0.13	1.1	0.3	4.1	63.1
51	1953	45	3.8	-0.1	-0.076	0.7	0.5	0.1	4.0	55.1	0.74	-0.7	-0.2	3.7	40.7
52	1954	39	3.7	-0.2	-0.219	0.1	0.6	0.1	4.0	56.1	0.57	-0.3	-0.1	3.8	44.7
53	1955	52	4.0	0.1	0.067	0.3	-1.3	-0.3	3.6	35.4	0.51	1.2	0.3	4.2	64.5
54	1956	45	3.8	-0.1	-0.073	0.4	0.7	0.2	4.1	58.1	1.00	0.0	0.0	3.9	48.1
55	1957	28.2	3.3	-0.5	-0.543	0.6	-0.8	-0.2	3.7	40.0	0.94	-0.3	-0.1	3.8	44.7
56	1958	34	3.5	-0.4	-0.363	0.6	-0.5	-0.1	3.8	42.5	0.46	0.1	0.0	3.9	49.5
57	1959	30	3.4	-0.5	-0.485	0.4	-0.5	-0.1	3.8	42.9	0.92	-0.2	-0.1	3.8	46.1
58	1960	47	3.9	0.0	-0.038	0.3	1.3	0.3	4.2	67.4	0.66	-0.3	-0.1	3.8	44.7
59	1961	32.5	3.5	-0.4	-0.400	0.2	0.1	0.0	3.9	49.0	0.60	-1.0	-0.2	3.6	38.0
60	1962	23.5	3.2	-0.7	-0.730	0.2	1.9	0.5	4.3	76.4	0.48	0.1	0.0	3.9	50.0
61	1963	25	3.2	-0.7	-0.673	0.1	-0.6	-0.1	3.7	41.8	0.26	0.1	0.0	3.9	50.0
62	1964	49.4	3.9	0.0	0.009	0.7	-2.0	-0.5	3.4	30.2	0.76	-1.6	-0.4	3.5	32.6
63	1965	38	3.6	-0.2	-0.243	0.2	-0.9	-0.2	3.7	39.5	0.66	-0.4	-0.1	3.8	44.4
64	1966	57.5	4.1	0.2	0.167	0.3	1.5	0.4	4.3	70.5	0.68	-0.8	-0.2	3.7	39.7
65	1967	46	3.8	-0.1	-0.050	0.7	-0.9	-0.2	3.7	39.1	0.08	2.1	0.5	4.4	80.9
66	1968	36.5	3.6	-0.3	-0.285	0.5	-0.1	0.0	3.9	47.3	0.06	0.8	0.2	4.1	58.3
67	1969	56.5	4.0	0.2	0.149	0.4	0.6	0.1	4.0	55.7	0.84	-0.2	0.0	3.8	46.6
68	1970	46	3.8	-0.1	-0.050	0.8	-1.2	-0.3	3.6	36.3	0.71	-0.6	-0.1	3.7	42.1
69	1971	47.5	3.9	0.0	-0.021	0.9	-0.5	-0.1	3.8	42.8	0.86	-0.3	-0.1	3.8	45.3
70	1972	42	3.7	-0.1	-0.144	0.6	-0.2	0.0	3.8	46.4	0.66	-0.5	-0.1	3.8	43.3
71	1973	30	3.4	-0.5	-0.482	0.9	0.4	0.1	4.0	53.8	0.97	0.2	0.1	3.9	51.3
72	1974	40	3.7	-0.2	-0.199	0.9	-0.3	-0.1	3.8	45.2	0.04	0.1	0.0	3.9	49.1
73	1975	23	3.1	-0.7	-0.748	0.4	-1.3	-0.3	3.6	35.5	0.25	1.5	0.4	4.2	69.7
74	1976	32	3.5	-0.4	-0.427	0.4	0.5	0.1	4.0	55.3	0.07	0.8	0.2	4.1	57.9
75	1977	50	3.9	0.0	0.025	1.0	0.2	0.1	3.9	51.1	0.69	-0.1	0.0	3.9	47.6
76	1978	12.5	2.5	-1.4	-1.355	0.9	-0.1	0.0	3.9	47.5	0.26	0.9	0.2	4.1	59.7
77	1979	41	3.7	-0.2	-0.188	0.7	-0.7	-0.2	3.7	41.4	0.48	0.3	0.1	3.9	51.9
78	1980	55	4.0	0.1	0.124	0.6	-0.5	-0.1	3.8	43.0	0.21	1.2	0.3	4.2	64.4
79	1981	42	3.7	-0.1	-0.141	0.4	-1.1	-0.3	3.6	36.9	0.32	1.0	0.2	4.1	61.6
80	1982	45	3.8	-0.1	-0.077	0.4	0.6	0.2	4.0	56.3	0.13	1.1	0.3	4.2	63.5
81	1983	51	3.9	0.1	0.050	0.1	2.0	0.5	4.4	79.4	0.31	0.7	0.2	4.0	56.9
82	1984	38	3.6	-0.2	-0.243	1.0	-0.6	-0.2	3.7	41.2	0.18	1.4	0.3	4.2	67.7
83	1985	27	3.3	-0.6	-0.589	0.2	1.5	0.4	4.2	69.7	0.11	-0.5	-0.1	3.7	42.2
84	1986	30	3.4	-0.5	-0.489	0.9	-1.0	-0.2	3.6	38.2	0.71	-2.0	-0.5	3.4	29.5
85	1987	48	3.9	0.0	-0.017	0.5	1.2	0.3	4.2	64.7	0.60	0.3	0.1	4.0	52.6
86	1988	42	3.7	-0.1	-0.144	0.1	0.4	0.1	4.0	53.8	0.80	-1.0	-0.2	3.6	38.3
87	1989	70	4.2	0.4	0.365	0.4	0.4	0.1	4.0	52.9	0.68	-0.6	-0.1	3.7	41.8
88	1990	57	4.0	0.2	0.168	0.8	-1.2	-0.3	3.6	36.0	0.62	-0.6	-0.1	3.7	41.8

89	1991	47	3.9	0.0	-0.028	0.6	0.9	0.2	4.1	60.0	0.89	0.1	0.0	3.9	50.1
90	1992	16	2.8	-1.1	-1.109	0.1	0.4	0.1	4.0	53.4	0.79	-0.5	-0.1	3.8	43.3
91	1993	40	3.7	-0.2	-0.209	0.9	-0.3	-0.1	3.8	45.0	0.36	-1.3	-0.3	3.6	35.4
92	1994	2.5	0.9	-3.0	-2.968	0.4	0.1	0.0	3.9	50.1	0.43	0.6	0.2	4.0	56.7
Σ		3887	337.1					MUESTRA 1				MUESTRA 10			
n		92													

Estadísticos	Media	52.0	3.9
	Desv. Est.	16.6	0.5
	Varianza	276	0.2
	C. Asim	1.4	-5.5
	Curtosis	10.7	46.2

-0.21
0.45
0.20
-2.60
18.37

Estadísticos	Media	51.5	Estadísticos	Media	49.4
	Desv. Est.	11.2		Desv. Est.	11.0
	Varianza	124.7		Varianza	125.2
	C. Asim	0.6		C. Asim	0.6
	Curtosis	3.3		Curtosis	3.1

r1	-0.04	-0.02
r2	0.03	0.13

AR(1)	
σ_ϵ^2	0.060
CIA(1)	-258
σ_ϵ	0.244
ϕ_1	-0.02

AR(2)	
ϕ_1	0.0131
ϕ_2	0.1296
σ_ϵ^2	0.0592
CIA(2)	256.10
σ_ϵ	0.2433

$\phi_1 + \phi_2$	0.12	1
$\phi_1 - \phi_2$	-0.14	1
"-1 < ϕ_2 < 1"		1
		1

CIA(1) < CIA(2)	1
-----------------	---

Tabla 3.14. Muestras sintéticas de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

m	MUESTRA ORIGINAL					MUESTRA 1					MUESTRA 12				
	Año	X	Y	Z	ε_t	u	ξ_t	Z _t	Y _t	X _t	u	ξ_t	Z _t	Y _t	X _t
1	1903	75.2	4.3	-0.1	0.000	0.67	-0.9	-0.3	4.1	60.9	0.78	-0.7	-0.2	4.2	65.1
2	1904	131.8	4.9	0.5	0.508	0.52	-0.1	-0.1	4.3	74.1	0.54	-0.9	-0.3	4.1	60.6
3	1905	66.2	4.2	-0.2	-0.272	0.88	0.0	0.0	4.4	78.5	0.60	0.8	0.2	4.6	102.3
4	1906	34.7	3.5	-0.8	-0.806	0.74	-0.5	-0.2	4.2	68.4	0.89	0.4	0.1	4.5	91.5
5	1907	75.2	4.3	-0.1	0.073	0.17	-1.8	-0.6	3.8	45.3	0.93	-0.3	-0.1	4.3	73.1
6	1908	40	3.7	-0.7	-0.684	0.56	-0.7	-0.3	4.1	59.8	0.40	-1.4	-0.4	4.0	52.8
7	1909	85.7	4.5	0.1	0.181	0.18	0.2	0.0	4.4	80.8	0.50	-1.0	-0.3	4.1	58.8
8	1910	90	4.5	0.1	0.105	0.77	-1.9	-0.6	3.8	45.4	0.41	1.3	0.4	4.8	120.4
9	1911	10	2.3	-2.1	-2.100	0.84	-0.5	-0.3	4.1	62.3	1.00	0.0	0.0	4.4	81.1
10	1912	32.5	3.5	-0.9	-0.563	0.58	-0.3	-0.1	4.3	70.8	0.06	1.1	0.3	4.7	110.8
11	1913	81	4.4	0.0	0.158	0.95	-0.2	-0.1	4.3	74.3	0.18	-1.9	-0.6	3.8	45.3
12	1914	93	4.5	0.1	0.147	0.34	0.3	0.1	4.5	86.3	0.49	-0.2	-0.1	4.3	74.3
13	1915	53	4.0	-0.4	-0.437	0.12	0.0	0.0	4.4	81.8	0.28	-1.6	-0.5	3.9	49.5
14	1916	67.9	4.2	-0.2	-0.098	0.75	-2.1	-0.6	3.8	42.7	0.53	0.4	0.1	4.5	90.8
15	1917	51	3.9	-0.5	-0.425	0.11	-1.7	-0.6	3.8	43.3	0.19	1.0	0.3	4.7	107.6
16	1918	47.3	3.9	-0.5	-0.453	0.40	1.3	0.3	4.7	106.9	0.84	-0.3	-0.1	4.3	73.5
17	1919	32.5	3.5	-0.9	-0.816	0.69	0.7	0.3	4.6	103.1	0.33	-0.8	-0.3	4.1	61.8
18	1920	45.5	3.8	-0.6	-0.419	0.11	0.5	0.2	4.6	98.8	0.35	0.3	0.1	4.5	88.3
19	1921	100	4.6	0.2	0.314	0.04	-1.7	-0.5	3.9	49.0	0.78	0.3	0.1	4.5	88.9
20	1922	55	4.0	-0.4	-0.412	0.63	-1.9	-0.7	3.7	41.2	0.17	0.9	0.3	4.7	105.0
21	1923	212.5	5.4	1.0	1.037	0.22	0.5	0.0	4.4	84.1	0.17	1.7	0.5	4.9	133.5
22	1924	156	5.0	0.7	0.508	0.80	-1.7	-0.5	3.9	48.5	0.08	-2.1	-0.6	3.7	42.4
23	1925	64.2	4.2	-0.2	-0.330	0.22	1.7	0.4	4.8	125.6	0.57	-1.1	-0.3	4.1	57.8
24	1926	115	4.7	0.4	0.398	0.99	-0.1	0.1	4.4	84.3	0.50	-0.1	0.0	4.3	77.3
25	1927	47.5	3.9	-0.5	-0.581	0.10	0.6	0.2	4.6	96.6	0.73	0.3	0.1	4.5	87.5
26	1928	46	3.8	-0.6	-0.470	0.21	2.1	0.7	5.0	155.0	0.19	1.3	0.4	4.8	119.2
27	1929	121.5	4.8	0.4	0.507	0.68	0.2	0.2	4.6	96.1	0.12	-0.3	-0.1	4.3	72.1
28	1930	66	4.2	-0.2	-0.262	0.21	0.8	0.3	4.7	106.9	0.72	0.7	0.2	4.6	98.8
29	1931	120	4.8	0.4	0.436	0.92	0.3	0.1	4.5	92.6	0.09	1.5	0.5	4.9	128.1
30	1932	197	5.3	0.9	0.834	0.89	-0.3	-0.1	4.3	75.6	0.13	-1.3	-0.4	4.0	53.1
31	1933	433	6.1	1.7	1.541	0.21	-1.5	-0.5	3.9	49.7	0.36	1.2	0.4	4.7	114.4
32	1934	72.2	4.3	-0.1	-0.379	0.42	0.9	0.2	4.6	97.4	0.10	-2.1	-0.7	3.7	41.5
33	1935	66.5	4.2	-0.2	-0.169	0.81	0.0	0.0	4.4	83.8	0.48	0.6	0.2	4.6	96.6
34	1936	73	4.3	-0.1	-0.063	0.76	-0.7	-0.2	4.2	66.0	0.17	-0.1	0.0	4.3	76.5

Evaluación de la incertidumbre en la extrapolación de datos de precipitación

35	1937	67.5	4.2	-0.2	-0.156	0.12	1.4	0.4	4.8	117.7	0.26	-0.6	-0.2	4.2	67.3
36	1938	67	4.2	-0.2	-0.151	0.86	-1.5	-0.4	4.0	53.1	0.31	0.5	0.2	4.5	93.5
37	1939	98	4.6	0.2	0.231	0.82	-0.6	-0.3	4.1	61.8	0.20	1.7	0.5	4.9	134.3
38	1940	137	4.9	0.5	0.504	0.49	0.1	0.0	4.4	78.1	0.94	-0.1	0.0	4.4	78.9
39	1941	103	4.6	0.3	0.164	0.38	-0.9	-0.3	4.1	60.7	0.27	0.8	0.2	4.6	101.0
40	1942	54	4.0	-0.4	-0.435	0.36	1.1	0.3	4.7	106.1	0.17	1.1	0.3	4.7	113.3
41	1943	100	4.6	0.2	0.286	0.01	2.7	0.9	5.2	189.3	0.15	1.9	0.6	5.0	144.2
42	1944	128.5	4.9	0.5	0.436	0.91	-1.8	-0.4	4.0	53.5	0.97	-0.3	-0.1	4.3	74.0
43	1945	136	4.9	0.5	0.452	0.64	-0.5	-0.2	4.2	64.0	0.52	1.0	0.3	4.7	109.2
44	1946	75	4.3	-0.1	-0.152	0.34	0.8	0.2	4.6	98.6	0.08	-2.0	-0.6	3.8	43.7
45	1947	78	4.4	0.0	-0.016	0.15	-1.9	-0.5	3.8	46.3	0.58	-1.0	-0.3	4.1	58.4
46	1948	176	5.2	0.8	0.791	0.54	-0.5	-0.2	4.1	63.4	0.48	0.5	0.2	4.5	93.7
47	1949	75	4.3	-0.1	-0.194	0.54	-0.5	-0.2	4.2	66.5	0.18	-1.8	-0.6	3.8	45.5
48	1950	100	4.6	0.2	0.233	0.68	-1.0	-0.3	4.0	57.2	0.48	0.6	0.2	4.6	96.3
49	1951	115	4.7	0.4	0.325	0.02	2.7	0.8	5.2	175.7	0.17	-1.7	-0.5	3.9	47.9
50	1952	110	4.7	0.3	0.258	0.98	-0.3	0.0	4.4	82.0	0.42	-0.6	-0.2	4.2	67.0
51	1953	160	5.1	0.7	0.640	0.19	-1.0	-0.3	4.1	58.7	0.68	-0.3	-0.1	4.3	72.1
52	1954	108.5	4.7	0.3	0.191	0.35	1.5	0.4	4.8	120.6	0.69	-0.6	-0.2	4.2	66.4
53	1955	49	3.9	-0.5	-0.541	0.10	-2.1	-0.6	3.8	44.6	0.37	1.2	0.4	4.8	116.1
54	1956	49	3.9	-0.5	-0.411	0.47	0.3	0.0	4.4	81.0	0.08	-2.1	-0.6	3.7	42.1
55	1957	80	4.4	0.0	0.079	0.73	0.0	0.0	4.4	80.1	0.45	1.0	0.3	4.7	110.3
56	1958	65	4.2	-0.2	-0.209	0.75	-0.8	-0.2	4.1	62.8	0.90	-0.3	-0.1	4.3	73.7
57	1959	100	4.6	0.2	0.256	1.00	0.0	-0.1	4.3	76.0	0.35	-1.2	-0.4	4.0	54.8
58	1960	190	5.2	0.9	0.828	0.33	0.1	0.0	4.4	81.3	0.59	-1.0	-0.3	4.1	59.7
59	1961	63	4.1	-0.2	-0.381	0.79	0.2	0.0	4.4	84.2	0.56	-0.9	-0.3	4.1	61.6
60	1962	164	5.1	0.7	0.756	0.79	-0.7	-0.2	4.2	65.6	0.40	1.4	0.4	4.8	121.2
61	1963	124.5	4.8	0.4	0.324	0.18	0.2	0.0	4.4	81.5	0.98	-0.1	0.0	4.3	77.5
62	1964	115.5	4.7	0.4	0.294	0.24	1.9	0.6	5.0	142.0	0.34	0.2	0.1	4.5	86.3
63	1965	85	4.4	0.1	0.000	0.61	-1.0	-0.2	4.2	64.8	0.78	-0.3	-0.1	4.3	72.5
64	1966	120	4.8	0.4	0.395	0.48	0.1	0.0	4.4	79.7	0.67	-0.9	-0.3	4.1	61.2
65	1967	72	4.3	-0.1	-0.172	0.94	-0.3	-0.1	4.3	72.5	0.53	-0.6	-0.2	4.2	67.6
66	1968	95	4.6	0.2	0.188	0.56	-0.1	-0.1	4.3	75.8	0.67	0.8	0.2	4.6	101.4
67	1969	62	4.1	-0.3	-0.284	0.00	3.4	1.0	5.4	225.9	0.91	0.4	0.1	4.5	91.2
68	1970	100	4.6	0.2	0.264	0.97	-0.6	0.0	4.4	78.6	1.00	0.1	0.0	4.4	82.0
69	1971	35	3.6	-0.8	-0.864	0.82	-0.2	-0.1	4.3	75.7	0.98	0.2	0.0	4.4	84.1
70	1972	110	4.7	0.3	0.452	0.71	-0.6	-0.2	4.2	65.9	0.11	-2.0	-0.6	3.8	44.0
71	1973	115	4.7	0.4	0.310	0.97	-0.1	-0.1	4.3	75.1	0.56	0.6	0.2	4.6	97.2
72	1974	60	4.1	-0.3	-0.348	0.67	-0.2	-0.1	4.3	74.4	0.85	0.4	0.1	4.5	90.9
73	1975	85	4.4	0.1	0.106	0.20	1.7	0.5	4.9	132.5	0.88	0.5	0.2	4.5	93.4

74	1976	90	4.5	0.1	0.107	0.05	0.6	0.3	4.6	104.4	0.03	-0.6	-0.2	4.2	66.4
75	1977	96	4.6	0.2	0.162	0.08	-1.5	-0.4	4.0	53.3	0.71	0.7	0.2	4.6	100.6
76	1978	96	4.6	0.2	0.152	0.64	-1.7	-0.6	3.8	44.3	0.07	2.3	0.7	5.1	162.0
77	1979	105	4.7	0.3	0.241	0.94	-0.1	-0.1	4.3	70.8	0.01	0.2	0.1	4.4	85.6
78	1980	76.5	4.3	0.0	-0.090	0.29	0.4	0.1	4.5	87.5	0.76	0.0	0.0	4.4	80.3
79	1981	68	4.2	-0.2	-0.156	0.88	-0.5	-0.1	4.3	70.4	0.75	0.2	0.1	4.5	86.1
80	1982	120	4.8	0.4	0.431	0.57	-0.2	-0.1	4.3	73.5	0.20	-1.5	-0.5	3.9	49.8
81	1983	40	3.7	-0.7	-0.760	0.54	0.5	0.1	4.5	91.1	0.58	-0.2	-0.1	4.3	75.1
82	1984	16	2.8	-1.6	-1.498	0.18	1.0	0.3	4.7	111.6	0.72	0.6	0.2	4.6	97.7
83	1985	92.6	4.5	0.1	0.407	0.59	0.4	0.2	4.6	95.9	0.10	-0.1	0.0	4.3	76.7
84	1986	36	3.6	-0.8	-0.823	0.82	-0.9	-0.3	4.1	61.6	0.26	-0.3	-0.1	4.3	71.9
85	1987	114	4.7	0.4	0.483	0.24	0.3	0.0	4.4	83.9	0.28	-1.0	-0.3	4.1	58.2
86	1988	36	3.6	-0.8	-0.857	0.78	-1.7	-0.5	3.9	48.3	0.64	-0.9	-0.3	4.1	59.9
87	1989	180	5.2	0.8	0.940	0.35	0.2	0.0	4.4	79.6	0.51	-0.8	-0.2	4.2	63.5
Σ		8051.5	381.3					MUESTRA 1				MUESTRA 12			
n		87													

Estadísticos	Media	92.5	4.4
	Desv. Est.	55.3	0.6
	Varianza	3058.6	0.31
	C. Asim	3.0	-0.59
	Curtosis	19.2	5.53

0.00224
0.5484
0.30
-0.62
5.3372

Estadísticos	Media	81.9	Estadísticos	Media	82.5
	Desv. Est.	32.21		Desv. Est.	25.71
	Varianza	1037.3		Varianza	661.4
	C. Asim	1.94		C. Asim	0.56
	Curtosis	8.52		Curtosis	3.28

r1	0.1639	0.1628
r2	0.0566	0.1100

AR(1)	
σ_ϵ^2	0.1
CIA(1)	-203.5
σ_ϵ	0.3
ϕ_1	0.2

AR(2)	
ϕ_1	0.15
ϕ_2	0.09
σ_ϵ^2	0.09
CIA(2)	-201.2
σ_ϵ	0.31

$\phi_1 + \phi_2$	0.235	1
$\phi_1 - \phi_2$	0.063	1
"-1 < ϕ_2 < 1"		1
		1

CIA(1) < CIA(2)	1
-----------------	---

En la tabla 3.15 se muestran los estadísticos correspondientes a las muestras sintéticas generadas para la estación 13012 Huichapan, Hidalgo, en esta tabla se puede apreciar que para las diez muestras se obtuvo el promedio correspondiente de cada uno de los estadísticos, gracias a esto se nota que comparando con la muestra original y sus respectivos estadísticos son muy semejantes.

Para la estación 11050 Ocampo, Guanajuato los estadísticos se muestran en la tabla 3.16, en la misma tabla se aprecian los estadísticos correspondientes a la muestra original se pueden comparar con los de cada uno de las muestras, es decir, la media de la muestra original comparándola con el promedio de las medias de las muestras sintéticas difieren en 1.5 unidades, siendo esto un indicador de que la generación de las muestras sintéticas fue el correcto.

Mientras tanto, en la tabla 3.17 se pueden ver y comparar los estadísticos de las muestras sintéticas de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz en la cual se destaca que todos los estadísticos correspondientes a las muestras sintéticas son muy similares a los de la muestra original, se puede decir que para la generación de las muestras sintéticas se basa en los cinco estadísticos de la muestra original, con esta comparación de los estadísticos de las 24 estaciones nos da una idea de lo parecido de los datos generados a los de la serie original.

Tabla 3.15. Estadísticos estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Huichapan	Original	46.1	38.3	1469.6	3.0	15.0
	1	55.3	51.1	2607.8	2.4	10.7
	2	40.3	33.5	1352.2	1.9	3.4
	3	55.7	52.5	2757.2	2.8	13.6
	4	78.2	93.9	9344.4	2.2	8.8
	5	54.6	49.9	2486.2	1.7	5.9
	6	56.2	64.5	4163.3	3.4	17.0
	7	41.4	38.0	1636.8	2.8	9.0
	8	47.5	55.0	3089.3	3.6	18.2
	9	56.5	95.1	9039.4	7.5	71.2
	10	48.3	13.0	217.5	1.1	0.0
	11					
	12					
	13					
Promedio		52.7	53.2	3469.4	3.0	15.7

Tabla 3.16. Estadísticos estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Ocampo	Original	52.0	16.6	276.1	1.4	10.7
	1	51.5	11.2	124.7	0.6	3.3
	2	51.5	12.6	159.4	0.3	3.1
	3	49.7	9.7	98.0	0.2	2.7
	4	51.7	13.4	178.7	0.9	4.2
	5	48.7	12.3	159.3	0.6	2.7
	6	50.7	11.2	126.4	0.2	3.2
	7	48.9	12.8	171.2	0.6	2.8
	8	48.6	11.8	149.0	0.7	2.4
	9	52.8	14.5	211.1	1.2	6.2
	10	49.4	11.0	125.2	0.6	3.1
	11	50.0	11.1	126.4	0.7	3.1
	12					
13						
Promedio		50.5	12.4	158.8	0.7	4.0

Tabla 3.17. Estadísticos estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Soledad de Doblado	Original	92.5	55.3	3058.6	3.0	19.2
	1	81.9	32.2	1037.3	1.9	8.5
	2	80.5	24.5	603.3	0.7	3.2
	3	88.0	28.3	841.1	1.1	5.4
	4	84.7	29.2	861.8	1.0	4.6
	5	89.1	31.6	1049.4	0.8	3.9
	6	81.9	27.1	736.3	0.9	4.6
	7	86.7	28.5	836.7	2.0	12.1
	8	79.1	27.8	781.3	1.1	4.1
	9	81.4	25.7	659.2	0.5	2.7
	10	84.9	28.0	791.4	1.2	6.0
	11	85.0	25.1	642.0	0.7	3.3
	12	82.5	25.7	661.4	0.6	3.3
13						
Promedio		84.5	29.9	966.2	1.2	6.2

Así, también el resto de los estadísticos correspondientes a todas las muestras sintéticas de las estaciones restantes se muestran en el anexo A.

3.5 Extrapolación de datos

Las fases de planeación, diseño, construcción y operación de los aprovechamientos hidráulicos, están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros. La complejidad de los procesos físicos de estos eventos hace casi imposible tener estimaciones confiables de diseño basadas en las leyes de la mecánica o la física, ya sea porque estos métodos son insuficientes o porque el modelo matemático resultante es muy complicado. Una alternativa en el análisis hidrológico es la aplicación de los conceptos de la teoría de probabilidad y estadística.

El análisis de frecuencias de una variable hidrológica se emplea para proveer la magnitud de un evento P_T , de cierto periodo de retorno T , para el diseño de una obra hidráulica. Sin embargo, el proyectista no sólo debe de estimar la magnitud del evento de diseño, sino que también debe proporcionar la probabilidad de excedencia, con el fin de fijar la seguridad del funcionamiento de la obra, o bien el riesgo de falla.

3.5.1 Periodo de retorno

En el análisis de frecuencias de una serie P_j^i de la estación j , para un conjunto de datos $i=1,2,\dots,n_j$, el primer objetivo es determinar el intervalo de recurrencia o periodo de retorno T en años, de un evento hidrológico dada una magnitud x . El periodo 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.

$$T = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{[1 - P(X \leq x)]} \quad \text{Ecuación 3.49}$$

Conocidos los periodos de retorno correspondientes a cada uno de los datos de una muestra, es posible conocer su distribución de probabilidades y con ello ajustarle una función de distribución de probabilidad.

3.5.1.1 Asignación de periodo de retorno (T_r)

Ligado a cada altura de precipitación se asoció un periodo de retorno, garantizando de esta forma la precipitación no sea rebasada en el diseño de obras hidráulicas, en este trabajo se empleó la fórmula de Weibull.

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Ecuación 3.50

3.5.2 Funciones de distribución de probabilidad

En la tabla 3.18 se presenta un resumen de algunas de las funciones de distribución de probabilidad más comunes en hidrología que se pueden aplicar a series anuales de variables hidrológicas.

Tabla 3.18. Funciones de distribución de probabilidad.

Nombre	Función de Densidad	Función de Probabilidad	Métodos
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}}$	$F(x) = \int f(x) dx$ $= e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}}$	1 2 3 4
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$	1 2 3
Log-Normal 2p	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$		1 2
Log-Normal 3p	$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$		1 2
Gamma 2p	$f(x) = \frac{(x^{\beta-1}) \left(e^{-\frac{x}{\alpha}}\right)}{\alpha^\beta G(\beta)}$	$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{(x^{\beta-1}) \left(e^{-\frac{x}{\alpha}}\right)}{\alpha^\beta G(\beta)} dx$	1 2 3
Gamma 3p	$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta G(\beta)} \left(\frac{((x-x_0)^{\beta-1}) \left(e^{-\frac{x}{\alpha}}\right)}{\alpha} \right) \left(e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} \right)$		1 2
Exponencial con parámetro β	$f(x) = \beta e^{-\beta x}$	$F(x) = 1 - e^{-\beta x}$	1 2
Exponencial con parámetro β y x_0	$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}$	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}$	1 2

El modelo matemático que representa la función de distribución de probabilidad, generalmente no tiene solución analítica por lo que es necesario recurrir a métodos para estimar los parámetros de los mismos. Dentro de los métodos que se pueden utilizar se encuentran:

1. Momentos
2. Máxima Verosimilitud
3. Momentos-L
4. Máxima Entropía

Para realizar el ajuste de las muestras con tamaño menor, igual o mayor al número de años de registro a las funciones de distribución de probabilidad a las en cada una de las 24 estaciones seleccionadas, se utilizó el programa AX (Jiménez, 1997).

3.5.3 Programa AX

El programa AX.V 2.0.1 (Jiménez, 1992) permite ajustar series de datos hidrológicos a distintas funciones de distribución de probabilidad, calcula el error estándar de ajuste de cada una de ellas (figura 3.11) y estima valores para diferentes períodos de retorno (figura 3.12).

Las funciones de probabilidad que contempla el programa son: Normal, Log-normal 2p, Log-normal 3p, Gumbel, Exponencial, Gamma 2p, Gamma 3p y doble Gumbel.

Los métodos para estimar los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad son: momentos y máxima verosimilitud. Para la función Doble Gumbel utiliza el método de mínimos cuadrados.

Resumen de errores estándar Archivo analizado: 11028_40A.txt

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5.714	-----	5.714	-----
Lognormal	11111.000	11111.000	NaN	47.808
Gumbel	6.752	-----	11.113	-----
Exponencial	8.430	-----	30.160	-----
Gamma	6.482	6.889	13.789	NaN
Doble Gumbel	7.489			

Mínimo error estándar: 5.714

Calculado por la función: Normal (momentos)

Aceptar

Figura 3.11. Funciones de distribución de probabilidad y métodos de solución.

Extrapolación de valores

	No	Tr	Dato calculado
▶	1	2	48.8
	2	5	63.5
	3	10	73.3
	4	20	82.7
	5	50	94.8
	6	100	103.8
	7	200	112.9
	8	500	124.8
	9	1000	133.8
	10	2000	142.9
	11	5000	154.8
*	12	10000	163.8

Figura 3.12. Ajuste de FDP para distintos periodos de retorno.

Así, las series con longitudes de registro de 20, 50, 75, completa y 1,000 años de las 24 estaciones seleccionadas, se ajustaron a las diferentes funciones de distribución de probabilidad con el programa AX. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23 respectivamente.

Tabla 3.19. Extrapolación de datos con series de 20 años de longitud.

Tr	Precipitación (mm)											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
2	42.5	29.2	22.2	38.4	35.2	43.1	67.7	36.2	49.9	56.1	70.1	91.2
5	55.4	103.6	74.2	50.2	52.8	57.8	90.0	64.2	69.4	79.4	105.9	142.6
10	62.2	181.3	84.6	56.4	62.0	65.5	101.7	90.6	82.2	91.6	129.6	180.1
20	67.8	222.0	90.7	61.6	69.6	71.8	111.4	115.6	94.6	101.8	152.3	218.4
50	74.1	268.4	97.8	67.3	78.2	79.0	122.3	146.1	110.6	113.1	181.7	271.4
75	76.6	288.0	100.8	69.6	81.6	81.9	126.6	159.1	117.6	117.6	194.6	295.9
100	78.3	301.7	103.1	71.2	83.9	83.8	129.5	168.2	122.6	120.7	203.8	313.7
500	86.8	377.1	115.9	79.0	95.5	93.5	144.2	218.5	150.3	136.0	254.7	420.6
1,000	90.1	409.4	121.9	82.0	99.9	97.2	149.9	240.0	162.2	141.9	276.6	471.5
2,000	93.1	441.2	128.4	84.8	104.1	100.7	155.2	261.5	174.1	147.5	298.5	525.2
5,000	97.0	483.9	137.9	88.3	109.4	105.0	161.8	290.0	189.8	154.4	327.4	594.8
10,000	99.7	516.7	146.3	90.8	113.1	108.2	166.6	311.2	201.7	159.4	349.3	657.1

Tr	Precipitación (mm)											
	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
2	39.3	19.3	19.1	60.5	40.0	40.8	63.0	52.7	62.3	81.7	61.4	60.3
5	53.5	32.0	52.2	100.9	52.4	58.5	79.9	69.8	85.5	137.5	123.6	86.6
10	60.9	40.4	62.3	127.7	58.9	67.8	88.7	78.9	97.7	189.6	176.9	100.5
20	67.1	48.4	68.4	153.3	64.3	75.5	96.1	86.3	107.7	239.3	211.6	111.9
50	74.0	58.9	75.6	186.5	70.3	84.1	104.3	94.7	119.0	300.2	251.6	124.7
75	76.7	63.4	78.6	201.1	72.7	87.5	107.6	98.0	123.5	326.2	268.5	129.8
100	78.6	66.7	80.8	211.4	74.4	89.9	109.8	100.3	126.6	344.4	280.4	133.3
500	87.9	84.7	92.6	268.9	82.5	101.5	121.0	111.6	141.9	444.9	345.5	150.6
1,000	91.5	92.5	97.8	293.7	85.7	106.0	125.2	115.9	147.7	488.0	373.4	157.3
2,000	94.9	100.2	102.9	318.4	88.6	110.2	129.3	120.0	153.3	531.0	400.8	163.6
5,000	99.1	110.5	109.8	351.0	92.3	115.5	134.3	125.1	160.2	588.0	437.7	171.4
10,000	102.1	118.2	115.0	375.8	95.0	119.3	137.9	128.8	165.1	630.3	466.9	177.0

Tabla 3.20. Extrapolación de datos con series de 50 años de longitud.

Tr	Precipitación (mm)											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
2	49.4	33.5	22.1	39.2	39.7	52.7	62.7	31.3	52.2	58.5	67.4	90.4
5	61.1	66.4	51.2	55.2	55.7	69.5	93.2	47.0	67.2	79.3	100.4	166.4
10	67.3	124.0	73.3	71.6	66.4	80.2	106.3	69.2	84.0	93.0	122.9	188.9
20	72.3	172.6	95.4	85.5	76.8	90.3	114.6	90.2	98.1	106.2	137.5	203.5
50	78.0	228.5	124.6	102.0	90.4	103.3	124.1	114.6	114.6	123.2	154.4	220.7
75	80.3	252.0	137.5	108.9	96.5	108.9	128.2	124.9	121.6	130.7	161.6	228.0
100	81.9	268.5	146.6	113.8	100.8	112.9	131.0	132.1	126.5	136.0	166.6	233.2
500	89.6	359.0	197.9	140.7	125.8	135.3	146.7	171.7	153.4	165.5	194.2	262.2
1,000	92.5	397.7	219.9	152.2	137.1	145.2	153.4	188.7	164.9	178.2	206.0	275.0
2,000	95.3	436.4	242.0	163.7	148.7	155.1	160.0	205.5	176.3	190.9	217.7	288.0
5,000	98.8	488.2	271.2	178.6	163.3	167.5	168.9	227.4	191.7	207.7	233.1	305.6
10,000	101.3	523.9	293.3	190.0	176.0	178.1	175.2	245.2	202.4	220.4	244.9	318.7

Tr	Precipitación (mm)											
	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
2	39.9	23.8	27.1	63.7	42.6	45.5	57.7	56.6	69.3	104.5	75.5	74.8
5	53.7	37.3	48.6	122.4	52.9	62.6	78.3	75.5	93.5	139.2	129.5	118.9
10	62.7	46.0	63.2	161.2	59.2	73.8	116.0	88.1	108.1	162.5	164.2	177.1
20	71.3	54.1	77.1	188.2	65.0	84.6	162.4	100.1	121.2	185.2	188.8	240.0
50	82.3	64.2	94.6	219.6	72.1	98.6	216.4	115.6	137.0	215.0	217.6	315.0
75	87.2	68.4	102.0	233.0	75.2	104.8	239.1	122.4	143.7	228.3	229.8	346.8
100	90.6	71.4	107.1	242.3	77.4	109.1	255.1	127.3	148.3	237.8	238.3	369.0
500	110.1	86.7	131.7	293.8	89.2	133.4	342.7	154.2	172.6	292.2	285.5	491.0
1,000	118.8	92.3	139.4	315.7	94.2	143.8	380.1	165.8	182.5	316.9	305.6	543.2
2,000	127.6	97.0	144.9	337.8	99.2	154.2	417.6	177.4	191.8	342.3	325.7	595.0
5,000	138.6	101.5	149.2	367.1	105.4	168.0	466.0	192.7	203.3	374.2	352.9	664.0
10,000	148.0	103.5	150.8	387.5	110.6	178.4	505.2	204.2	210.0	402.0	371.6	718.6

Tabla 3.21. Extrapolación de datos con series de 75 años de longitud.

Tr	Precipitación (mm)											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
2	49.6	32.7	25.0	41.9	39.3	53.8	69.2	36.2	57.1	60.5	69.9	86.4
5	64.6	59.7	51.0	49.2	51.7	68.7	81.3	48.1	64.5	88.3	109.7	133.8
10	74.5	99.5	70.6	53.7	59.7	78.1	88.7	56.2	68.9	120.8	131.4	164.2
20	84.1	143.9	90.2	57.9	67.4	86.9	95.6	64.0	72.9	151.0	145.0	192.4
50	96.4	196.4	116.1	63.2	77.3	97.9	104.2	74.3	77.8	186.8	160.8	227.3
75	101.8	218.5	127.5	65.4	81.6	102.6	107.9	78.9	79.8	201.9	167.5	242.1
100	105.6	234.0	135.7	67.0	84.7	105.9	110.5	82.2	81.3	212.5	172.2	252.4
500	127.0	319.3	181.2	75.8	102.1	124.4	124.7	101.0	89.0	270.8	197.9	305.9
1,000	136.2	355.5	200.8	79.6	109.8	132.5	130.9	109.6	92.3	295.7	208.9	325.8
2,000	145.4	391.9	220.4	83.3	117.7	140.5	137.0	118.3	95.5	320.5	219.8	342.7
5,000	157.5	439.0	246.3	88.0	127.4	150.5	144.5	129.4	99.4	352.7	234.7	359.6
10,000	166.7	474.8	265.9	91.9	135.9	158.9	150.9	139.1	102.7	378.8	245.0	367.7

Tr	Precipitación (mm)											
	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
2	42.0	27.4	27.9	69.2	42.9	44.6	52.5	72.9	73.6	124.1	81.6	83.0
5	55.9	43.1	60.0	114.6	53.5	59.6	74.2	106.0	95.0	197.6	116.9	125.3
10	65.0	53.3	88.5	149.1	59.0	69.6	104.1	130.2	109.0	254.4	141.1	156.1
20	73.8	62.7	121.7	185.3	63.6	79.1	141.8	154.8	122.5	314.8	164.8	187.4
50	85.2	74.4	173.7	236.7	68.8	91.5	187.4	188.8	140.0	401.4	196.3	230.6
75	90.2	79.3	219.9	260.9	70.8	96.9	206.7	204.6	147.7	442.5	210.5	250.5
100	93.7	82.8	272.8	278.6	72.2	100.8	220.2	215.9	153.2	472.7	220.6	264.9
500	113.4	100.6	354.1	387.7	79.2	122.2	294.6	284.3	184.3	660.4	279.4	351.6
1,000	121.9	107.2	426.0	440.9	81.9	131.4	326.3	316.7	198.2	752.8	306.3	392.6
2,000	130.4	112.5	507.2	497.9	84.4	140.6	358.1	351.0	212.4	852.4	334.1	435.9
5,000	141.6	117.6	620.2	572.8	87.5	152.8	400.1	395.3	230.2	984.1	369.3	492.0
10,000	150.0	120.4	728.5	640.8	89.8	162.0	431.3	435.0	245.6	1104.4	400.2	542.1

Tabla 3.22. Extrapolación de datos con series completas.

Tr	Precipitación (mm)											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
2	48.8	34.8	25.5	39.7	38.9	55.4	70.4	36.2	56.9	58.9	72.1	81.9
5	63.5	60.2	77.5	53.3	53.1	72.1	83.7	53.2	74.6	85.3	102.2	129.5
10	73.3	92.3	139.5	62.2	62.5	83.2	92.1	65.1	86.0	114.4	122.7	160.3
20	82.7	128.9	226.9	70.7	71.6	93.8	99.9	76.9	96.7	143.1	142.7	188.8
50	94.8	173.3	392.9	81.7	83.4	107.5	109.6	92.8	110.4	177.7	169.1	224.4
75	100.1	192.1	488.9	86.6	88.6	113.6	113.9	100.0	116.4	192.3	180.9	239.5
100	103.8	205.2	566.6	90.1	92.4	117.8	116.8	105.1	120.6	202.6	189.4	249.9
500	124.8	277.6	1189.7	109.6	113.6	141.6	133.2	135.4	144.1	259.1	238.2	304.0
1,000	133.8	308.7	1587.9	118.3	123.2	151.9	140.3	149.4	154.5	283.3	260.4	323.8
2,000	142.9	339.7	2086.3	127.2	133.0	162.1	147.5	164.0	164.9	307.2	283.3	340.1
5,000	154.8	380.6	2858.8	138.3	145.2	175.6	156.3	182.5	177.9	339.2	312.2	355.7
10,000	163.8	411.0	3678.3	147.9	155.9	185.8	163.8	198.9	189.0	363.0	337.5	362.8

Tr	Precipitación (mm)											
	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
2	41.5	28.3	26.1	67.4	42.3	46.3	52.3	59.4	69.5	107.1	81.6	78.1
5	55.6	46.1	51.2	112.7	53.6	61.5	74.1	78.4	101.8	157.8	119.3	125.4
10	64.8	57.8	82.3	147.5	59.6	69.5	100.2	89.8	124.2	191.4	144.3	160.6
20	73.5	68.7	110.0	184.1	64.5	76.1	133.7	99.9	146.5	223.6	168.3	197.1
50	84.8	82.3	142.4	236.3	70.0	83.5	176.0	112.2	176.3	265.2	199.3	248.1
75	89.7	88.0	156.0	261.0	72.2	86.4	194.0	117.3	189.8	283.5	213.0	271.9
100	93.2	92.0	165.6	279.1	73.6	88.4	206.6	120.8	199.5	296.5	222.6	289.3
500	113.0	112.4	218.4	391.0	81.1	98.4	275.8	139.5	256.3	368.7	276.4	394.8
1,000	121.8	119.6	240.7	445.8	83.9	102.3	305.4	147.0	282.5	399.7	299.5	445.5
2,000	130.7	125.6	263.2	504.7	86.6	105.9	335.0	154.4	309.8	430.7	322.6	499.5
5,000	141.9	130.4	292.3	582.3	90.0	110.4	373.2	163.5	344.5	471.7	353.1	569.9
10,000	151.4	132.6	315.9	652.9	92.4	113.7	404.2	169.0	375.1	502.7	376.2	633.4

Tabla 3.23. Extrapolación de datos con series de 1,000 años de longitud.

Tr	Precipitación (mm)											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
2	48.8	35.8	25.9	48.0	37.1	54.3	67.1	36.5	55.6	61.9	70.3	75.1
5	65.0	76.8	78.1	63.4	51.6	62.0	77.4	50.3	61.4	77.1	100.0	116.7
10	75.3	113.8	138.5	73.1	61.1	67.2	84.2	59.3	66.3	87.3	119.9	146.8
20	84.9	157.2	222.0	82.2	70.2	72.1	90.8	67.9	71.8	97.0	139.2	177.5
50	97.1	226.0	377.5	93.6	82.0	78.5	99.3	79.0	79.9	109.5	164.4	219.9
75	106.2	287.6	537.6	102.1	90.9	83.2	105.6	87.3	86.9	118.9	183.7	253.6
100	115.2	358.6	742.9	110.5	99.9	88.0	111.9	95.6	94.7	128.3	203.2	289.0
500	127.1	468.5	1099.8	121.6	111.9	94.3	120.3	106.7	106.4	140.7	229.5	338.5
1,000	136.3	566.2	1452.9	130.1	121.2	99.0	126.6	115.4	116.4	150.0	250.2	378.8
2,000	145.5	677.3	1890.3	138.7	130.8	103.7	132.9	124.2	127.4	159.4	271.5	421.2
5,000	157.0	832.7	2561.1	149.2	142.7	110.0	141.3	135.2	142.5	171.7	298.2	476.2
10,000	166.7	982.2	3265.3	158.2	153.0	114.8	147.6	144.7	156.5	181.1	321.5	525.2

Tr	Precipitación (mm)											
	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
2	41.3	27.0	27.2	69.7	40.6	43.3	54.4	58.7	70.3	104.9	80.1	77.2
5	52.4	38.1	54.5	110.3	50.9	55.1	64.3	66.2	85.2	129.1	107.9	103.9
10	59.3	45.7	78.0	140.3	56.9	62.1	73.2	71.1	95.1	145.2	126.3	124.0
20	65.7	53.0	104.8	171.0	62.3	68.5	83.6	75.9	104.6	160.5	144.0	145.0
50	73.8	62.8	145.9	213.8	68.8	76.3	100.3	82.0	116.8	180.5	166.9	174.6
75	79.7	70.2	181.9	248.1	73.5	81.9	115.3	86.6	126.0	195.4	184.0	198.6
100	85.5	77.8	222.4	284.3	77.9	87.3	132.5	91.2	135.2	210.2	201.1	224.3
500	93.1	88.2	283.8	335.4	83.7	94.3	159.3	97.2	147.3	229.8	223.6	260.8
1,000	98.9	96.3	337.3	377.2	87.9	99.5	183.2	101.8	156.4	244.7	240.6	290.9
2,000	104.8	104.7	397.2	421.4	92.1	104.7	210.4	106.4	165.5	259.5	257.6	323.1
5,000	111.9	115.3	479.6	478.9	97.1	110.9	248.6	112.4	177.6	279.1	280.1	365.4
10,000	118.0	124.6	557.5	530.5	101.3	116.1	285.3	117.0	186.7	293.9	297.2	403.5

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se analizarán los datos que se obtuvieron al ajustar funciones de distribución de probabilidad las diferentes muestras obtenidas en cada una de las 24 estaciones seleccionadas.

El análisis consiste en comparar los valores de precipitación con una función de distribución de probabilidad con los medidos y la evaluación de la incertidumbre.

4.1 Comparación de la precipitación medida y extrapolada

Una función de distribución de probabilidad es únicamente un estimado de una muestra de una cierta población, es probable que otra muestra de la misma longitud medida en diferente tiempo o la misma población, se le ajuste otra función de distribución de probabilidad.

En este proceso se puede cometer algún error o generar incertidumbre. Por ello, en este apartado se analiza el cambio de la función de distribución de probabilidad, y el valor de las variables extrapoladas en función del número de años de registro.

Para ello, se compara la precipitación asociada a distintos periodos de retorno de las muestras con longitudes de registro diferentes (20, 50, 75, completa y 1,000 años) con los valores de precipitación medida con igual longitud de registro con la muestra completa y con la muestra de 1,000 años (el Tr se asignó con la fórmula de Weibull). También se presenta la FDP con la que se obtuvo el menor error estándar.

Así, en la tabla 4.1 y figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se presentan los resultados para la estación 13012 Huichapan, Hidalgo; en la tabla 4.2 y figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 los resultados de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato; en la tabla 4.3 y figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 los resultados de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz. En el anexo B se presentan los resultados para las estaciones seleccionadas restantes.

Tabla 4.1. Valores extrapolados de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo.

N° Datos	20		50		75		Total		1,000		
Tr	Precipitación (mm)										
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	
2	29.2	38.5	33.5	37.5	32.7	39.0	34.8	40.6	35.8	48.2	
5	103.6	103.7	66.4	61.6	59.7	56.0	60.2	58.5	76.8	59.4	
10	181.3	213.8	124	108.1	99.5	71.2	92.3	70.8	113.8	68.1	
20	222	247.0	172.6	195.4	143.9	172.0	128.9	115.4	157.2	75.9	
50	268.4	[Grayscale]	228.5	248.8	196.4	228.8	173.3	208.2	226	82.1	
75	288		252	218.5	249.2	192.1	229.9	287.6	89.2		
100	301.7		268.5	234	205.2	243.9	358.6	98.4			
500	377.1		359	319.3	277.6	468.5	218.9				
1,000	409.4		397.7	355.5	308.7	566.2	249.9				
2,000	441.2		436.4	391.9	339.7	677.3	[Grayscale]				
5,000	483.9		488.2	439	380.6	832.7					
10,000	516.7		523.9	474.8	411	982.2					
FDP	Doble Gumbel		Doble Gumbel		Doble Gumbel			Doble Gumbel		Lognormal	

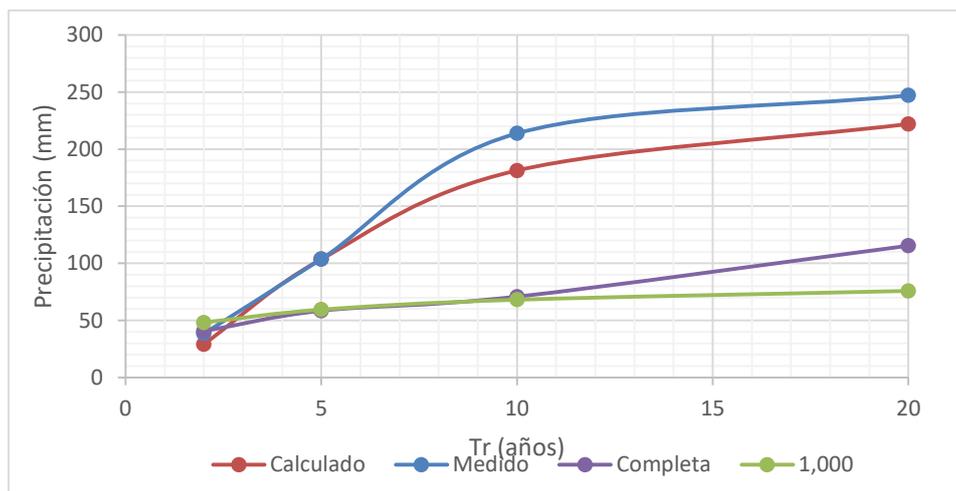


Figura 4.1. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 20 años

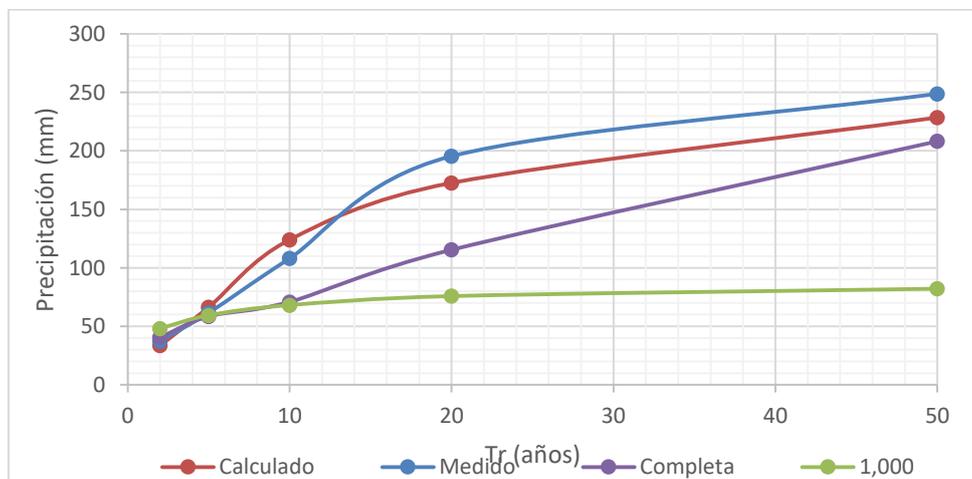


Figura 4.2. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 50 años.

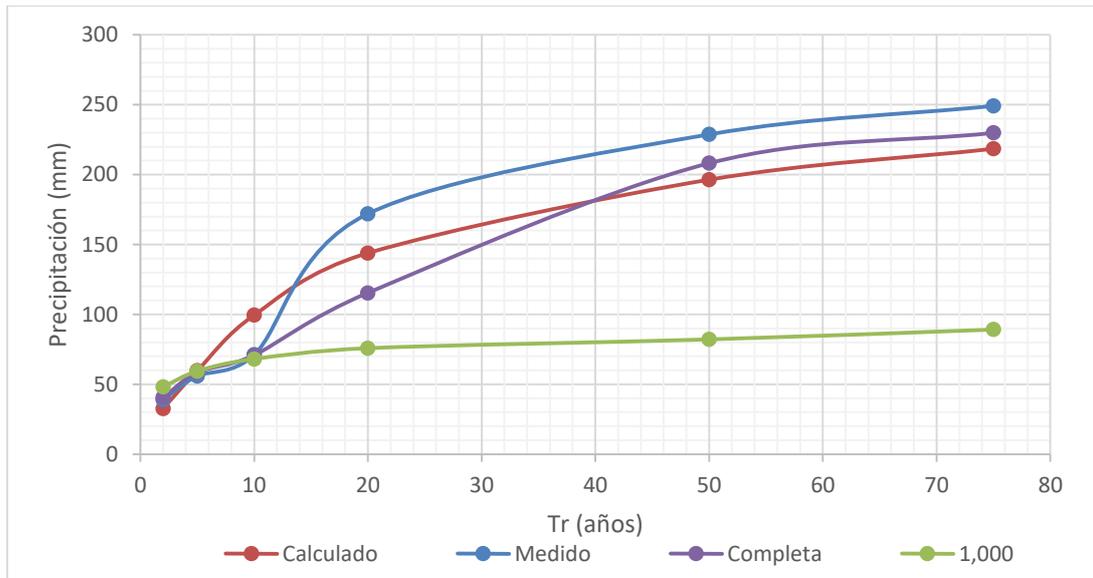


Figura 4.3. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 75 años.

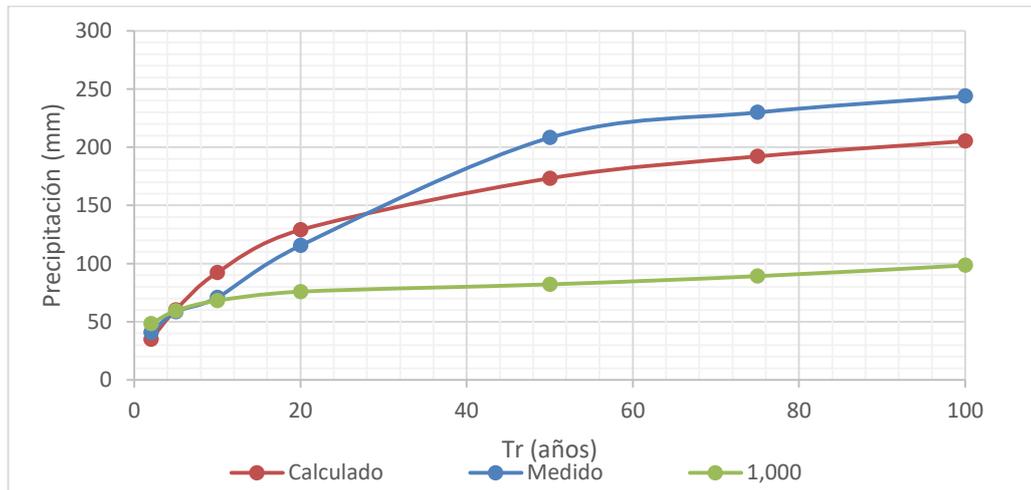


Figura 4.4. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud completa.

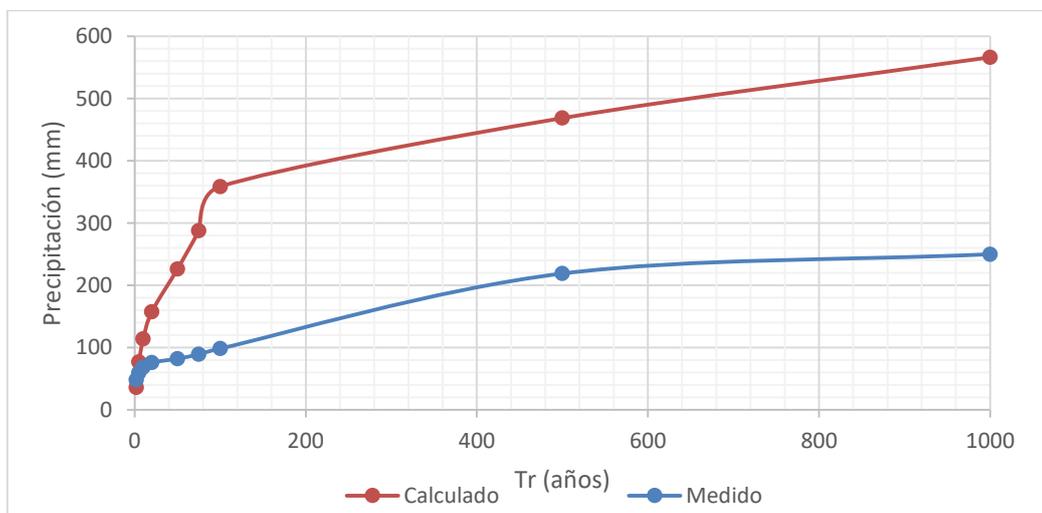


Figura 4.5. Extrapolación de los datos de la estación 13012 Huichapan, Hidalgo con longitud de 1,000 años.

Tabla 4.2. Valores extrapolados de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato.

N° Datos	20		50		75		Total		1,000	
Tr	Precipitación (mm)									
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
2	38.4	39.2	39.2	40.0	41.9	40.0	39.7	40.0	48.0	48.3
5	50.2	50.6	55.2	54.4	49.2	51.8	53.3	51.4	63.4	59.7
10	56.4	59.7	71.6	65.0	53.7	61.1	62.2	59.4	73.1	66.1
20	61.6	64.5	85.5	77.4	57.9	75.2	70.7	71.5	82.2	71.8
50	67.3		102.0	125.2	63.2	94.8	81.7	83.5	93.6	80.0
75	69.6		108.9		65.4	125.8	86.6	108.8	102.1	82.3
100	71.2		113.8		67.0		90.1		110.5	83.7
500	79.0		140.7		75.8		109.6		121.6	106.4
1,000	82.0		152.2		79.6		118.3		130.1	127.0
2,000	84.8		163.7		83.3		127.2		138.7	
5,000	88.3		178.6		88.0		138.3		149.2	
10,000	90.8		190.0		91.9		147.9		158.2	
FDP	Normal		Doble Gumbel		Lognormal		Lognormal		Lognormal	

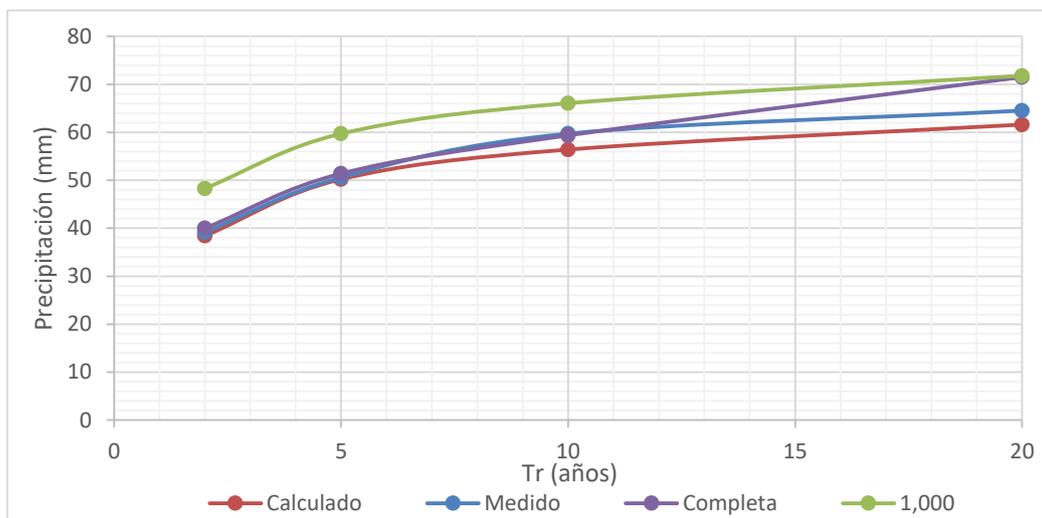


Figura 4.6. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 20 años.

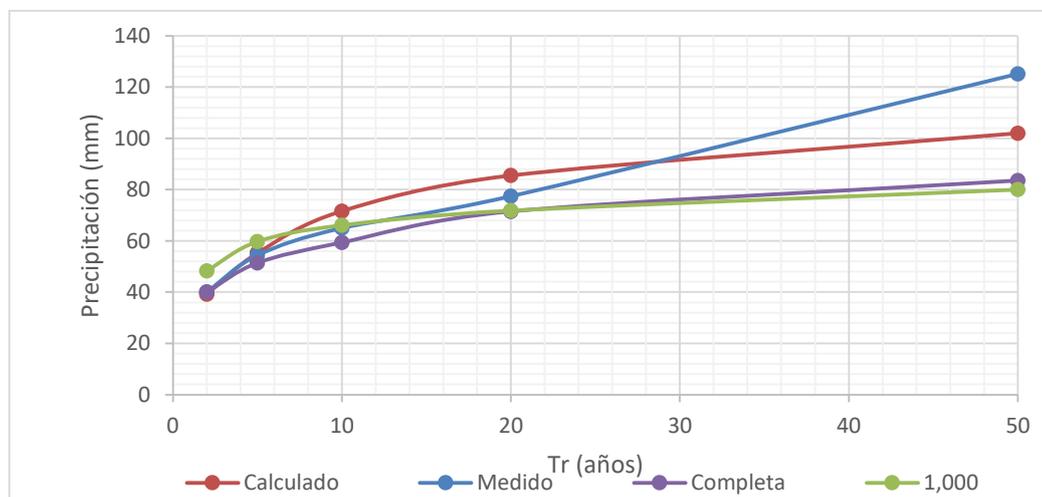


Figura 4.7. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 50 años.

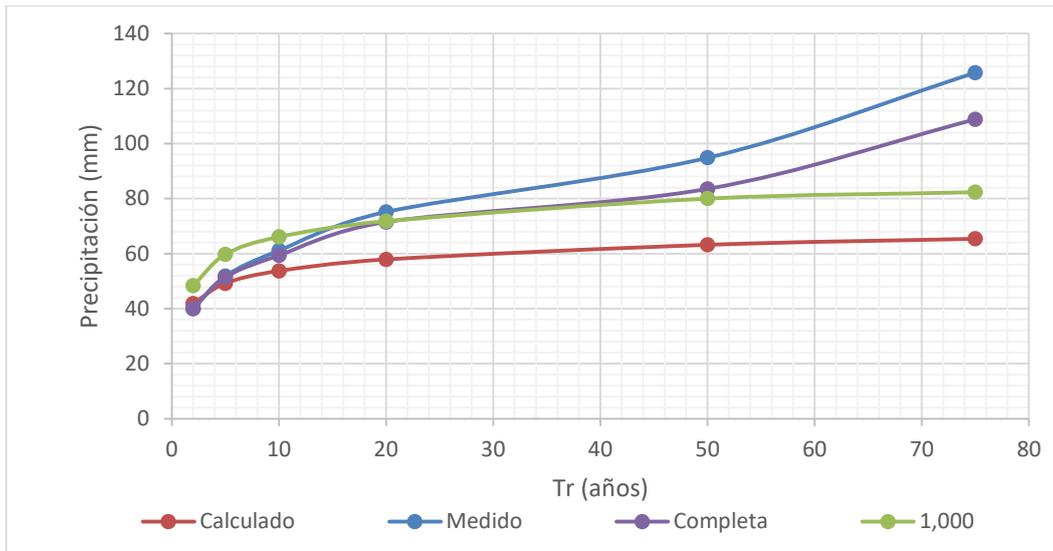


Figura 4.8. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 75 años.

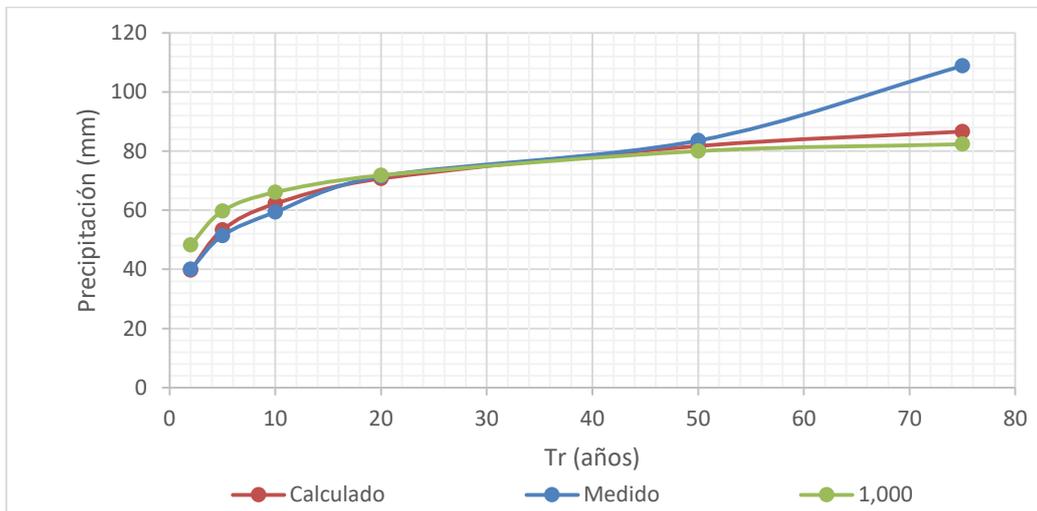


Figura 4.9. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud completa.

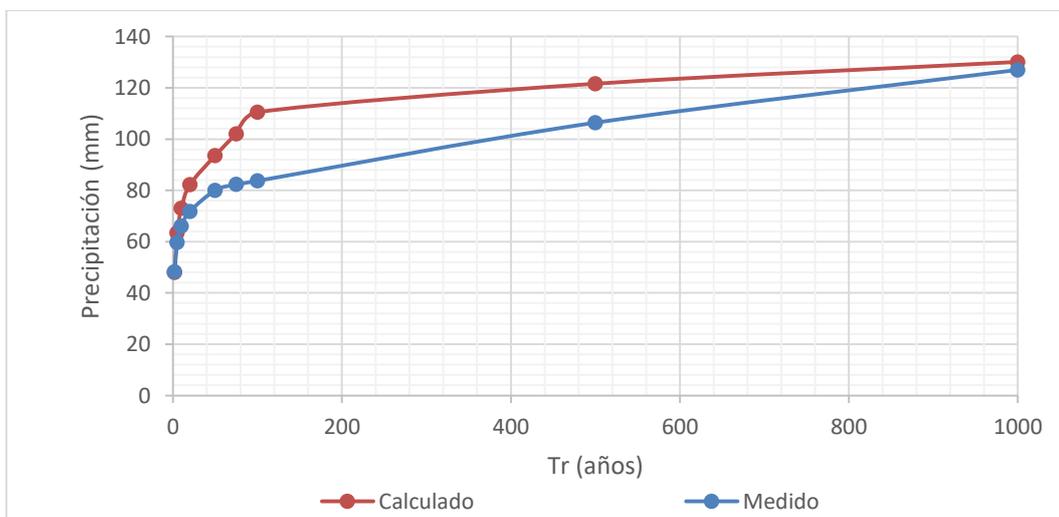


Figura 4.10. Extrapolación de los datos de la estación 11050 Ocampo, Guanajuato con longitud de 1,000 años.

Tabla 4.3. Valores extrapolados de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

N° Datos	20		50		75		Total		1,000		
Precipitación (mm)											
Tr	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	
2	60.3	60.3	74.8	75.2	83	85.0	78.1	85.0	77.2	79.7	
5	86.6	89.0	118.9	121.2	125.3	120.0	125.4	120.0	103.9	105.9	
10	100.5	99.0	177.1	153.8	156.1	157.5	160.6	156.7	124	123.8	
20	111.9	128.8	240	202.5	187.4	191.1	197.1	185.5	145	138.7	
50	124.7	128.8	315	424.4	230.6	282.1	248.1	242.6	174.6	160.8	
75	129.8		346.8	250.5	427.2	271.9	367.9	198.6	179.9		
100	133.3		369	264.9	289.3	224.3	184.1				
500	150.6		491	351.6	394.8	260.8	235.6				
1000	157.3		543.2	392.6	445.5	290.9	432.6				
2000	163.6		595	435.9	499.5	323.1	365.4				
5000	171.4		664	492	569.9	365.4					
10000	177		718.6	542.1	633.4	403.5					
FDP	Normal		Doble Gumbel		Lognormal		Lognormal		Lognormal		

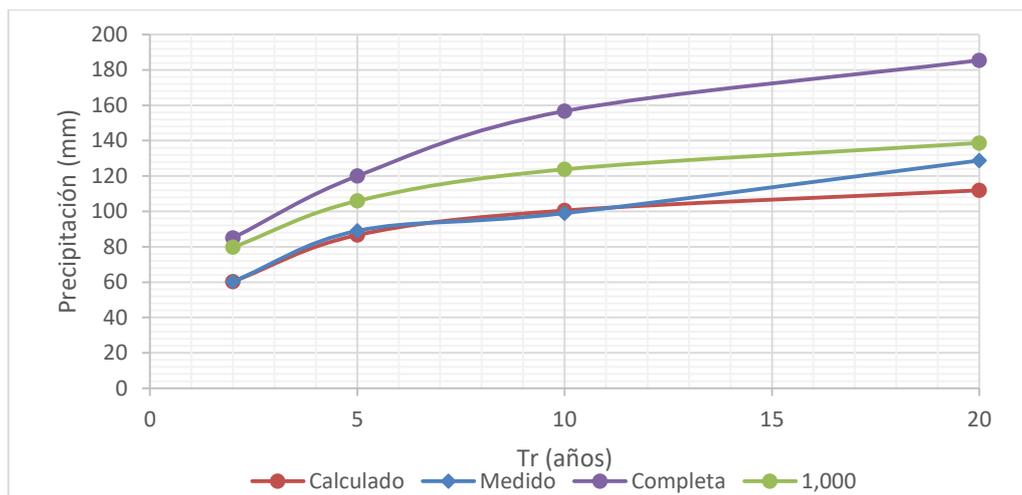


Figura 4.11. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 20 años.

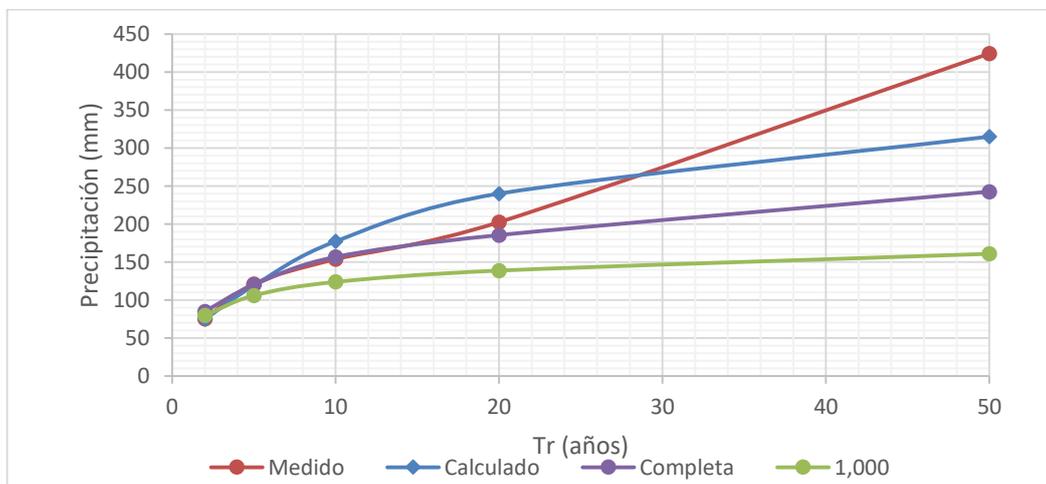


Figura 4.12. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 50 años.

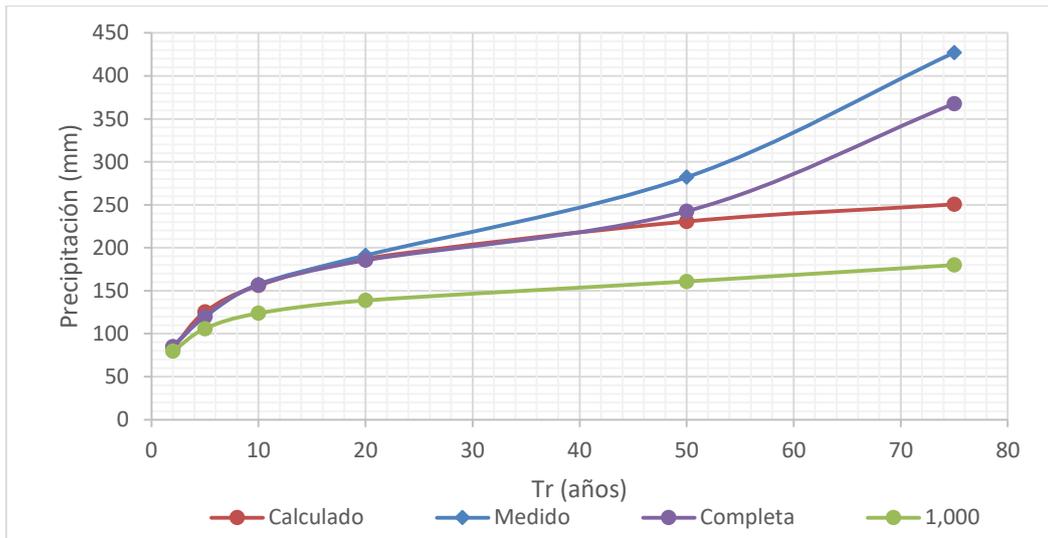


Figura 4.13. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 75 años.

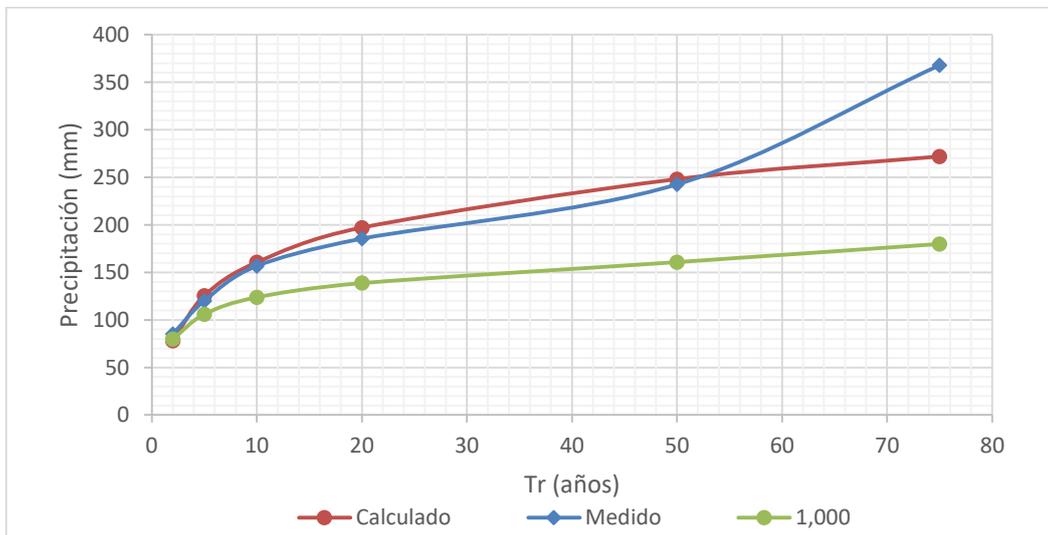


Figura 4.14. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud completa.

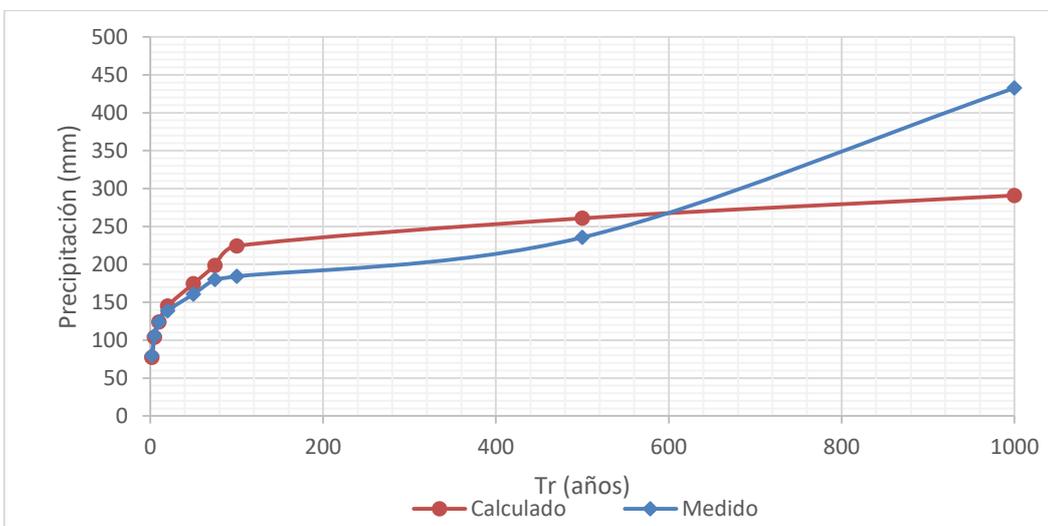


Figura 4.15. Extrapolación de los datos de la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz con longitud de 1,000 años.

En la estación 13012 Huichapan, Hidalgo; se puede ver muy claramente que al realizar las extrapolaciones con series de longitudes menores (20 y 50 años) el error o incertidumbre que se tiene es muy grande y mientras aumentan las longitudes de los registros en la series extrapoladas (75, completa y 1,000 años) esta incertidumbre disminuye.

La estación 11050 Ocampo, Guanajuato es un caso muy diferente desde las longitudes menores se puede observar que la incertidumbre o el error cometido al hacer la extrapolación es menor a la estación anterior, de echo en la extrapolación de la serie completa de la estación se puede ver en la gráfica 4.9 es técnicamente la misma. Mientras tanto, la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz presenta un comportamiento muy similar a la estación 11050 el cuales muy homogéneo, la incertidumbre cometida solo se puede evaluar a través de los límites de confianza que posteriormente se mencionan.

4.2 Incertidumbre

Cuando se da a conocer el resultado de la medición de una cierta cantidad, es indispensable dar un valor cuantitativo de la calidad del resultado, para que se pueda tener una idea de su confiabilidad.

Sin esto, es imposible hacer comparaciones de dichos resultados, ya sea entre ellos mismos, o con valores de referencia. Por ello, debe existir un procedimiento comprensible y aceptado generalmente que lleve a una evaluación y expresión apropiada de la incertidumbre.

La incertidumbre estadística es "la aleatoriedad o el error proveniente de usar la metodología estadística".

Así como se ha establecido y difundido el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI), se requiere instaurar un método "universal" para la evaluación y expresión de la incertidumbre en las mediciones, en los campos de la ciencia, la ingeniería, el comercio, la tecnología y las reglamentaciones en general.

El método ideal para la evaluación de la incertidumbre debe tener las siguientes propiedades:

- Universal: se podrá aplicar a todo tipo de mediciones y todo tipo de datos usados en las mediciones.
- Consistente internamente: debe ser derivable directamente de las componentes que contribuyen a ella, y ser independiente de cómo se agrupan esas componentes.
- Transferible: la incertidumbre evaluada para un resultado se debe poder usar directamente en la evaluación de la incertidumbre de otra medición en que se utilice dicho resultado.

4.2.1 Métodos para evaluar la incertidumbre

El método de evaluación de la incertidumbre debe ofrecer, la capacidad de calcular intervalos de confianza. Para ello, existen distintos métodos:

- La **incertidumbre de una medición** es un parámetro asociado con el resultado de esa medición, que caracteriza la dispersión de los valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurando.
- La **incertidumbre estándar** es la incertidumbre del resultado de una medición expresado como una desviación estándar.
- La **evaluación tipo A** es el método de evaluación de la incertidumbre por medio del análisis estadístico de una serie de observaciones.
- La **evaluación tipo B** es el método de evaluación de la incertidumbre por medios distintos al análisis estadístico de una serie de observaciones.
- La **incertidumbre estándar combinada** es la incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene de los valores de otras cantidades, y es igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, los cuales son las varianzas o covarianzas de estas otras cantidades ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con cambios en estas cantidades.
- La **incertidumbre expandida** es una cantidad que define un intervalo alrededor del resultado de una medición, y que se espera abarque una fracción grande de la distribución de valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurando.
- El **factor de cobertura** es un factor numérico utilizado como un multiplicador de la incertidumbre estándar combinada para obtener la incertidumbre expandida.
- El **error (de medición)** es el resultado de una medición menos el valor real del mensurando. No debe confundirse **error** con **incertidumbre**.

4.2.2 Errores

Cada vez que se mide se tiene la gran posibilidad de cometer algún tipo de error que ofrece un resultado más o menos alejado del que realmente se debería obtener. Entre los errores más comunes se pueden destacar dos grupos:

- Errores sistemáticos: son errores relacionados con la forma que se utiliza el instrumento de medida.
- Errores aleatorios o accidentales: que se producen debido a causas que no se pueden controlar.

Dado que todas las medidas están afectadas por un error experimental, en el mundo científico es común hacer constar cada resultado obtenido en una medición junto con la incertidumbre sobre esa medida. La incertidumbre es un valor numérico que se obtiene por medio del error absoluto y error relativo (Coronado, 2016).

4.2.2.1 Error absoluto

El error absoluto de una medida (ε_a) es la diferencia entre el valor real de la medida (\bar{X}) y el valor que se obtiene en la medición (X_i).

$$\varepsilon_a = \bar{X} - X_i \quad \text{Ecuación 4.1}$$

El error absoluto puede ser un valor positivo o negativo, según si la medida es superior al valor real o inferior y además tiene las mismas unidades que las de la medida.

Una vez que hemos calculado el error absoluto de cada una de las medidas obtenidas, podemos calcular lo que se denomina imprecisión absoluta. La imprecisión absoluta se puede considerar como el error absoluto del conjunto de medidas que hemos realizado.

La imprecisión absoluta (E_a) es la media de los errores absolutos tomados con signos positivos:

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{X} - X_i|}{n} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

4.2.2.2 Error relativo

Es el cociente entre el error absoluto y el valor que consideramos como exacto (la media). Al igual que el error absoluto puede ser positivo o negativo porque puede producirse por exceso o por defecto y al contrario que él no viene acompañado de unidades.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{X}$$

Ecuación 4.3

4.2.3 Límites de confianza

Los métodos mencionados anteriormente para el cálculo de la incertidumbre están muy enfocados a la experimentación que se realiza en los laboratorios en pruebas químicas, calibración de instrumentos, etc.

Los límites de confianza son empleados para estimar las incertidumbres asociadas con la determinación de los eventos para periodos de retorno específicos.

Puesto que una distribución de frecuencias es únicamente un estimado de la muestra de cierta población, es probable que otra muestra de igual longitud de esa misma población, pero tomada en diferente tiempo produzca otra curva de frecuencias. Los límites o intervalos de confianza definen el rango dentro del cual se espera que se ubiquen estas curvas con cierto nivel de confianza, esto es:

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm u_\alpha S_T$$

Ecuación 4.4

Donde \hat{X}_l son los límites de confianza superior e inferior, \hat{X}_T el evento obtenido a partir de la función de distribución para cierto periodo de retorno, u_α la desviación normal estándar para un nivel de confianza α (Con límites al 99% $\alpha = 0.01$ y $u_\alpha = 2.576236$) y S_T la desviación estándar de los eventos estimados para un periodo de retorno.

Las expresiones empleadas para determinar S_T algunas distribuciones son:

Distribución Normal

La desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por momentos y máxima verosimilitud

$$S_T = \left[1 + \frac{U_T^2}{2} \right]^{1/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 4.5

$$U_T \approx v - \frac{b_0 + b_1 v + b_2 v^2}{1 + b_3 v + b_4 v^2 + b_5 v^3} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde $b_0 = 2.515517$, $b_1 = 0.802853$, $b_2 = 0.010328$, $b_3 = 1.432788$, $b_4 = 0.189269$, $b_5 = 0.001308$

$$v = \sqrt{\ln \left\{ \frac{1}{[F(x)]^2} \right\}} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Para una probabilidad acumulada $0.5 < F(x) \leq 1$ se cambia $F(x)$ por $[1 - F(x)]$ en la expresión 4.5 y el signo al valor de U_T calculado con la ecuación 4.7, aquí $F(x) = 1/T$ y T = periodo de retorno en años.

Distribución Log Normal con 2 parámetros

La desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por momentos es:

$$S_T = \left[1 + \frac{U_T^2}{2} \right]^{1/2} \frac{\hat{\sigma}_y}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

La desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por máxima verosimilitud es:

$$S_T = \hat{\sigma}_y \hat{X}_T \left[\frac{1 + \frac{U_T^2}{2}}{n} \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Distribución Gumbel

La desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por momentos

$$S_T = \left[\frac{\hat{\sigma}_y^2}{n} (1 + 1.1396k_T + 1.10k_T^2) \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$k_T = -\left\{0.45 + 0.7797 \ln \left[\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \text{ donde } T = \frac{n+1}{m} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

La desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por máxima verosimilitud es:

$$S_T = \left[\frac{1}{n\hat{\alpha}^2} (1.1086 + 0.514y_T + 0.6079y_T^2) \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Con base en lo anterior, se calcularon los límites de confianza al 99 % con la finalidad de conocer la confiabilidad de los valores extrapolados.

Los resultados obtenidos, para las muestras con distintas longitudes de registro se presentan en las figuras 4.16 – 4.20 para la estación 13012 Huichapan, Hidalgo en las figuras 4.21 – 4.25 para la estación 11050 Ocampo, Guanajuato y en las figuras 4.26 – 4.30 para la estación 30163 Soledad de Doblado, Veracruz.

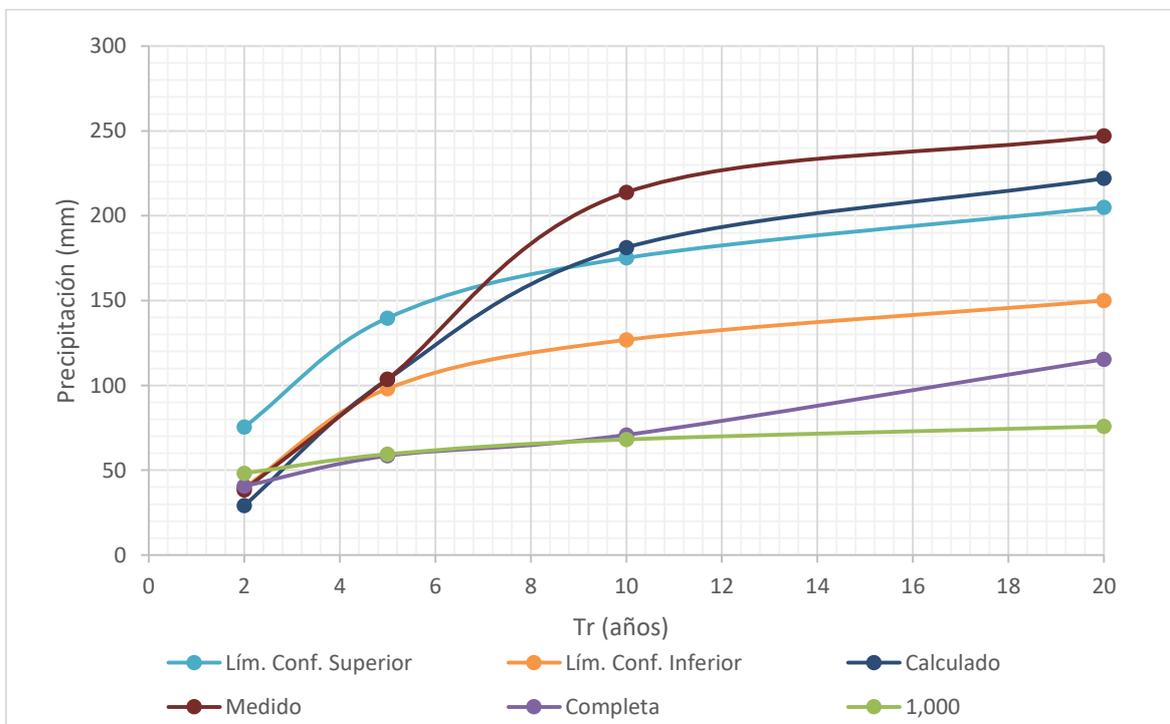


Figura 4.16. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (20 años).

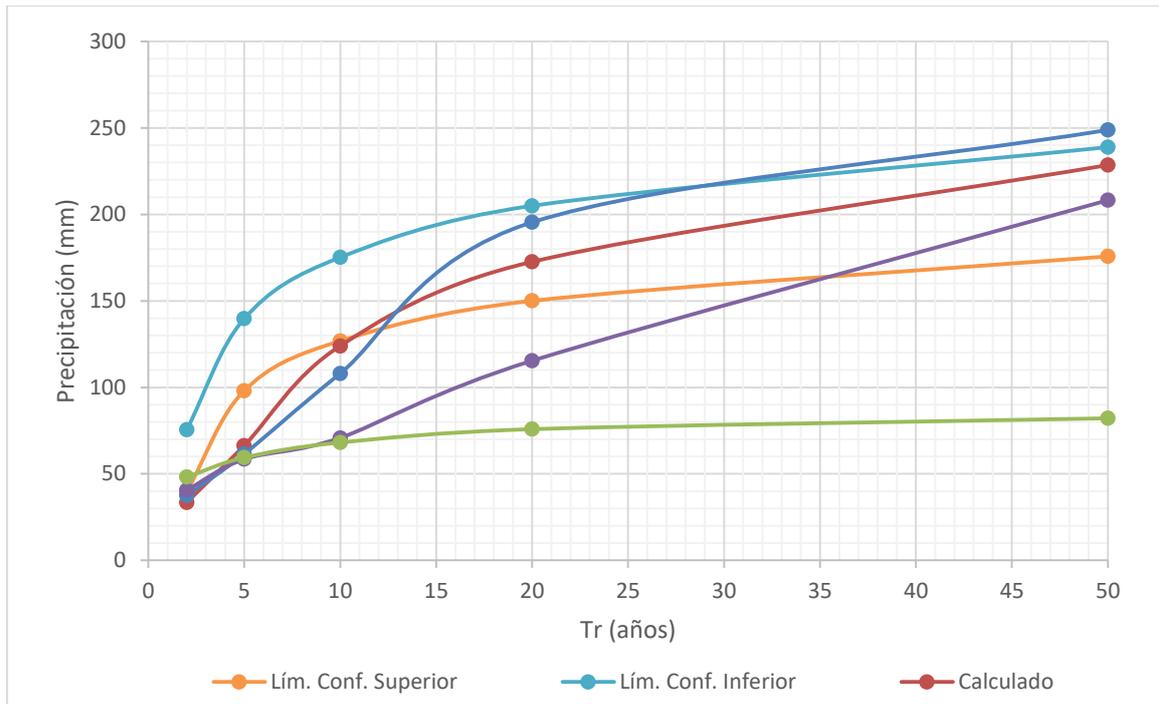


Figura 4.17. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (50 años).

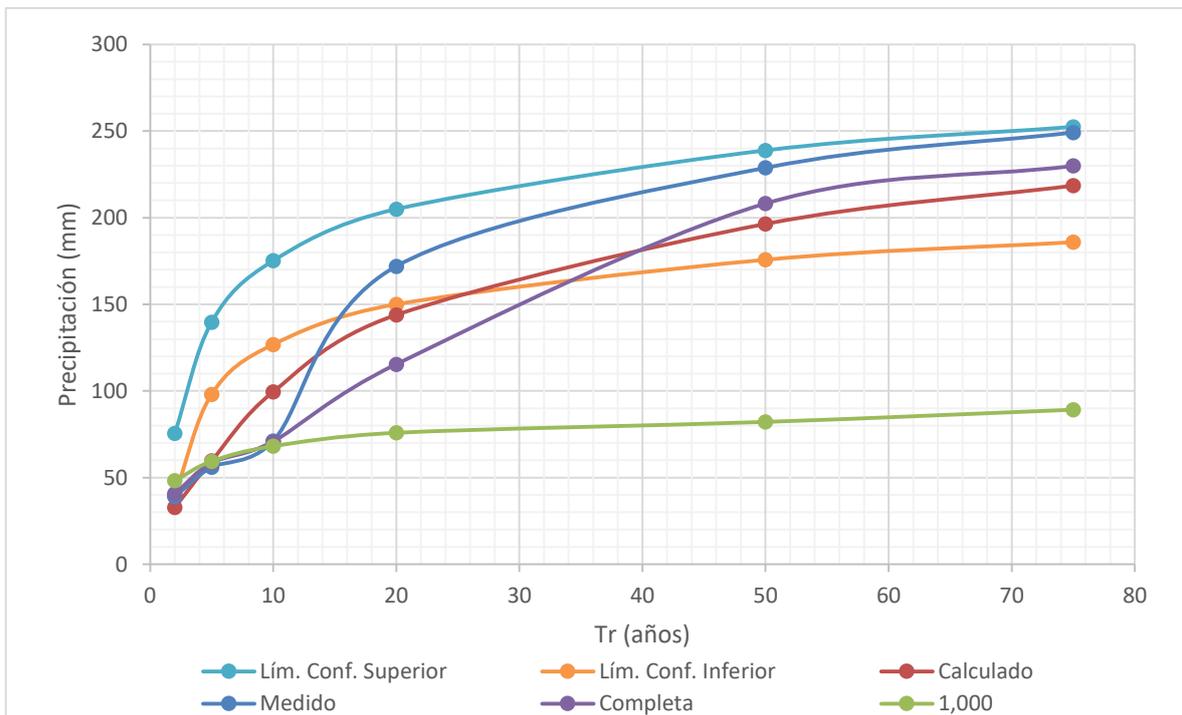


Figura 4.18. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (75 años).

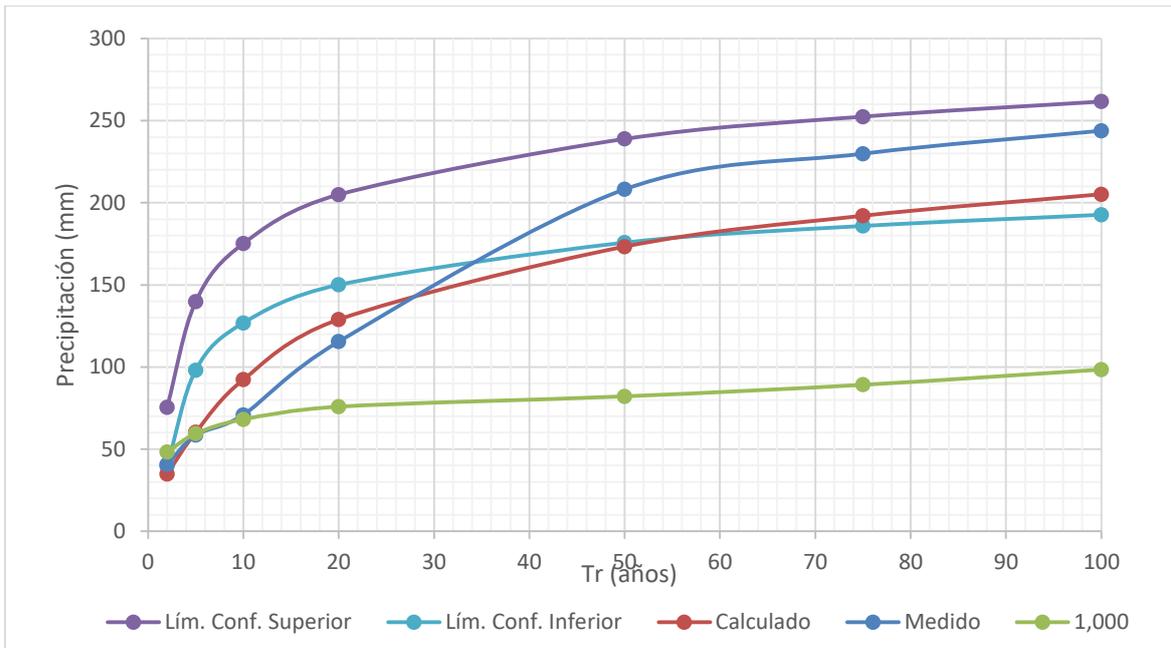


Figura 4.19. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (100 años).

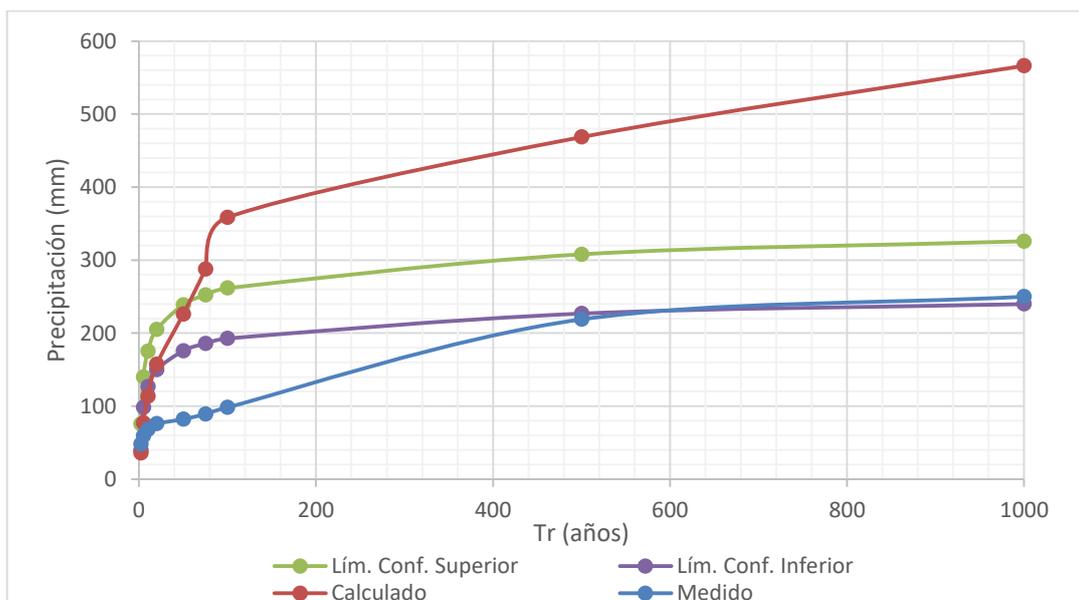


Figura 4.20. Límites de confianza de la estación Huichapan, Hidalgo (1,000 años).

En la figura 4.16 se puede ver que se encuentran la precipitación correspondiente a la extrapolación con longitud de 20 años, con la serie completa y con la serie de 1,000 años respectivamente, así como los límites de confianza calculados con la FDP (Doble Gumbel) hay que destacar que en este caso todas las curvas prácticamente están fuera de los límites ya que no existe el caso partículas para obtener los límites para esta función (se emplearon los límites de confianza para una FDP normal).

En las figuras 4.18 y 4.19 con la longitud de registro de 75 y 100 años respectivamente se puede ver que la extrapolación medida y calculada están prácticamente dentro de los límites de confianza, en cambio en

la figura 4.20 ambas extrapolaciones se salen de los límites esto probablemente a que se emplearon muestras sintéticas las cuales generan una incertidumbre mayor.

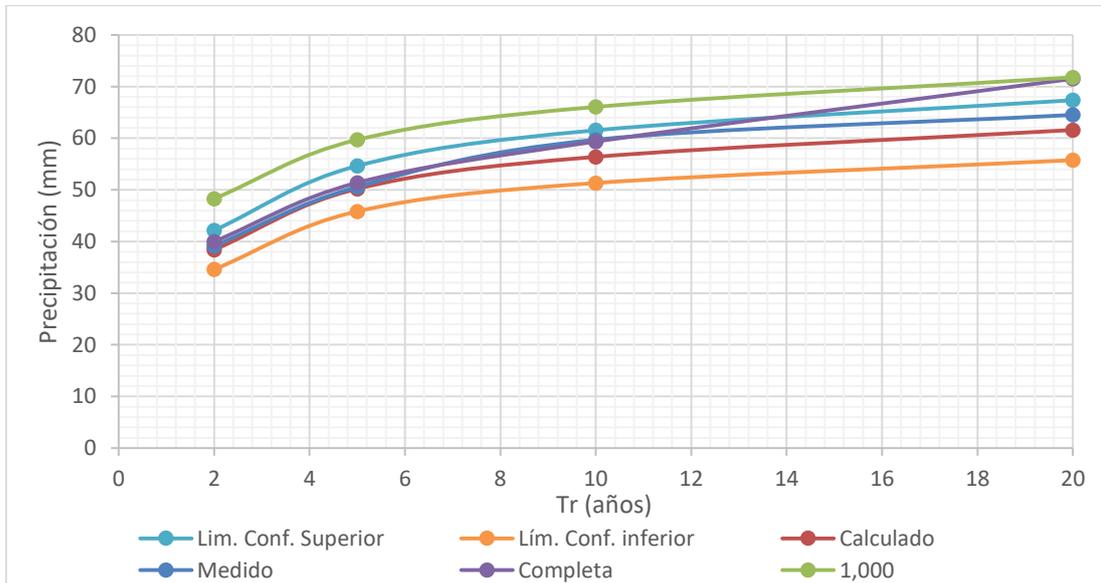


Figura 4.21. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (20 años).

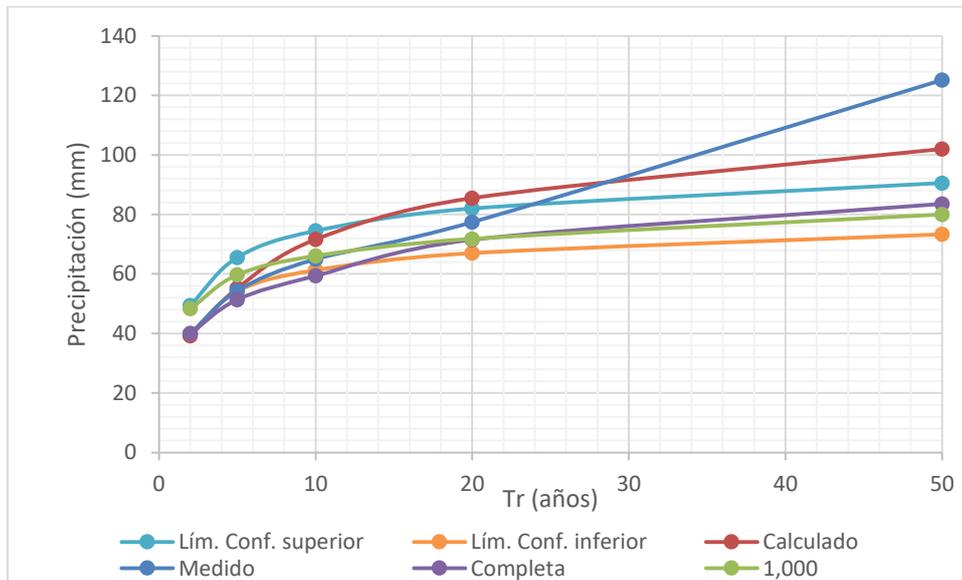


Figura 4.22. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (50 años).

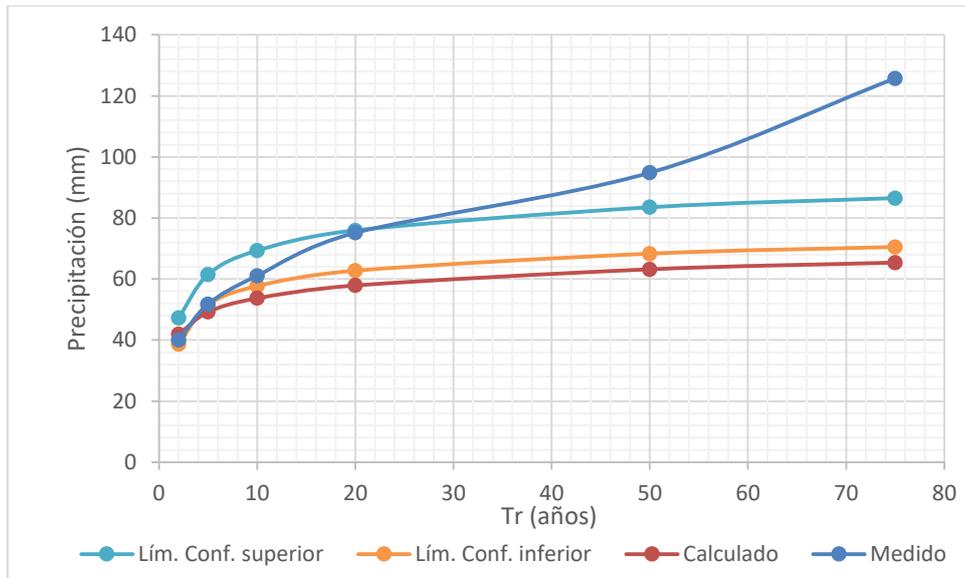


Figura 4.23. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (75 años).

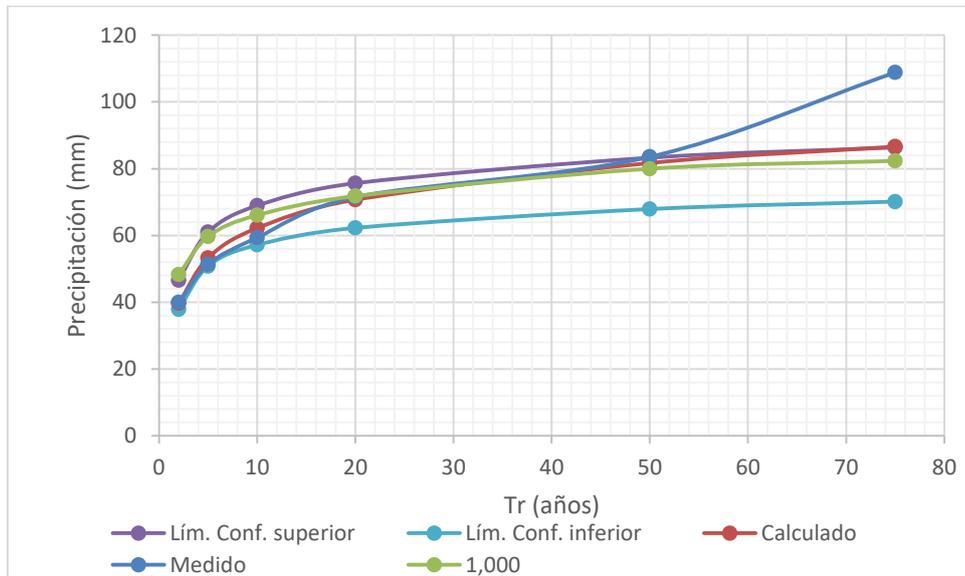


Figura 4.24. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (Toda la serie).

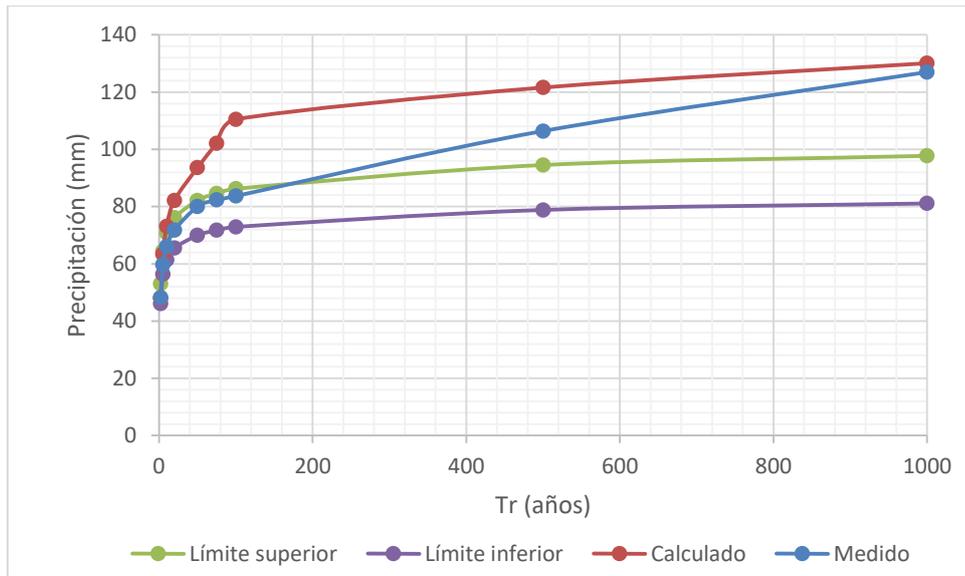


Figura 4.25. Límites de confianza de la estación Ocampo, Guanajuato (1,000 años).

Se puede ver en la figura 4.21 que la extrapolación para la longitud de 20 años así como la serie medida están dentro de los límites de confianza, en cambio, la serie completa y la de 1,000 años están perfectamente dentro de los límites lo que nos indica que la incertidumbre en este caso es mínimo.

En las figuras 4.22, 4.23 y 4.24 las extrapolaciones medidas tienden a estar fuera del límite superior, en cambio, en la figura 4.25 presenta un comportamiento completamente extraño, ya que la extrapolación calculada sobrepasa el límite superior de confianza mientras que la medida cruza completamente ambos límites de confianza.

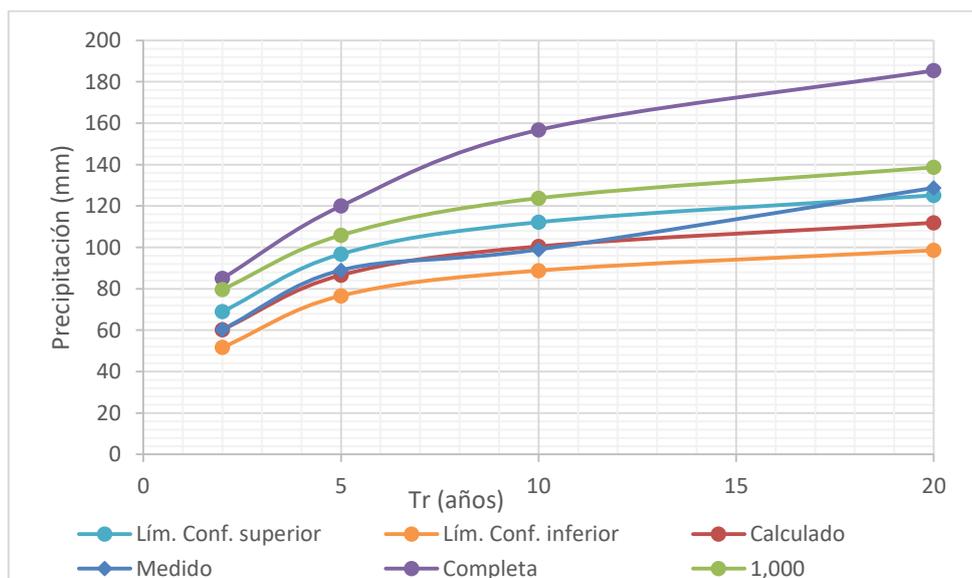


Figura 4.26. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (20 años).

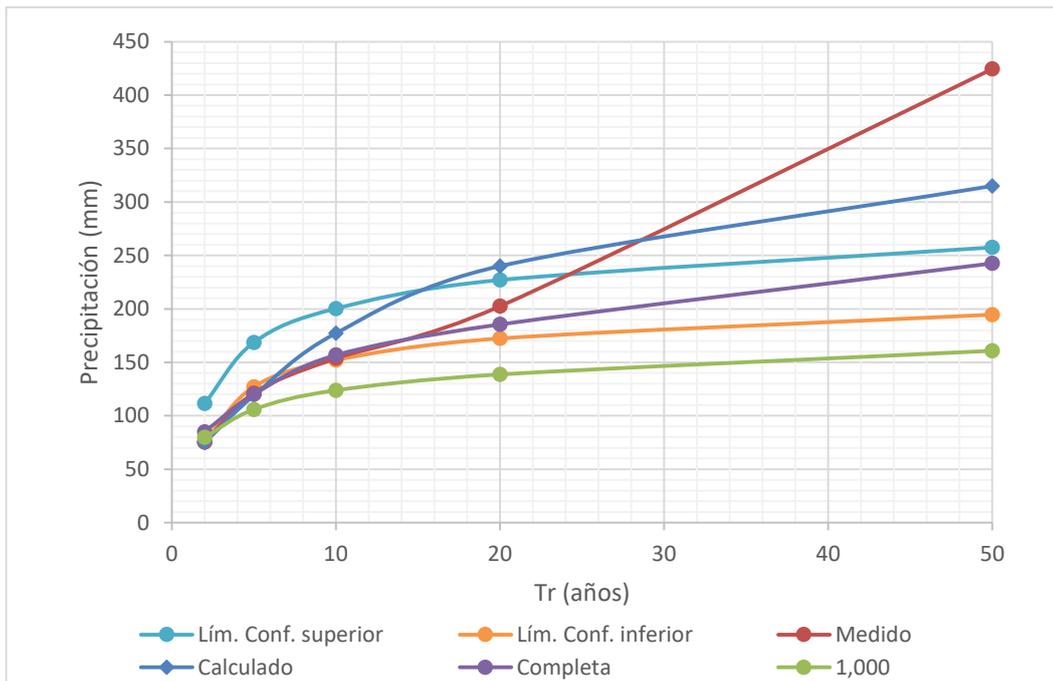


Figura 4.27. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (50 años).

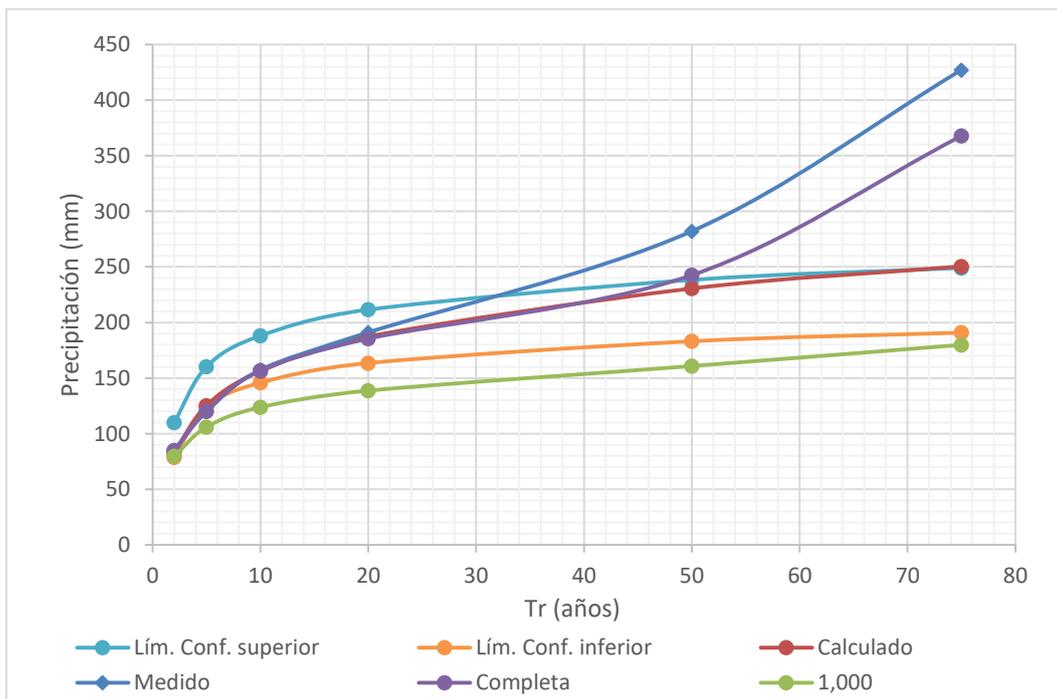


Figura 4.28. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (75 años).

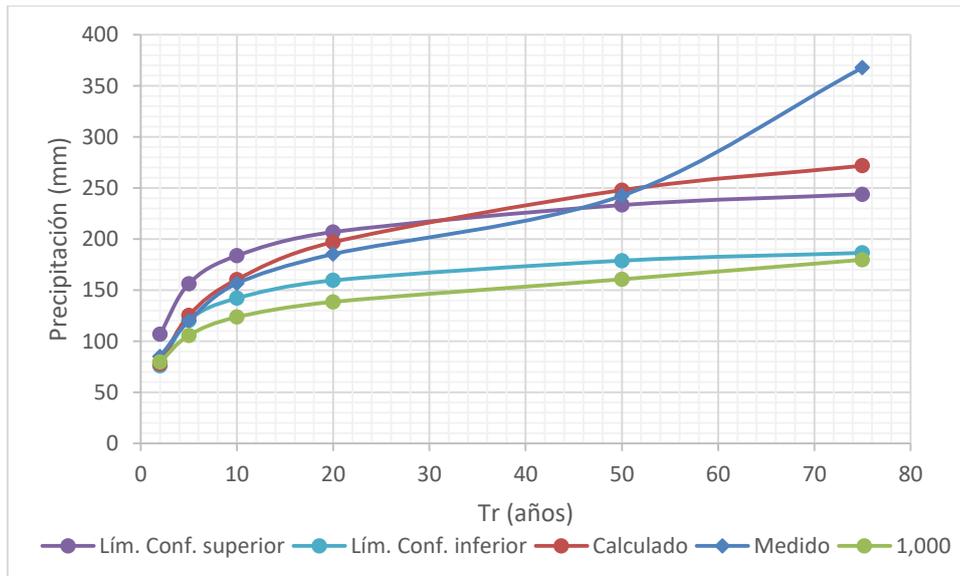


Figura 4.29. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (Toda la serie).

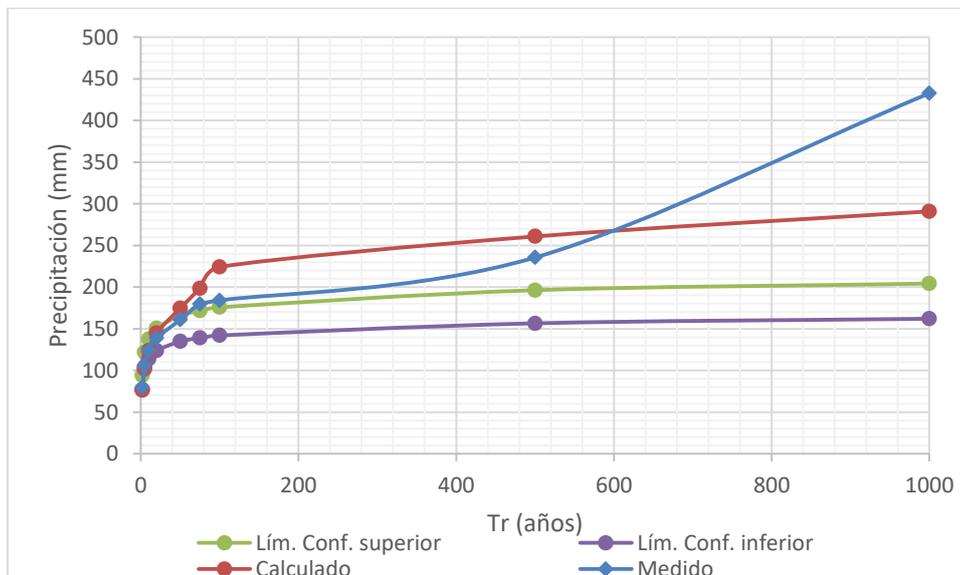


Figura 4.30. Límites de confianza de la estación Soledad de Doblado, Veracruz (1,000 años).

Se puede ver en la figura 4.26 que la extrapolación para la longitud de 20 años así como la serie medida están dentro de los límites de confianza, en cambio, la serie completa y la de 1,000 años están por arriba del límite superior esto debido a que esta primer figura está ajustada para los valores estadísticos de la serie de longitud de 20 años, mientras que las otras dos curvas (completa y 1,000 años) tienen estadísticos diferentes lo cual se desajusta de estos límites calculados

En la figura 4.27, 4.28 y 4.29 con la longitud de registro de 50, 75 años y la estación completa se puede ver que la extrapolación medida y calculada están prácticamente en contacto con los límites en la figura 4.30 la extrapolación calculada, en su totalidad está en los límites mientras la extrapolación medida sale completamente de estos, tal vez debido a que es una aproximación.

5 CONCLUSIONES

El comportamiento hidrológico implica una gran cantidad de variables que afectan el tiempo en todas las regiones del mundo y de nuestro país, el no contar con la suficiente información representativa de un sitio, puede producir gran incertidumbre en el diseño de obras de infraestructura, sin embargo, en la ingeniería moderna la toma de decisiones obliga a analizar diversas alternativas para solucionar la falta de datos, garantizando la calidad de los trabajos y teniendo la menor incertidumbre posible. Brindando de mayor economía a los proyectos sin dejar a un lado la seguridad, siendo esta última lo más importante en el diseño y en la ingeniería civil.

5.1 Conclusiones generales

Una vez realizado el análisis completo de datos de precipitación de las 24 estaciones seleccionadas, extrapolando los datos registrados en cada una de ellas, para muestras con longitudes de registro con 20, 50, 75, completa y 1,000 años considerando la generación de muestras sintéticas se realizó la comparación entre los datos medidos y los calculados.

El cálculo de la incertidumbre se realizó con apoyo de los límites de confianza, los cuales son una referencia. De cada una de las 24 estaciones se tienen cinco figuras, cada una de ellas contiene las extrapolaciones calculada y medida con sus correspondientes límites de confianza, cada figura representa a la extrapolación de las longitudes de registro (20, 50, 75, Toda y 1,000 años).

En general, se puede apreciar que en las 24 figuras correspondientes a la incertidumbre de las extrapolaciones con longitudes de registro de 20 años, están por arriba del límite de confianza superior y en solo unos cuantos casos por debajo del límite de confianza inferior. En conclusión, se puede decir que al tener poca cantidad en los datos de registro la incertidumbre que se genera empieza a crecer, esta incertidumbre está en un rango de 66 - 8 mm.

En las figuras de 50 años de registro, las incertidumbres tienen un rango de 191 - 5.6 mm, de las 24 estaciones seleccionadas sólo 4 estaciones presentan un comportamiento en el cual los primeros cuatro periodos de retorno (2, 5, 10, 20 años) están dentro de los límites de confianza mientras que el último (50 años) se separa drásticamente de los mismos. Las 20 estaciones restantes tienden a estar dentro de los

límites; Por lo tanto, puede decirse que al aumentar la cantidad de datos en las extrapolaciones, la incertidumbre disminuye.

En el caso de las figuras correspondientes a 75 años y el registro completo de las estaciones, se puede apreciar que tienen un comportamiento variado, es decir, que la mitad de las figuras presentan un comportamiento en el que la extrapolación medida y calculada se encuentra entre los límites de confianza lo cual quiere decir que lo realizado en el trabajo es correcto, mientras que la otra mitad tienden a estar por fuera de los límites de confianza, lo que implica que la incertidumbre crece entre un rango de 97.54 – 8 mm.

Mientras la longitud de los registros de datos es mayor la incertidumbre disminuye, pero en la medida de que la longitud del registro aumenta drásticamente (1,000 años) la incertidumbre empieza a variar mucho ya que no hay un comportamiento constante o uniforme.

5.2 Conclusiones particulares

Como ya se ha mencionado, el tener un registro amplio de datos hace posible el disminuir la incertidumbre de los cálculos, el resultado de este trabajo indica que la longitud de registro promedio ideal es de 100 años.

Así la estación 13013 Ixmiquilán (SMN), que tiene una longitud de registro de más de 90 años, está localizada en el estado de Hidalgo, en la cual la extrapolación calculada está dentro de los límites de confianza en su totalidad, esto puede ser debido a que se encuentra ubicada en el centro del país y su precipitación es muy uniforme, se puede comprobar en la figura 3.9 que la evolución temporal de la precipitación media máxima anual de esta estación se equilibra o mantiene constante desde los 12 años de registro, en el caso opuesto, se encuentra la estación 20048 Juchitán de Zaragoza, la cual presenta un drástico ascenso en pocos en su evolución temporal de la precipitación media máxima anual (figura 3.10) lo que provoca una cierta irregularidad en la extrapolación (su incertidumbre sale de los límites de confianza), aunado a eso, la estación está localizada en el estado de Sonora.

Por su parte, la estación 3062 Santiago localizada en el estado de Baja California muestra que la incertidumbre es grande cuando los datos son menores, además, que es un estado en el cual se presenta un clima árido. De la misma forma que la estación 20048 Juchitán de Zaragoza presenta una inestabilidad en la evolución temporal de la precipitación media máxima anual (figura 3.10) lo que confirma estos resultados.

Se puede llegar a la conclusión de que hay una relación entre la evolución temporal de la precipitación media máxima y la desviación estándar con la incertidumbre, entre más rápido se llegue a estabilizar estas dos parámetros la incertidumbre que se genera en la extrapolación de datos disminuye, mientras que si la evolución temporal de la precipitación media máxima y la desviación estándar son inestables o tienen ascensos y descensos la incertidumbre en la extrapolación de datos aumenta considerablemente.

El usar la extrapolación de datos y generación de muestras sintéticas en las estaciones con pocos años de registro para el diseño de obras de infraestructura es confiable si se consideran estos factores antes mencionados, ayudando de esta manera a solucionar la carencia de información en algunas regiones del país.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike. (1974). *A new look at the statistical model identification*. IEEE transactions on automatic control.
- Box. (1970). *Time series analysis forecasting and control*. USA: San Francisco.
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- CONAGUA. (2015). *Estadísticas del agua en México*. De México.
- Escalante, C. (2005). *Análisis de sequías*. México: UNAM Facultad de Ingeniería.
- Escalante, C. A. (2008). *Técnicas estadísticas en hidrología*. México: UNAM Facultad de Ingeniería.
- García, F. (2010). *Modelación hidrológica estocástica*. Bolivia: Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno Santa Cruz.
- INEGI. (15 de octubre de 2016). *INEGI*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>
- Jiménez, M. (1997). *Manual de operación del programa AX. EXE*. De México: CENAPRED.
- Martinez, F. (15 de Octubre de 2015). *Para todo México*. Obtenido de <http://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/ubicacion-geografica.html>
- Miranda, J. (2000). *Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales*. México: UNAM Instituto de Física.
- Muller, B. y. (1958). *A note on the generation of normal deviates*. USA: San Francisco.
- Salas. (1988). *Applied modeling of hydrological time series*. USA: Water Resources Publications.
- Weiss, L. L. (1964). Ratio of true fixed-interval maximum rainfall. *Journal of hydraulics Division*, 77-82.
- Yevjevich. (1972). *Stochastic process in hydrology*. USA: Water Resources Publications.
- http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=80
- <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>
- <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>
- <http://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/ubicacion-geografica.html>
- http://aguasimple.org.mx/revistav4/index.php?option=com_rsgallery2&page=inline&id=8

7 ANEXOS

7.1 Anexo A. Comparación de la precipitación de las 24 estaciones

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Irapuato	Original	51.6	16.6	276.4	1.1	9.6
	1	49.6	13.6	183.9	1.1	5.6
	2	52.7	13.5	192.1	0.5	3.0
	3	49.9	11.6	135.5	0.2	3.4
	4	50.9	11.7	138.8	1.1	5.7
	5	49.9	12.2	148.3	0.6	3.5
	6	49.5	13.0	169.5	1.0	5.7
	7	50.5	13.5	182.3	1.0	4.5
	8	50.3	13.6	185.5	0.5	3.2
	9	50.1	13.1	170.7	0.9	4.9
	10	48.3	13.0	169.8	1.1	3.8
	11					
	12					
13						
Promedio		50.3	13.2	177.5	0.8	4.8

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Huichapan	Original	46.1	38.3	1469.6	3.0	15.0
	1	55.3	51.1	2607.8	2.4	10.7
	2	40.3	33.5	1352.2	1.9	3.4
	3	55.7	52.5	2757.2	2.8	13.6
	4	78.2	93.9	9344.4	2.2	8.8
	5	54.6	49.9	2486.2	1.7	5.9
	6	56.2	64.5	4163.3	3.4	17.0
	7	41.4	38.0	1636.8	2.8	9.0
	8	47.5	55.0	3089.3	3.6	18.2
	9	56.5	95.1	9039.4	7.5	71.2
	10	48.3	13.0	217.5	1.1	0.0
	11					
	12					
13						
Promedio		52.7	53.2	3469.4	3.0	15.7

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Mulege	Original	43.2	48.7	2368.8	2.9	14.1
	1	58.3	75.8	5751.8	2.7	12.5
	2	63.6	96.4	9319.7	2.6	10.7
	3	61.9	75.4	5697.9	2.3	9.6
	4	46.2	58.2	3539.7	2.1	5.3
	5	79.9	172.2	30137.1	4.8	30.7
	6	75.9	141.8	20415.9	3.8	19.9
	7	75.1	120.2	14721.2	3.2	15.7
	8	69.0	127.7	16412.4	4.1	24.7
	9	57.5	136.7	18684.6	4.2	21.2
	10	63.2	119.5	14308.1	4.1	0.0
	11					
	12					
13						
Promedio		63.1	106.6	12850.7	3.3	14.9

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Ocampo	Original	52.0	16.6	276.1	1.4	10.7
	1	51.5	11.2	124.7	0.6	3.3
	2	51.5	12.6	159.4	0.3	3.1
	3	49.7	9.7	98.0	0.2	2.7
	4	51.7	13.4	178.7	0.9	4.2
	5	48.7	12.3	159.3	0.6	2.7
	6	50.7	11.2	126.4	0.2	3.2
	7	48.9	12.8	171.2	0.6	2.8
	8	48.6	11.8	149.0	0.7	2.4
	9	52.8	14.5	211.1	1.2	6.2
	10	49.4	11.0	125.2	0.6	3.1
	11	50.0	11.1	126.4	0.7	3.1
	12					
13						
Promedio		50.5	12.4	158.8	0.7	4.0

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Ixmiquilpan (SMN)	Original	41.7	17.0	288.5	0.4	4.1
	1	37.7	14.5	209.6	1.6	6.5
	2	37.2	11.1	122.5	0.6	3.8
	3	36.9	12.9	165.9	1.0	5.2
	4	37.3	11.2	125.7	0.7	3.5
	5	42.3	11.0	141.8	0.5	3.6
	6	41.1	13.8	202.0	0.7	4.0
	7	40.1	11.7	142.2	0.6	4.4
	8	36.5	11.4	132.0	1.0	4.0
	9	39.5	12.6	161.6	1.4	7.8
	10	39.7	13.2	179.2	1.1	5.2
	11					
	12					
13						
Promedio		39.1	12.8	170.1	0.9	4.8

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Mascota (SMN)	Original	58.5	18.9	357.5	0.9	4.7
	1	55.2	5.7	32.7	0.5	3.5
	2	50.7	14.0	217.3	1.1	4.7
	3	56.6	6.6	45.2	0.1	2.8
	4	54.1	6.7	46.2	0.5	3.0
	5	55.8	6.5	42.7	0.3	3.1
	6	54.5	6.5	42.9	0.1	2.9
	7	56.4	6.6	45.2	0.4	3.3
	8	55.7	7.3	53.0	0.5	3.3
	9	55.5	6.5	42.7	0.0	2.5
	10	54.9	6.5	42.3	0.0	3.6
	11					
	12					
13						
Promedio		55.3	8.4	88.0	0.4	3.4

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Apatzingan (SMN)	Original	72.5	27.9	777.8	1.7	7.5
	1	69.0	7.3	53.6	-0.2	2.6
	2	68.0	8.6	75.1	0.2	3.5
	3	69.4	7.7	58.8	0.6	3.7
	4	68.6	7.9	62.8	0.1	2.4
	5	67.9	7.4	56.6	0.1	2.7
	6	68.8	8.0	64.7	0.1	3.3
	7	68.6	9.0	80.4	0.3	2.7
	8	68.5	8.8	76.9	0.8	5.4
	9	68.2	8.4	71.3	0.8	3.6
	10	69.8	7.9	62.8	0.2	2.7
	11					
	12					
13						
Promedio		69.0	9.9	131.0	0.4	3.6

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Cuitzeo	Original	40.3	19.4	376.5	2.6	15.5
	1	38.6	12.9	165.9	1.3	4.7
	2	40.2	13.3	178.6	0.8	4.2
	3	36.4	12.1	151.9	1.1	3.6
	4	37.7	11.4	130.6	0.5	2.9
	5	39.8	14.3	205.5	1.5	9.4
	6	38.2	13.4	178.8	1.6	6.8
	7	38.6	10.6	112.5	0.7	3.2
	8	36.8	11.1	126.9	0.7	2.8
	9	38.4	12.0	144.4	1.4	5.7
	10	38.4	12.6	157.8	0.9	4.0
	11					
	12					
13						
Promedio		38.5	13.0	175.4	1.2	5.7

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Ahuacatlan	Original	59.9	19.8	393.4	2.2	10.7
	1	56.9	4.8	23.0	0.1	3.7
	2	57.6	5.3	28.5	0.5	3.5
	3	57.8	4.8	24.1	-0.1	2.6
	4	57.9	4.9	24.9	0.0	2.5
	5	57.9	3.9	16.1	0.2	3.4
	6	57.2	4.2	17.6	0.5	4.3
	7	57.2	4.8	22.8	0.0	2.6
	8	58.0	4.9	24.8	0.5	3.6
	9	57.5	5.2	27.0	0.6	3.7
	10	57.0	5.3	28.5	0.5	3.2
	11	58.5	4.9	26.8	-0.3	2.4
	12					
13						
Promedio		57.8	6.1	54.8	0.4	3.9

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Piactla	Original	69.7	33.4	1117.7	2.8	15.6
	1	63.7	13.2	173.3	0.4	2.8
	2	65.5	14.6	216.9	0.3	2.9
	3	64.4	16.0	256.7	0.5	2.5
	4	64.7	16.7	279.2	0.7	3.6
	5	62.3	14.7	217.1	1.1	4.6
	6	64.8	11.4	130.9	0.0	3.1
	7	65.5	16.4	270.9	0.7	3.8
	8	61.6	12.4	157.5	1.6	7.6
	9	63.0	15.2	232.2	0.7	3.8
	10	67.4	14.5	223.3	1.2	6.4
	11	67.7	14.0	212.4	1.0	5.5
	12					
13						
Promedio		65.0	16.0	290.7	0.9	5.2

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Quiriego (SMN)	Original	79.5	33.1	1096.9	1.2	4.8
	1	78.9	27.1	734.5	0.9	3.6
	2	72.8	23.4	586.6	1.2	4.2
	3	67.9	22.2	614.3	1.0	3.1
	4	69.1	22.6	610.2	0.5	2.3
	5	73.2	24.3	622.5	0.7	2.7
	6	80.0	30.0	903.3	0.8	4.1
	7	69.1	22.5	605.7	1.0	2.9
	8	76.8	29.7	884.2	1.1	4.0
	9	79.9	28.3	802.6	0.7	3.7
	10	74.1	26.9	746.8	0.3	2.3
	11	74.4	26.4	-60332.2	0.8	3.1
	12					
13						
Promedio		74.6	26.4	-4343.7	0.9	3.4

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Las vigas	Original	92.4	50.9	2586.4	0.8	3.1
	1	78.4	33.0	1091.9	1.6	6.8
	2	83.0	38.3	1485.1	0.6	3.3
	3	90.1	51.4	2778.4	1.5	7.0
	4	94.0	52.4	2994.7	1.2	5.5
	5	98.6	60.5	4073.7	1.6	7.5
	6	92.3	54.6	3178.7	1.4	6.0
	7	79.3	50.0	2499.3	2.0	9.9
	8	83.6	48.5	2376.3	2.3	14.1
	9	79.7	44.7	2000.2	2.3	12.4
	10	76.2	35.9	1297.4	1.4	5.3
	11	88.5	45.5	2174.4	1.0	4.7
	12					
13						
Promedio		86.3	47.1	2378.0	1.5	7.1

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Presa Plutarco Elías Calles	Original	44.6	15.1	228.9	0.9	6.6
	1	43.8	13.1	171.7	0.4	3.1
	2	44.2	13.9	194.0	1.1	4.8
	3	44.0	11.5	133.1	1.3	6.9
	4	44.4	11.1	124.4	0.4	3.3
	5	42.6	11.7	138.1	0.6	3.7
	6	42.3	13.2	176.3	1.8	5.9
	7	40.2	11.3	141.1	0.6	2.9
	8	42.4	13.0	171.4	0.7	3.7
	9	41.8	12.4	156.7	0.9	3.7
	10	43.8	11.2	126.3	0.4	3.1
	11	41.9	11.0	123.6	0.6	2.5
	12	43.2	10.7	114.1	1.1	5.7
13						
Promedio		43.0	12.3	153.8	0.8	4.3

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Presa Rodríguez	Original	32.4	19.0	362.7	1.2	4.3
	1	28.0	10.7	114.3	0.7	3.2
	2	28.5	13.3	177.4	2.5	13.0
	3	29.4	11.2	128.1	0.9	4.3
	4	28.8	10.8	117.4	1.5	8.0
	5	29.1	10.0	100.4	0.9	4.2
	6	27.9	11.2	124.8	0.6	2.9
	7	31.3	12.8	174.8	0.8	3.8
	8	30.2	13.8	195.2	1.6	7.3
	9	27.4	11.1	123.6	1.8	7.3
	10	29.5	11.6	137.2	1.1	5.2
	11	29.2	12.6	160.2	1.0	4.0
	12	28.7	11.3	128.5	1.3	5.9
13						
Promedio		29.3	12.3	157.3	1.2	5.6

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
La purísima	Original	37.6	33.3	1111.2	2.5	11.4
	1	42.7	71.3	5086.8	6.3	49.3
	2	43.1	50.9	2586.3	3.8	21.0
	3	39.3	44.6	2004.2	5.1	34.9
	4	35.2	31.9	1074.6	2.1	5.4
	5	36.0	37.0	1417.6	3.1	11.1
	6	31.3	29.7	1015.9	2.5	5.3
	7	40.5	63.3	4010.2	5.9	43.3
	8	37.1	27.7	801.4	2.6	10.4
	9	33.7	26.0	761.4	1.6	3.3
	10	42.3	45.2	2046.7	3.3	17.7
	11	37.7	34.1	1188.8	1.6	4.1
	12	49.6	78.7	6248.5	5.5	40.7
13	31.3	22.1	619.5	1.8	3.5	
Promedio		38.4	42.6	2140.9	3.4	18.7

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Santiago	Original	82.3	54.2	2933.9	2.2	10.0
	1	91.3	59.8	3570.9	2.2	8.9
	2	81.9	42.6	1907.8	1.1	3.0
	3	83.8	46.1	2186.6	1.2	3.7
	4	77.1	37.4	1599.0	1.5	4.4
	5	75.3	37.8	1686.9	1.0	2.3
	6	85.9	56.1	3179.7	1.3	3.5
	7	71.3	36.3	1725.7	1.0	2.3
	8	84.7	46.0	2157.0	1.3	4.6
	9	76.0	37.3	1632.4	0.9	3.2
	10	86.0	57.8	3371.5	2.4	9.3
	11	74.4	45.7	2382.0	1.6	3.4
	12	87.0	53.6	2888.3	1.3	4.5
13	75.6	45.8	2344.1	1.6	4.0	
Promedio		80.9	46.9	2397.6	1.5	4.8

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Francisco I. Madero	Original	42.9	12.5	156.5	-0.4	4.6
	1	42.9	12.6	158.8	0.6	3.1
	2	42.3	13.4	180.2	1.0	4.3
	3	41.1	10.3	110.3	0.6	2.8
	4	39.8	11.1	132.9	0.5	2.8
	5	42.9	12.6	157.7	0.8	3.6
	6	42.3	10.5	110.8	0.9	5.0
	7	42.3	11.0	120.6	0.6	3.2
	8	40.9	12.0	147.1	1.1	4.0
	9	42.1	9.9	99.3	0.2	2.6
	10	41.5	11.4	132.2	0.4	3.3
	11	40.8	11.9	145.1	0.2	2.5
	12	40.0	10.4	117.9	1.2	4.8
13	40.2	9.7	101.1	0.6	2.8	
Promedio		41.6	11.4	133.6	0.6	3.5

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Pericos	Original	46.9	17.4	301.7	0.8	8.3
	1	45.8	13.5	181.1	0.1	2.4
	2	45.6	13.9	192.7	0.8	3.4
	3	42.8	10.7	124.6	0.6	2.1
	4	43.6	13.0	173.4	1.2	5.1
	5	42.5	9.4	99.2	0.3	2.7
	6	45.6	13.2	173.8	0.4	3.1
	7	47.0	12.4	155.8	0.4	2.6
	8	42.9	15.1	235.7	0.8	2.6
	9	43.5	12.7	166.7	0.7	3.8
	10	46.3	13.3	178.0	0.3	3.2
	11	44.4	12.2	151.0	0.6	3.7
	12	44.1	12.5	160.3	1.2	4.0
13						
Promedio		44.7	13.0	176.5	0.6	3.6

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Iguala (SMN)	Original	62.7	34.0	1152.7	3.8	22.1
	1	59.2	10.5	110.2	0.4	3.5
	2	59.1	10.3	105.6	-0.1	2.9
	3	59.1	11.8	140.1	0.9	4.3
	4	57.4	11.2	129.5	0.8	4.4
	5	56.8	9.3	93.1	0.2	2.8
	6	58.0	10.2	105.2	0.7	4.3
	7	60.9	11.3	129.4	0.5	3.1
	8	58.3	11.6	134.7	0.4	2.3
	9	56.2	9.7	104.2	0.6	3.0
	10	58.7	11.1	124.3	1.1	3.9
	11	58.8	7.8	60.6	-0.1	2.4
	12					
13						
Promedio		58.8	12.4	199.1	0.8	4.9

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Chapala	Original	62.5	19.9	397.2	0.8	3.7
	1	59.5	5.6	31.1	0.3	2.9
	2	60.0	5.6	31.5	0.0	3.2
	3	59.7	6.4	40.7	0.3	2.8
	4	61.4	6.1	40.4	0.7	4.0
	5	59.6	6.1	36.7	0.1	2.7
	6	60.7	6.6	44.8	0.2	3.3
	7	58.5	5.5	31.6	-0.1	2.9
	8	60.5	7.3	54.4	0.4	4.5
	9	59.9	6.7	44.5	0.6	3.5
	10	60.6	6.7	46.3	0.3	3.3
	11	59.8	5.9	34.4	0.3	3.0
	12	58.9	6.1	37.4	0.2	2.9
13						
Promedio		60.1	7.3	67.0	0.3	3.3

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Anahuac	Original	78.0	36.0	1297.3	1.5	5.7
	1	73.8	13.5	183.2	0.7	4.1
	2	70.9	11.9	149.6	0.2	2.9
	3	73.6	15.4	238.4	0.8	3.9
	4	73.2	15.3	235.5	0.6	3.2
	5	73.2	12.6	159.7	0.1	2.6
	6	72.7	13.3	178.0	0.2	3.0
	7	73.5	13.1	172.0	0.0	2.5
	8	69.8	13.0	185.3	0.4	2.3
	9	76.1	17.0	294.5	0.9	4.5
	10	72.5	13.5	183.8	0.3	2.6
	11	71.0	13.0	175.9	0.8	3.0
	12	72.6	12.8	165.1	0.2	2.5
13						
Promedio		73.1	15.4	278.3	0.5	3.3

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Juchitan de Zaragoza	Original	117.2	53.7	2880.9	1.1	4.8
	1	107.7	24.5	601.9	0.5	3.0
	2	110.5	21.9	486.9	0.9	4.0
	3	109.8	23.0	533.9	0.9	4.7
	4	107.5	24.2	588.0	0.9	3.5
	5	114.0	25.7	699.3	1.2	7.0
	6	114.8	28.3	852.4	0.8	5.3
	7	103.4	20.4	434.1	0.5	2.9
	8	105.3	22.0	488.9	0.8	3.4
	9	108.0	25.7	659.2	1.1	4.8
	10	106.7	20.5	419.8	0.4	3.6
	11	109.5	24.5	604.5	0.6	3.6
	12	110.8	23.0	540.2	0.6	3.4
13	104.9	21.9	489.5	0.4	2.6	
Promedio		109.3	25.7	734.2	0.8	4.0

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
San Fernando	Original	88.2	38.6	1491.8	1.4	6.3
	1	85.3	31.7	1003.8	1.0	4.8
	2	84.2	33.3	1112.2	1.3	5.4
	3	86.2	30.0	899.7	0.8	3.9
	4	89.1	35.9	1306.1	1.0	4.9
	5	84.1	29.0	844.9	0.9	3.5
	6	86.0	26.0	674.2	0.9	5.3
	7	85.9	30.1	905.3	0.6	3.0
	8	81.4	30.3	935.4	1.8	7.7
	9	85.6	36.2	1307.4	1.6	6.7
	10	82.7	28.7	833.3	1.0	3.6
	11	85.4	25.8	665.7	0.6	3.4
	12	84.1	25.1	629.9	0.6	3.2
13						
Promedio		85.3	30.8	970.0	1.0	4.8

Estación	Muestra	Media	Desviación estándar	Varianza	Coficiente asimetría	Curtosis
Soledad de Doblado	Original	92.5	55.3	3058.6	3.0	19.2
	1	81.9	32.2	1037.3	1.9	8.5
	2	80.5	24.5	603.3	0.7	3.2
	3	88.0	28.3	841.1	1.1	5.4
	4	84.7	29.2	861.8	1.0	4.6
	5	89.1	31.6	1049.4	0.8	3.9
	6	81.9	27.1	736.3	0.9	4.6
	7	86.7	28.5	836.7	2.0	12.1
	8	79.1	27.8	781.3	1.1	4.1
	9	81.4	25.7	659.2	0.5	2.7
	10	84.9	28.0	791.4	1.2	6.0
	11	85.0	25.1	642.0	0.7	3.3
	12	82.5	25.7	661.4	0.6	3.3
13						
Promedio		84.5	29.9	966.2	1.2	6.2

7.2 Anexo B. Comparación de la precipitación de las 24 estaciones.

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Irapuato	2	42.5	46.5	49.4	46.5	49.6	50.0	48.8	50.3	48.8	48.7
	5	55.4	52.7	61.1	59.8	64.6	64.5	63.5	62.2	65.0	60.0
	10	62.2	55.7	67.3	69.9	74.5	70.4	73.3	69.9	75.3	68.5
	20	67.8	60.2	72.3	73.4	84.1	75.8	82.7	77.0	84.9	74.9
	50	74.1		78.0	83.9	96.4	101.2	94.8	89.7	97.1	81.3
	75	76.6		80.3		101.8	136.4	100.1	108.1	106.2	85.3
	100	78.3		81.9		105.6		103.8	128.7	115.2	87.9
	500	86.8		89.6		127.0		124.8		127.1	107.8
	1,000	90.1		92.5		136.2		133.8		136.3	137.7
	2,000	93.1		95.3		145.4		142.9		145.5	
	5,000	97.0		98.8		157.5		154.8		157.0	
10,000	99.7		101.3		166.7		163.8		166.7		
FDP		Normal		Gumbel		Gumbel		Gumbel		Lognormal	

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Huichapan	2	29.2	38.5	33.5	37.5	32.7	39.0	34.8	40.6	35.8	48.2
	5	103.6	103.7	66.4	61.6	59.7	56.0	60.2	58.5	76.8	59.4
	10	181.3	213.8	124.0	108.1	99.5	71.2	92.3	70.8	113.8	68.1
	20	222.0	247.0	172.6	195.4	143.9	172.0	128.9	115.4	157.2	75.9
	50	268.4		228.5	248.8	196.4	228.8	173.3	208.2	226.0	82.1
	75	288.0		252.0		218.5	249.2	192.1	229.9	287.6	89.2
	100	301.7		268.5		234.0		205.2	243.9	358.6	98.4
	500	377.1		359.0		319.3		277.6		468.5	218.9
	1,000	409.4		397.7		355.5		308.7		566.2	249.9
	2,000	441.2		436.4		391.9		339.7		677.3	
	5,000	483.9		488.2		439.0		380.6		832.7	
10,000	516.7		523.9		474.8		411.0		982.2		
FDP		Doble Gumbel		Doble Gumbel		Doble Gumbel		Doble Gumbel		Lognormal	

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000			
	Tr	Precipitación (mm)											
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido		
Mulege	2	22.2	22.6	22.1	28.0	25.0	28.8	25.5	29.6	25.9	26.2		
	5	74.2	140.7	51.2	54.7	51.0	55.9	77.5	61.0	78.1	81.4		
	10	84.6	88.8	73.3	73.5	70.6	70.4	139.5	94.7	138.5	149.5		
	20	90.7	94.5	95.4	91.8	90.2	95.0	226.9	136.0	222.0	246.4		
	50	97.8		124.6	147.8	116.1	119.2	392.9	221.8	377.5	455.4		
	75	100.8		137.5	127.5	148.8	488.9	270.2	537.6	518.1			
	100	103.1		146.6	135.7		566.6		742.9	635.0			
	500	115.9		197.9	181.2		1189.7		1099.8	890.3			
	1,000	121.9		219.9	200.8		1587.9		1452.9	1228.2			
	2,000	128.4		242.0	220.4		2086.3		1890.3				
	5,000	137.9		271.2	246.3		2858.8		2561.1				
	10,000	146.3		293.3	265.9		3678.3		3265.3				
FDP	Doble Gumbel			Exponencial			Exponencial		Lognormal		Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000			
	Tr	Precipitación (mm)											
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido		
Ocampo	2	38.4	39.2	39.2	40.0	41.9	40.0	39.7	40.0	48.0	48.3		
	5	50.2	50.6	55.2	54.4	49.2	51.8	53.3	51.4	63.4	59.7		
	10	56.4	59.7	71.6	65.0	53.7	61.1	62.2	59.4	73.1	66.1		
	20	61.6	64.5	85.5	77.4	57.9	75.2	70.7	71.5	82.2	71.8		
	50	67.3		102.0	125.2	63.2	94.8	81.7	83.5	93.6	80.0		
	75	69.6		108.9	65.4	125.8	86.6	108.8	102.1	82.3			
	100	71.2		113.8	67.0		90.1		110.5	83.7			
	500	79.0		140.7	75.8		109.6		121.6	106.4			
	1,000	82.0		152.2	79.6		118.3		130.1	127.0			
	2,000	84.8		163.7	83.3		127.2		138.7				
	5,000	88.3		178.6	88.0		138.3		149.2				
	10,000	90.8		190.0	91.9		147.9		158.2				
FDP	Normal			Doble Gumbel			Lognormal		Lognormal		Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Ixmiuilpan (SMN)	2	35.2	37.3	39.7	43.0	39.3	41.6	38.9	41.5	37.1	37.4
	5	52.8	57.3	55.7	57.7	51.7	52.9	53.1	54.6	51.6	48.7
	10	62.0	61.7	66.4	68.8	59.7	62.7	62.5	63.2	61.1	55.0
	20	69.6	78.3	76.8	81.6	67.4	71.2	71.6	72.7	70.2	62.2
	50	78.2		90.4	86.4	77.3	85.1	83.4	87.0	82.0	71.4
	75	81.6		96.5	81.6	86.4	88.6	90.2	90.9	75.0	
	100	83.9		100.8	84.7	92.4	99.9	83.0			
	500	95.5		125.8	102.1	113.6	111.9	94.9			
	1,000	99.9		137.1	109.8	123.2	121.2	98.0			
	2,000	104.1		148.7	117.7	133.0	130.8				
	5,000	109.4		163.3	127.4	145.2	142.7				
10,000	113.1	176.0		135.9	155.9	153.0					
FDP	Normal			Lognormal		Lognormal			Lognormal		Lognormal

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Mascota (SMN)	2	43.1	47.2	52.7	54.7	53.8	55.0	55.4	55.7	54.3	55.2
	5	57.8	55.4	69.5	68.6	68.7	68.6	72.1	70.4	62.0	61.5
	10	65.5	64.4	80.2	75.8	78.1	76.7	83.2	83.8	67.2	64.8
	20	71.8	73.3	90.3	98.1	86.9	86.7	93.8	102.9	72.1	68.6
	50	79.0		103.3	109.7	97.9	104.5	107.5	111.2	78.5	74.0
	75	81.9		108.9	102.6	109.8	113.6	114.0	83.2	77.9	
	100	83.8		112.9	105.9	117.8	88.0	83.0			
	500	93.5		135.3	124.4	141.6	94.3	110.8			
	1,000	97.2		145.2	132.5	151.9	99.0	116.0			
	2,000	100.7		155.1	140.5	162.1	103.7				
	5,000	105.0		167.5	150.5	175.6	110.0				
10,000	108.2	178.1		158.9	185.8	114.8					
FDP	Normal			Lognormal		Lognormal			Gumbel		Gumbel

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Apatzingan (SMN)	2	67.7	64.7	62.7	64.2	69.2	65.0	70.4	65.0	67.1	68.2
	5	90.0	92.9	93.2	89.1	81.3	89.7	83.7	90.8	77.4	76.1
	10	101.7	107.9	106.3	109.6	88.7	108.7	92.1	110.0	84.2	80.5
	20	111.4	127.8	114.6	114.8	95.6	113.8	99.9	117.3	90.8	85.3
	50	122.3		124.1	129.2	104.2	148.3	109.6	183.0	99.3	95.0
	75	126.6		128.2	107.9	187.0	113.9	186.2	105.6	101.8	
	100	129.5		131.0	110.5	116.8	111.9	110.0			
	500	144.2		146.7	124.7	133.2	120.3	182.4			
	1,000	149.9		153.4	130.9	140.3	126.6	188.5			
	2,000	155.2		160.0	137.0	147.5	132.9				
	5,000	161.8		168.9	144.5	156.3	141.3				
	10,000	166.6		175.2	150.9	163.8	147.6				
FDP	Normal			Doble Gumbel		Lognormal			Gumbel		Gumbel

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Cuitzeo	2	36.2	40.7	31.3	31.4	36.2	34.8	36.2	38.8	36.5	36.2
	5	64.2	68.6	47.0	47.6	48.1	46.3	53.2	47.4	50.3	47.2
	10	90.6	81.5	69.2	64.1	56.2	58.1	65.1	59.3	59.3	55.0
	20	115.6	146.4	90.2	75.5	64.0	70.0	76.9	75.4	67.9	62.6
	50	146.1		114.6	150.3	74.3	105.2	92.8	95.5	79.0	72.2
	75	159.1		124.9	78.9	151.2	100.0	129.7	87.3	77.8	
	100	168.2		132.1	82.2	105.1	95.6	80.7			
	500	218.5		171.7	101.0	135.4	106.7	109.6			
	1,000	240.0		188.7	109.6	149.4	115.4	152.9			
	2,000	261.5		205.5	118.3	164.0	124.2				
	5,000	290.0		227.4	129.4	182.5	135.2				
	10,000	311.2		245.2	139.1	198.9	144.7				
FDP	Doble Gumbel			Doble Gumbel		Lognormal			Lognormal		Lognormal

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000		
	Tr	Precipitación (mm)										
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	
Ahuacatlan	2	49.9	50.4	52.2	53.5	57.1	55.0	56.9	55.0	55.6	57.3	
	5	69.4	60.8	67.2	63.8	64.5	66.8	74.6	71.8	61.4	62.0	
	10	82.2	85.7	84.0	80.6	68.9	80.4	86.0	82.5	66.3	64.6	
	20	94.6	115.0	98.1	97.9	72.9	87.5	96.7	88.8	71.8	67.1	
	50	110.6		114.6	125.2	77.8	120.4	110.4	130.4	79.9	71.5	
	75	117.6		121.6	79.8	125.3	116.4	149.0	86.9	76.3		
	100	122.6		126.5	81.3	120.6	94.7	81.0				
	500	150.3		153.4	89.0	144.1	106.4	125.5				
	1,000	162.2		164.9	92.3	154.5	116.4	157.9				
	2,000	174.1		176.3	95.5	164.9	127.4					
	5,000	189.8		191.7	99.4	177.9	142.5					
	10,000	201.7		202.4	102.7	189.0	156.5					
FDP		Gumbel		Doble Gumbel		Lognormal		Lognormal		Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000		
	Tr	Precipitación (mm)										
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	
Piactla	2	56.1	54.7	58.5	60.0	60.5	63.2	58.9	62.0	61.9	62.4	
	5	79.4	78.6	79.3	79.9	88.3	83.7	85.3	82.0	77.1	76.5	
	10	91.6	98.1	93.0	90.2	120.8	100.3	114.4	100.0	87.3	84.0	
	20	101.8	112.7	106.2	105.4	151.0	151.2	143.1	144.2	97.0	91.4	
	50	113.1		123.2	148.1	186.8	191.9	177.7	171.2	109.5	104.4	
	75	117.6		130.7	201.9	258.3	192.3	227.3	118.9	109.9		
	100	120.7		136.0	212.5	202.6	128.3	115.5				
	500	136.0		165.5	270.8	259.1	140.7	160.0				
	1,000	141.9		178.2	295.7	283.3	150.0	260.8				
	2,000	147.5		190.9	320.5	307.2	159.4					
	5,000	154.4		207.7	352.7	339.2	171.7					
	10,000	159.4		220.4	378.8	363.0	181.1					
FDP		Normal		Gumbel		Doble Gumbel		Doble Gumbel		Gumbel		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Quiriego (SMN)	2	70.1	66.4	67.4	70.0	69.9	70.0	72.1	70.0	70.3	70.1
	5	105.9	115.2	100.4	94.8	109.7	104.6	102.2	140.2	100.0	94.8
	10	129.6	129.4	122.9	119.9	131.4	127.5	122.7	127.5	119.9	110.3
	20	152.3	157.1	137.5	140.6	145.0	151.6	142.7	156.5	139.2	125.8
	50	181.7		154.4	161.0	160.8	165.1	169.1	176.5	164.4	146.6
	75	194.6		161.6	167.5	173.7	180.9	185.5	183.7	152.3	
	100	203.8		166.6	172.2	189.4	203.2	159.2			
	500	254.7		194.2	197.9	238.2	229.5	181.0			
	1,000	276.6		206.0	208.9	260.4	250.2	189.5			
	2,000	298.5		217.7	219.8	283.3	271.5				
	5,000	327.4		233.1	234.7	312.2	298.2				
10,000	349.3	244.9		245.0	337.5	321.5					
FDP	Gumbel	Doble Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal	Lognormal					

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Las Vigas	2	91.2	90.9	90.4	91.2	86.4	86.5	81.9	86.4	75.1	75.4
	5	142.6	172.6	166.4	162.8	133.8	139.4	129.5	129.0	116.7	116.7
	10	180.1	180.6	188.9	180.7	164.2	175.0	160.3	175.0	146.8	148.7
	20	218.4	225.4	203.5	206.1	192.4	198.7	188.8	195.2	177.5	179.7
	50	271.4		220.7	229.6	227.3	223.2	224.4	221.0	219.9	219.3
	75	295.9		228.0	242.1	229.7	239.5	226.5	253.6	241.0	
	100	313.7		233.2	252.4	249.9	289.0	256.7			
	500	420.6		262.2	305.9	304.0	338.5	355.8			
	1,000	471.5		275.0	325.8	323.8	378.8	358.6			
	2,000	525.2		288.0	342.7	340.1	421.2				
	5,000	594.8		305.6	359.6	355.7	476.2				
10,000	657.1	318.7		367.7	362.8	525.2					
FDP	Lognormal	Doble Gumbel		Gamma	Gamma	Lognormal					

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Presa Plutarco Elías Calles	2	39.3	40.2	39.9	41.1	42.0	42.0	41.5	43.0	41.3	41.5
	5	53.5	54.8	53.7	54.2	55.9	54.9	55.6	54.5	52.4	52.5
	10	60.9	55.9	62.7	57.8	65.0	58.9	64.8	58.5	59.3	58.6
	20	67.1	58.3	71.3	65.9	73.8	68.2	73.5	66.4	65.7	65.3
	50	74.0		82.3	97.2	85.2	98.9	84.8	98.6	73.8	74.5
	75	76.7		87.2	90.2	100.7	89.7	100.3	79.7	77.7	
	100	78.6		90.6	93.7	93.2	85.5	80.0			
	500	87.9		110.1	113.4	113.0	93.1	98.0			
	1,000	91.5		118.8	121.9	121.8	98.9	100.8			
	2,000	94.9		127.6	130.4	130.7	104.8				
	5,000	99.1		138.6	141.6	141.9	111.9				
10,000	102.1	148.0		150.0	151.4	118.0					
FDP	Normal	Lognormal		Gumbel		Lognormal			Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Presa Rodríguez	2	19.3	21.0	23.8	22.9	27.4	27.0	28.3	28.7	27.0	26.8
	5	32.0	37.7	37.3	40.4	43.1	42.0	46.1	48.9	38.1	37.8
	10	40.4	43.7	46.0	48.7	53.3	53.8	57.8	60.5	45.7	46.3
	20	48.4	49.4	54.1	51.4	62.7	66.2	68.7	74.0	53.0	53.7
	50	58.9		64.2	75.4	74.4	79.6	82.3	87.5	62.8	63.2
	75	63.4		68.4	79.3	86.6	88.0	89.3	70.2	68.7	
	100	66.7		71.4	82.8	92.0	77.8	70.0			
	500	84.7		86.7	100.6	112.4	88.2	90.0			
	1,000	92.5		92.3	107.2	119.6	96.3	99.2			
	2,000	100.2		97.0	112.5	125.6	104.7				
	5,000	110.5		101.5	117.6	130.4	115.3				
10,000	118.2	103.5		120.4	132.6	124.6					
FDP	Gumbel	Gamma		Gamma		Gamma			Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000				
	Tr	Precipitación (mm)												
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido			
La purísima	2	19.1	20.8	27.1	25.0	27.9	25.1	26.1	25.1	27.2	26.4			
	5	52.2	50.0	48.6	50.1	60.0	53.8	51.2	53.8	54.5	53.6			
	10	62.3	64.6	63.2	64.7	88.5	76.3	82.3	76.3	78.0	77.0			
	20	68.4	72.7	77.1	82.1	121.7	101.8	110.0	101.8	104.8	108.5			
	50	75.6		94.6	111.0	173.7	174.1	142.4	174.1	145.9	162.5			
	75	78.6		102.0		219.9	193.1	156.0	193.1	181.9	190.2			
	100	80.8		107.1		272.8		165.6		222.4	201.7			
	500	92.6		131.7		354.1		218.4		283.8	582.9			
	1,000	97.8		139.4		426.0		240.7		337.3	611.2			
	2,000	102.9		144.9		507.2		263.2		397.2				
	5,000	109.8		149.2		620.2		292.3		479.6				
10,000	115.0	150.8		728.5		315.9		557.5						
FDP	Doble Gumbel			Gamma		Lognormal		Doble Gumbel		Lognormal				

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000				
	Tr	Precipitación (mm)												
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido			
Santiago	2	60.5	66.0	63.7	68.1	69.2	70.3	67.4	69.7	69.7	71.5			
	5	100.9	93.9	122.4	120.7	114.6	116.8	112.7	113.8	110.3	109.1			
	10	127.7	138.6	161.2	144.4	149.1	141.8	147.5	141.4	140.3	138.6			
	20	153.3	185.5	188.2	198.5	185.3	194.0	184.1	193.0	171.0	179.9			
	50	186.5		219.6	242.6	236.7	274.3	236.3	272.7	213.8	214.9			
	75	201.1		233.0		260.9	338.0	261.0	335.5	248.1	236.2			
	100	211.4		242.3		278.6		279.1		284.3	245.0			
	500	268.9		293.8		387.7		391.0		335.4	340.5			
	1,000	293.7		315.7		440.9		445.8		377.2	359.3			
	2,000	318.4		337.8		497.9		504.7		421.4				
	5,000	351.0		367.1		572.8		582.3		478.9				
10,000	375.8	387.5		640.8		652.9		530.5						
FDP	Gumbel			Doble Gumbel		Lognormal		Lognormal		Lognormal				

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Francisco I. Madero	2	40.0	42.7	42.6	43.2	42.9	44.0	42.3	44.0	40.6	40.4
	5	52.4	50.1	52.9	50.2	53.5	49.5	53.6	49.5	50.9	50.9
	10	58.9	60.6	59.2	61.0	59.0	60.3	59.6	60.3	56.9	56.9
	20	64.3	61.0	65.0	67.4	63.6	67.2	64.5	67.2	62.3	62.1
	50	70.3		72.1	69.0	68.8	69.6	70.0	69.6	68.8	69.6
	75	72.7		75.2	70.8	70.9	72.2	70.9	73.5	73.4	
	100	74.4		77.4	72.2	73.6	77.9	74.5			
	500	82.5		89.2	79.2	81.1	83.7	84.2			
	1,000	85.7		94.2	81.9	83.9	87.9	89.5			
	2,000	88.6		99.2	84.4	86.6	92.1				
	5,000	92.3		105.4	87.5	90.0	97.1				
	10,000	95.0		110.6	89.8	92.4	101.3				
FDP	Normal	Lognormal		Normal	Normal	Lognormal					

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Pericos	2	40.8	43.8	45.5	48.0	44.6	46.5	46.3	46.5	43.3	43.3
	5	58.5	58.8	62.6	59.9	59.6	59.0	61.5	58.9	55.1	55.0
	10	67.8	67.4	73.8	69.8	69.6	66.7	69.5	66.4	62.1	61.7
	20	75.5	73.0	84.6	76.7	79.1	73.9	76.1	73.7	68.5	68.4
	50	84.1		98.6	123.2	91.5	92.8	83.5	91.3	76.3	76.5
	75	87.5		104.8	96.9	123.8	86.4	121.4	81.9	78.7	
	100	89.9		109.1	100.8	88.4	87.3	80.4			
	500	101.5		133.4	122.2	98.4	94.3	95.1			
	1,000	106.0		143.8	131.4	102.3	99.5	124.9			
	2,000	110.2		154.2	140.6	105.9	104.7				
	5,000	115.5		168.0	152.8	110.4	110.9				
	10,000	119.3		178.4	162.0	113.7	116.1				
FDP	Normal	Gumbel		Gumbel	Normal	Lognormal					

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Iguala (SMN)	2	63.0	63.7	57.7	63.6	52.5	58.0	52.3	59.7	54.4	57.3
	5	79.9	83.6	78.3	75.8	74.2	74.0	74.1	73.5	64.3	66.8
	10	88.7	87.4	116.0	87.4	104.1	85.1	100.2	82.9	73.2	73.4
	20	96.1	89.8	162.4	170.9	141.8	109.2	133.7	97.6	83.6	79.3
	50	104.3		216.4	261.3	187.4	233.9	176.0	226.8	100.3	85.7
	75	107.6		239.1	206.7	261.9	194.0	251.2	115.3	88.4	
	100	109.8		255.1	220.2	206.6	132.5	90.6			
	500	121.0		342.7	294.6	275.8	159.3	220.2			
	1,000	125.2		380.1	326.3	305.4	183.2	262.9			
	2,000	129.3		417.6	358.1	335.0	210.4				
	5,000	134.3		466.0	400.1	373.2	248.6				
10,000	137.9	505.2		431.3	404.2	285.3					
FDP	Normal	Doble Gumbel		Doble Gumbel		Doble Gumbel			Lognormal		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Chapala	2	52.7	52.9	56.6	56.1	72.9	61.5	59.4	61.5	58.7	59.6
	5	69.8	68.5	75.5	74.1	106.0	79.9	78.4	78.6	66.2	65.5
	10	78.9	77.5	88.1	85.0	130.2	89.5	89.8	88.9	71.1	69.2
	20	86.3	99.3	100.1	108.7	154.8	108.3	99.9	108.0	75.9	72.1
	50	94.7		115.6	121.2	188.8	114.9	112.2	114.2	82.0	78.6
	75	98.0		122.4	204.6	121.4	117.3	120.5	86.6	83.8	
	100	100.3		127.3	215.9	120.8	91.2	85.0			
	500	111.6		154.2	284.3	139.5	97.2	111.7			
	1,000	115.9		165.8	316.7	147.0	101.8	121.7			
	2,000	120.0		177.4	351.0	154.4	106.4				
	5,000	125.1		192.7	395.3	163.5	112.4				
10,000	128.8	204.2		435.0	169.0	117.0					
FDP	Normal	Gumbel		Lognormal		Gamma			Gumbel		

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Anahuac	2	62.3	60.2	69.3	67.7	73.6	69.0	69.5	69.0	70.3	71.6
	5	85.5	89.8	93.5	94.2	95.0	102.2	101.8	102.5	85.2	84.1
	10	97.7	98.1	108.1	113.4	109.0	127.7	124.2	128.0	95.1	93.0
	20	107.7	117.1	121.2	128.0	122.5	149.2	146.5	150.0	104.6	100.2
	50	119.0		137.0	149.8	140.0	191.7	176.3	189.3	116.8	111.3
	75	123.5		143.7	216.0	189.8	212.4	126.0	120.9		
	100	126.6		148.3	153.2	199.5	135.2	126.3			
	500	141.9		172.6	184.3	256.3	147.3	180.0			
	1,000	147.7		182.5	198.2	282.5	156.4	216.9			
	2,000	153.3		191.8	212.4	309.8	165.5				
	5,000	160.2		203.3	230.2	344.5	177.6				
10,000	165.1	210.0		245.6	375.1	186.7					
FDP	Normal			Gamma		Lognormal			Lognormal		Gumbel

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Juchitan de Zaragoza	2	81.7	90.0	104.5	97.2	124.1	104.2	107.1	104.2	104.9	106.0
	5	137.5	151.2	139.2	159.1	197.6	161.7	157.8	161.7	129.1	130.2
	10	189.6	163.4	162.5	177.0	254.4	182.2	191.4	182.2	145.2	142.3
	20	239.3	300.7	185.2	213.8	314.8	225.6	223.6	225.6	160.5	160.0
	50	300.2		215.0	311.4	401.4	271.4	265.2	271.4	180.5	175.2
	75	326.2		228.3	442.5	313.3	283.5	313.3	195.4	180.3	
	100	344.4		237.8	472.7	296.5	210.2	189.9			
	500	444.9		292.2	660.4	368.7	229.8	251.3			
	1,000	488.0		316.9	752.8	399.7	244.7	314.9			
	2,000	531.0		342.3	852.4	430.7	259.5				
	5,000	588.0		374.2	984.1	471.7	279.1				
10,000	630.3	402.0		1104.4	502.7	293.9					
FDP	Doble Gumbel			Lognormal		Lognormal			Gumbel		Gumbel

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
San Fernando	2	61.4	68.7	75.5	74.5	81.6	80.0	81.6	80.0	80.1	80.4
	5	123.6	124.9	129.5	118.6	116.9	115.9	119.3	111.9	107.9	108.1
	10	176.9	214.4	164.2	158.5	141.1	144.5	144.3	141.5	126.3	125.6
	20	211.6	231.0	188.8	193.0	164.8	165.4	168.3	162.5	144.0	144.6
	50	251.6		217.6	231.3	196.3	227.7	199.3	227.1	166.9	169.0
	75	268.5		229.8	210.5	231.4	213.0	230.3	184.0	175.0	
	100	280.4		238.3	220.6	222.6	201.1	187.1			
	500	345.5		285.5	279.4	276.4	223.6	231.5			
	1,000	373.4		305.6	306.3	299.5	240.6	233.9			
	2,000	400.8		325.7	334.1	322.6	257.6				
	5,000	437.7		352.9	369.3	353.1	280.1				
10,000	466.9	371.6		400.2	376.2	297.2					
FDP	Doble Gumbel			Doble Gumbel		Lognormal			Gumbel		Gumbel

Estación	Nº Datos	20		50		75		Completa		1,000	
	Tr	Precipitación (mm)									
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Soledad de Doblado	2	60.3	60.3	74.8	75.2	83.0	85.0	78.1	85.0	77.2	79.7
	5	86.6	89.0	118.9	121.2	125.3	120.0	125.4	120.0	103.9	105.9
	10	100.5	99.0	177.1	153.8	156.1	157.5	160.6	156.7	124.0	123.8
	20	111.9	128.8	240.0	202.5	187.4	191.1	197.1	185.5	145.0	138.7
	50	124.7		315.0	424.4	230.6	282.1	248.1	242.6	174.6	160.8
	75	129.8		346.8	250.5	427.2	271.9	367.9	198.6	179.9	
	100	133.3		369.0	264.9	289.3	224.3	184.1			
	500	150.6		491.0	351.6	394.8	260.8	235.6			
	1,000	157.3		543.2	392.6	445.5	290.9	432.6			
	2,000	163.6		595.0	435.9	499.5	323.1				
	5,000	171.4		664.0	492.0	569.9	365.4				
10,000	177.0	718.6		542.1	633.4	403.5					
FDP	Normal			Doble Gumbel		Lognormal			Lognormal		Lognormal