



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y PERIODO DE
RETORNO DE LOS EVENTOS
HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS EN LA
REGIÓN GRIJALVA-USUMACINTA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A :
EDGAR LEOBARDO SAAVEDRA CÁRDENAS

Asesora de Tesis: Dra. Leticia Gómez Mendoza



México, D.F.

Noviembre de 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mis papás, que aunque muchas veces no tenemos tanta comunicación como se debiera, siempre están al tanto de mis actividades y sobretodo apoyándome en mis decisiones.; y mis hermanos de los que siempre he sentido la comprensión y cariño hacia mí.

A Izayana, que vino a darle alegría a nuestras vidas y a unir a la familia más que nunca.

A la Dra. Leticia Gómez Mendoza, quien me asesoró en la realización de este trabajo y fue su infinita paciencia, dedicación, entusiasmo y profesionalismo, lo que me impulsó y motivo para la culminación del mismo.

A Raquel, quien me acompañó de la mano a lo largo de este proceso de aprendizaje y superación, tanto personal como profesional, sin tu valiosa ayuda y apoyo incondicional no hubiera llegado a la meta, por lo cual me siento inmensamente feliz; gracias por todo.

A los integrantes del Seminario de Eventos Hidrometeorológicos Extremos, que con sus atinadas críticas y comentarios se logró la mejora de este trabajo, además de disfrutar de la retroalimentación que imperó semana a semana en la Torre I de Humanidades; en especial a la Mtra. María de la Paz Medina Barrios y a la Geog. Hermelinda Islas Curiel.

Al Lic. Francisco Hernández Hernández y al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez de quienes aprendí tanto en sus clases durante la licenciatura y me siento honrado de que hayan formado parte del sínodo; gracias por sus observaciones y comentarios.

A mis grandes amigos Moisés, Pavel y Gabriel, con quienes he pasado tan buenos momentos y aventuras, dentro y fuera de la universidad, pero también he contado con su apoyo y amistad en todo momento.

No pueden faltar mis amigas de toda la carrera, Pamela y Elizabeth, que con sus locuras, consejos y amistad siempre conté; y toda la banda, Alonso, Brenda, Mariana, Poncho, Adriana, Mariela y Analí; todos miembros del que juntos llamamos “Salita Drink Team”.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, de la cual formo parte desde 1998, donde me he formado y es aquí donde decidí comenzar mi camino en la Geografía que tanto quiero.

Índice

Hipótesis y objetivos	1
1. Introducción	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Precipitación y ciclo hidrológico.....	9
1.3. Sistemas meteorológicos que inciden en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta	11
1.4. Fenómeno Hidrometeorológico e Inundación	15
1.5. Concepto de cuenca en el monitoreo de fenómenos extremos.....	18
1.6. Geografía de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta	21
2. Materiales y Métodos	28
2.1. RClimDex.....	31
2.2. Programa de Automatización de los Métodos Estadísticos en Hidrología.....	37
2.3. Gráficas de comportamiento de la precipitación	38
2.4. Elaboración de Mapas de Periodo de Retorno.....	40
3. Resultados	41
3.1. Comportamiento de la precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta	41
3.1.1. Cuenca del Río Lacantún.....	41
3.1.2. Cuenca del Río Grijalva-Concordia	45
3.1.3. Cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez.....	50
3.1.4. Cuenca del Río Grijalva-Villahermosa.....	58
3.1.5. Cuenca del Río Chixoy.....	65
3.2. Distribución espacial del Periodo de Retorno de Precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta	
3.2.1. Análisis de Periodo de Retorno a 2 Años	69
3.2.2. Análisis de Periodo de Retorno a 5 Años	76
3.2.3. Análisis de Periodo de Retorno a 10 Años	83
3.2.4. Análisis de Periodo de Retorno a 20 Años	90
3.2.5. Análisis de Periodo de Retorno a 50 Años	99
3.2.6. Análisis de Periodo de Retorno a 100 Años	106
3.3. Trabajo de campo	114
4. Discusión.....	120
5. Conclusiones y recomendaciones	124
Referencias bibliográficas	126

Índice de Tablas

1.1. Escala Staffir-Simpson	13
2.1. Distribución de estaciones climatológicas analizadas	29
2.2. Listado de índices climáticos básicos de ETCCDMI	31
2.3. Total de Valores de periodo de retorno calculados	38
2.4. Información sintetizada para la generación de gráficas a nivel estación climatológica	39
3.1. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Lacantún.	41
3.2. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva- Concordia	45
3.3. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva- Tuxtla Gutiérrez.....	51
3.4. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva- Villahermosa.....	59
3.5. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Chixoy	65

Índice de figuras

1.1. Imagen de radar TerraSAR-X producida para CENAPRED por DLR	4
1.2. Centro de Villahermosa, Tabasco, 2007	5
1.3. Localidades inundadas Tabasco, 2007	6
1.4. Retiro del “tapón” en San Juan Grijalva, Chiapas.....	7
1.5. Esquema del ciclo del agua.	11
1.6. Mapa de precipitación media anual	12
1.7. Diferentes tipos de inundación en la región Grijalva-Usumacinta.....	16
1.8. Inundaciones en Tabasco 2007.....	17
1.9. Regiones hidrológicas a nivel nacional.	19
1.10. Regiones hidrológico-Administrativas	20

1.11. Zona de estudio.....	21
1.12. Precipitación media anual de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.....	22
1.13. Temperatura media anual de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.	23
1.14. Principales climas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.	23
1.15. Principales presas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.....	25
1.16. Principales ríos de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.....	26
1.17. Subprovincias fisiográficas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta con clave de las estaciones climatológicas analizadas.....	27
2.1. Distribución de las estaciones climatológicas analizadas.....	30
2.2. Formato de ingreso de la información al programa RClmDex	34
2.3. Gráfica de temperatura generada por el control de calidad de RClmDex (27042 Tapijulapa, Tabasco)	35
2.4. Ingreso de los parámetros establecidos	36
2.5. Resultado del cálculo del índice RX1day generado por RClmDex estación 27034 Paraíso, Tabasco.	36
2.6. Gráfica de la tendencia de la precipitación generada por RClmDex estación 27034 Paraíso, Tabasco.	37
2.7. Tabla que condensa la información generada de periodo de retorno, precipitación máxima histórica y percentil 90.....	39
2.8. Ejemplos de gráficas del comportamiento de la precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.....	40

Figuras de Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90

3.1. Para la estación: a) Altamirano, b) Finca Chayabe, c) Yaquintela, Chiapas	42
3.2. Para la estación: a) Zapaluta, b) Las Margaritas, c) Comitán, Chiapas.....	44
3.3. Para la estación: Ocosingo, Chiapas.....	44
3. 4. Para la estación: a) San Francisco y b) Guadalupe Grijalva, Chiapas.....	46
3.5. Para la estación: Motozintla, Chiapas.	46
3.6. Para a) Finca Cuxtepeques y b) Finca A. Prusia, Chiapas.	47

3.7. Para la estación: a) Aquespala y b) Guadalupe Grijalva, Chiapas.	47
3.8. Para la estación: Abelardo Rodríguez, Chiapas.....	48
3.9. Para la estación: Amatenango del Valle, Chiapas.	48
3.10. Para la estación: a) Villaflores, b) Finca Ocotlán, c) La Libertad, d) La Providencia y e) La Unión, Chiapas.	52
3.11. Para la estación: Acala, Chiapas.....	54
3.12. Para la estación: Bochil, Chiapas.	54
3.13. Para la estación: Villa de Chiapilla, Chiapas.....	55
3.14. Para la estación: a) El Boquerón, b) El Burrero, c) La Escalera y d) Portaceli, Chiapas.	55
3.15. Para la estación: a) Ocozocoautla y b) Tuxtla Gutiérrez.	56
3.16. Para la estación: La Cabaña, Chiapas.....	56
3.17. Para la estación: El Progreso, Chiapas.	57
3.18. Para la estación: a) Puente Colgante y b) Santa María, Chiapas.....	58
3.19. Para la estación: a) San Pedro Chenalho y b) San Juan Chamula, Chiapas.	60
3.20. Para la estación: a) Guaquitepec y b) Malpaso II, Chiapas.	61
3.21. Para la estación: Pichucalco, Chiapas.	61
3.22. Para la estación: a) Macuspana, b) Paraíso y c) Samaria, Tabasco.	62
3.23. Para la estación: a) Tapijulapa y b) Teapa, Tabasco.	63
3.24. Para la estación: a) Villahermosa (27054) y b) Villahermosa (27055), Tabasco.....	63
3.25. Para la estación: Dos Patrias, Tabasco.	64
3.26. Para la estación: Boca del Cerro, Tabasco.	66
3.27. Para la estación: Tenosique, Tabasco.	66
3.28. Para San Pedro, Tabasco.	67
3.29. Para la estación: Balancán de Domínguez, Tabasco.	67
3.30. Para la estación: Tres Brazos, Tabasco.	68
3.31. Para la estación: Palenque, Chiapas.	68

**Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica
Grijalva-Usumacinta**

3.32. Para a) enero y b) febrero.	70
3.33. Para a) marzo, b) abril y c) mayo.	71
3.34. Para a) junio y b) julio.	73
3.35. Para a) agosto y b) septiembre.	74
3.36. Para octubre.	75
3.37. Para a) noviembre y b) diciembre.	76
3.38. Para enero.	77
3.39. Para a) febrero y b) marzo.	78
3.40. Para a) abril y b) mayo.	79
3.41. Para junio.	80
3.42. Para a) julio y b) agosto.	81
3.43. Para a) septiembre y b) octubre.	82
3.44. Para a) noviembre y b) diciembre.	83
3.45. Para enero.	84
3.46. Para a) febrero y b) marzo.	85
3.47. Para a) abril, b) mayo y c) junio.	87
3.48. Para a) julio y b) agosto.	88
3.49. Para a) septiembre y b) octubre.	89
3.50. Para a) noviembre y b) diciembre.	90
3.51. Para enero.	92
3.52. Para a) febrero y b) marzo.	93
3.53. Para a) abril y b) mayo.	94
3.54. Para a) junio y b) julio.	95
3.55. Para a) agosto y b) septiembre.	96
3.56. Para octubre.	97
3.57. Para a) noviembre y b) diciembre.	98

3.58. Para a) enero y b) febrero.	100
3.59. Para a) marzo y b) abril.	101
3.60. Para a) mayo y b) junio.	102
3.61. Para a) julio y b) agosto.	103
3.62. Para a) septiembre y b) octubre.	104
3.63. Para a) noviembre y b) diciembre.	105
3.64. Para a) enero y b) febrero.	107
3.65. Para a) marzo y b) abril.	108
3.66. Para mayo.	109
3.67. Para a) junio y b) julio.	110
3.68. Para a) agosto y b) septiembre.	111
3.69. Para octubre.	112
3.70. Para a) noviembre y b) diciembre.	113

Figuras de trabajo de campo

3.71. Área libre de inundaciones identificada en el levantamiento de campo.	115
3.72. Áreas de inundación identificadas en el levantamiento de campo.	116
3.73. Trabajos de contención realizados en la zona centro de Villahermosa.	117
3.74. Marcas de las inundaciones de 2007 en casas afectadas.	117
3.75. Área de trabajo Frontera, Tabasco.	118

Hipótesis

Se estima que la intensidad y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta ha aumentado como consecuencia de la variabilidad climática, por lo que el número de precipitaciones extremas en los últimos años ha aumentado significativamente.

Objetivo general

Identificar la intensidad y periodicidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta con base en el análisis de series de datos históricos de precipitación, así como la identificación de periodos de retorno de lluvias extraordinarias.

Objetivos particulares

- Identificar los diferentes sistemas meteorológicos que inciden en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.
- Analizar el comportamiento de la precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta a nivel estación climatológica.
- Establecer la periodicidad de los eventos extremos de precipitación y de los registros máximos históricos de cada estación climatológica considerando el percentil 90 de la serie histórica de datos.
- Calcular los valores de precipitación de periodo de retorno a 2, 5, 10, 20, 50, y 100 años para identificar la probabilidad de eventos extremos en la región, así como la distribución espacial y temporal de los mismos.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes

El agua siempre ha sido el principal precursor en el desarrollo de la humanidad. Desde tiempos remotos el ser humano se ha asentado en las márgenes de los ríos de los cuales ha obtenido agua necesaria para la supervivencia, agricultura, pastoreo y demás necesidades.

En la actualidad la importancia de los ríos en la prosperidad de las naciones se acentúa aún más. Los pueblos más desarrollados y que gozan de mayor bienestar económico son los que cuentan con ríos caudalosos y han sabido aprovecharlos (Secretaria de Recursos Hidráulicos, 1955).

Pero el agua también puede ocasionar graves daños al ser humano por la fuerza de sus corrientes que en ocasiones erosiona gravemente sus causes, se desborda e inunda campos y poblados o permanece en forma perjudicial en campos, ciénagas y pantanos. Para contrarrestar estos efectos dañinos es necesaria la construcción de obras llamadas de defensa como presas, bordos, cajas de entarquinamiento y causes de alivio (Conagua 2007).

Los economistas afirman que uno de los primeros pasos que debe dar un país en vías de desarrollo, es generar la máxima energía eléctrica barata que sea posible, para así facilitar el desarrollo de su industria y de este modo llevarla a niveles superiores, México podría desarrollarse si se aprovechara íntegramente los cuantiosos recursos de esta cuenca, esto no es fácil puesto que requiere grandes esfuerzos técnicos y económicos (Echegaray, 1955).

En México presenta una un régimen de lluvias muy diverso, la orografía juega un papel importante en la distribución espacial y temporal de la misma. El 42% del territorio, ubicado principalmente en el norte del país, tiene precipitaciones medias anuales inferiores a 500 mm, mientras que una porción del sureste, el cual abarca el 7% del territorio, se localizan zonas con precipitaciones superiores a 2000 mm (Mendoza, 2001).

El estado de Tabasco se encuentra en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, la cuenca, es la primera reserva de agua en México, la séptima del mundo y es la región número uno en la generación de energía eléctrica en el país (Conagua).

Por lo cual es la región con mayor precipitación del país, asimismo Villahermosa, la capital del estado, se localiza a las márgenes de diferentes cuerpos de agua como las lagunas Las Ilusiones y rodeada por los ríos Grijalva y Carrizal. Otro factor de consideración en la vulnerabilidad es que, la ciudad de Villahermosa ha crecido en zonas de alto riesgo a las márgenes de los ríos a causa de la urbanización.

Históricamente pueden mencionarse como inundaciones extraordinarias las ocurridas en los años: 1879, 1918, 1927, 1932, 1952. En estas el nivel del agua alcanzó diferentes alturas que fueron de unos 30 centímetros hasta más de un 1.30 metros en algunas regiones (Echegaray, 1955).

Otras inundaciones históricas a mencionar son las del desbordamiento del Río Grijalva en 1963, 1973 y 1980 en los cuales se presentaron pérdida de vidas humanas así como miles de damnificados y pérdidas millonarias por los daños en casa habitación, infraestructura, agricultura, ganadería, industria y comercio. (SARH, 1980).

Las inundaciones más recientes en el estado de Tabasco se presentaron en 1995, 1999 y 2007.

El presente trabajo se es consecuencia del interés en las recientes inundaciones de finales de octubre y principios de noviembre de 2007 en Tabasco y Chiapas, las cuales se debieron a un conjunto de factores climatológicos desfavorables en la entidad que al conjugarse ocasionaron fuertes avenidas en los estados de Tabasco, Chiapas y parte de Veracruz, esto se debió principalmente al frente frío No. 4, el cual se mantuvo por varios días en el centro del Golfo de México provocando fuerte nubosidad y lluvias intensas, dicho frente en conjunto con una masa de aire frío proveniente del norte del país provocó que en tres días cayera la sexta parte de la precipitación promedio anual de la región, la tormenta más intensa en 24 horas se registró el 28 de octubre de 2007 en Chiapas con 403 milímetros (Conagua, citado por Enciso, 2007). Esta lluvia se concentró principalmente en la zona donde están los principales escurrimientos provenientes de los ríos de las sierras aledañas al estado. Estos factores provocaron que todo el estado sea una zona de desastre por inundación principalmente, superando los daños y pérdidas del año 1999 que también fueron de consideración.

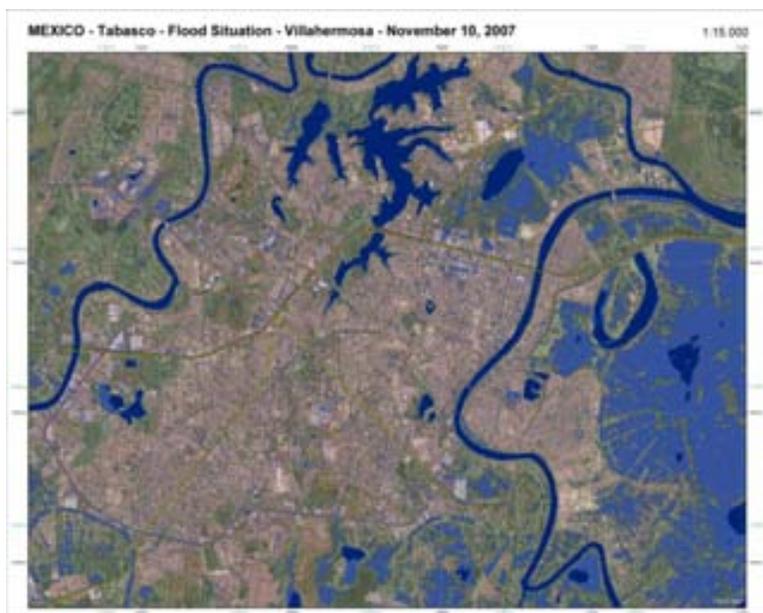


Figura 1.1. Imagen de radar TerraSAR-X producida para CENAPRED por DLR

<http://www.zki.dlr.de>

Dado que al día 31 de octubre de 2007 las lluvias en Tabasco habían estado 86 por ciento por arriba del promedio normal y cinco veces más el nivel histórico para un periodo de 24 horas, provocó la máxima elevación de los últimos 50 años en los niveles de los ríos en la entidad (Conagua, 2007). La precipitación normal en Tabasco, para el mes de octubre, es de 378 milímetros, pero la suma de la lluvia acumulada en el mes de octubre de 2007 alcanzó los 776 milímetros, de los cuales en 72 horas se precipitaron 303 milímetros, que representan 86 por ciento del total mensual. (CFE, 2008).

Debido a las fuertes lluvias registradas se desbordaron varios ríos como Tacotalpa, Teapa, Oxolotán, Puyacatengo, Pichucalco, Puxcatán, Tulija, La Sierra y Viejo Mezcalapa (Figura 1.16). La ciudad de Villahermosa fue afectada principalmente por el desbordamiento de los ríos Grijalva y Carrizal (Figura 1.1).

Otra de las causas mencionadas por autoridades sobre las inundaciones en Tabasco fue que la luna de octubre ocasionó la marea alta provocando el “taponamiento hidráulico” que impidió que el agua de los ríos Usumacinta, Grijalva y Carrizal llegara al mar debido al fuerte oleaje que golpeaba contra la desembocadura de los ríos en el Golfo de México.

Debido a que el Estado de Tabasco se encuentra a muy poca altura sobre el nivel de mar, es una zona de ríos, lagunas y pantanos, por lo mismo a lo largo de su historia ha sufrido inundaciones por el desbordamiento de los ríos que atraviesan la entidad.

A las fuertes lluvias se le suma el agua proveniente del desfogue de las presas de la región, en particular “Peñitas”, la cual recibió en sólo tres días precipitaciones cercanas a los 400 milímetros, equivalente a un 94 por ciento de su promedio normal para el mes de octubre llegando de esta manera a su máxima capacidad haciendo necesario el desfogue, lo cual sumó miles de metros cúbicos de agua a los ya saturados ríos de la región. Este excesivo gasto sobrepasó las obras de protección del cauce provocando su desbordamiento en varios puntos del estado incluyendo la capital. (CFE, 2008)

En los últimos 50 años la CFE construyó, junto con la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos, cuatro presas principales sobre el río Grijalva que se encuentran en operación. Estas son: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas. Estas cuatro presas han controlado, en la mayor medida posible, la cuenca del Grijalva (figura 1.15).

El río Usumacinta se desbordó en casi todo su trayecto por el territorio tabasqueño, mientras que el Grijalva se desbordó en zonas bajas y al centro de Villahermosa (Figura 1.2), donde voluntarios, elementos del Ejército, policías federales y estatales colocaron costales con arena para impedir que se inundara el centro de la capital, pero el caudal fue superior a las obras improvisadas para detener las aguas.



Figura 1.2. Centro de Villahermosa, Tabasco, 2007

Fuente: Notimex

Entre las afectaciones originadas por las grandes inundaciones en Tabasco está el desbordamiento de Los ríos Carrizal, La Sierra, Teapa, Samaria, Pichucalco, Viejo Mezcalapa y Grijalva principalmente que afectaron el 80% del estado (Figura 1.3). La presa “Peñitas” alcanzó aprox. 3.6 m arriba de su escala crítica, por lo que tuvo que desfogar aprox. 2,016 m³/s sumando millones de litros de agua a los ya saturados ríos, la presa de “Malpaso” no tuvo necesidad de desfogue dado que permaneció por debajo de su capacidad de almacenamiento (CFE, citado por la prensa, 2007).

Al menos 670 localidades de los 17 municipios se vieron sumergidas después de las crecidas de los ríos de la entidad tabasqueña. Algunos de los municipios que presentaron diversos grados de inundación fueron Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez, Jalapa, Tacotalpa, Cárdenas, Huimanguillo, Comalcalco, Paraíso y Centla.



Figura 1.3. Localidades inundadas Tabasco, 2007

Fuente: Notimex

Los daños causados por las inundaciones se calcularon a sólo unos días de la tragedia en 50 mil millones de pesos, lo que equivale a siete veces el presupuesto que recibió la entidad en 2007. Este cálculo no incluye los daños en escuelas, carreteras y agricultura, ni el impacto en la industria (Gobierno del Estado, 2007).

Villahermosa fue una de las zonas más afectadas como el parque Tabasco, el museo Papagayo, Bosques de Saloya, Brisas del Carrizal, Flores del Trópico, La Selva, el

fraccionamiento Téllez Girón, La Pera y El Cedro. Las colonias más afectadas por la cantidad de viviendas que hay son Gaviotas y La Manga donde el agua alcanzó alturas de hasta 4 m (La Jornada, 2007).

Los daños también se vieron reflejados en Chiapas dónde ocurrió el desgajamiento de un cerro en la comunidad de San Juan del Grijalva por las condiciones naturales del Estado, pero sobre todo por las fuertes lluvias registradas, las cuales reblandecieron el suelo provocando que otro cerro se desgajara y cayera al embalse de la presa Peñitas (Figura 1.4), para así originar un desplazamiento violento de agua que golpeó contra otro cerro e hizo que este se desgajara sobre el poblado, donde habitan 416 personas (El Universal, 2007).



Figura 1.4. Retiro del “tapón” en San Juan Grijalva, Chiapas.

Fuente: Notimex

Las inundaciones de Tabasco en 2007 pudieron ser evitadas con la infraestructura necesaria, además de que, los pronósticos emitidos entre julio y agosto por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM ya apuntaban lluvias muy por encima de lo normal en Chiapas y Tabasco (Enciso, 2007).

Las inundaciones normales ocurren cada 4 o 5 años; mientras que las extraordinarias no tienen un ciclo más o menos definido y pueden presentarse cada 5 a 10 años (Echegaray, 1955). En la actualidad diversas instituciones realizan estudios de precipitación para ciertas localidades de Tabasco y Chiapas; algunos resultados apuntan a la posibilidad de que los eventos extremos en precipitación hayan aumentado de manera considerable desde

principios del siglo pasado a la fecha como el aumento de la intensidad de diferentes huracanes como Stan en 2005. Otras conclusiones a las que llega el CCA está que, “aunque no se pueden observar errores en el manejo de las presas, éstas se pudieron optimizar; que los pronósticos del Servicio Meteorológico Nacional no fueron los adecuados, y que, aunque horas antes las autoridades sabían que Villahermosa se iba a inundar, no se avisó ni evacuó a la población” (Zavala, 2007).

En Tabasco se dejaron de hacer obras del Programa Integral Contra Inundaciones (PICI) por razones que aún se desconocen, las obras comprendían la construcción de bordos, encauzamiento y rectificación de cauces de ríos, protección a poblaciones marginales y estructuras de control de inundaciones. El plan para evitar inundaciones en Tabasco, elaborado en 2003, quedó inconcluso, a pesar de que se advirtió la necesidad de que continuara. El Proyecto Integral contra Inundaciones (PICI) preveía una inversión de 2 mil 60 millones de pesos, de los cuales 70% sería aportado por el gobierno federal y 30% por el gobierno estatal.

Se sabe que la conjunción del aire marítimo y la presencia de un frente frío pueden ocasionar lluvias extraordinarias en la región, sin embargo el número de habitantes en zonas de riesgo ha aumentado significativamente desde la última inundación a la fecha (Boletín de prensa CCA, 2007).

En este trabajo se tratará de determinar desde el punto de vista climático y estadístico, los ciclos de recurrencia de eventos extremos que causan las inundaciones en la región.

Sin embargo algunos autores dicen que la ocurrencia de los fenómenos extremos no han tenido un cambio apreciable en los últimos 5000 años, esto en base a los registros prehistóricos, argumentando que los registros históricos son insuficientes para obtener un patrón completo de la verdadera variabilidad de los eventos extremos (Hayne and Chapell, 2001).

Las causas de las inundaciones pueden ser generalmente causas físicas como fuerzas climáticas y la influencia humana como la deforestación y los grandes desarrollos urbanos en zonas de alta vulnerabilidad. Se deben principalmente a riesgos atmosféricos como la

alta precipitación y también pueden estar asociadas a procesos atmosféricos de gran escala como “El Niño” que causó las grandes inundaciones de 1993 en EUA (Smith, 2001).

También es común no tener un concepto claro de límite y extensión hasta los cuales es posible defender de las inundaciones a una región, y de sus restricciones físicas y económicas. Se podría pensar que las inundaciones pueden tener un remedio inmediato capaz de producir una cura radical, pero el problema es más difícil y complejo. Las inundaciones pueden evitarse o disminuir su frecuencia o intensidad, mediante vasos de almacenamiento o regularización en la parte superior de las cuencas, por ensanchamiento de los cauces, la construcción de bordos para confinar la corriente y desviación de la corriente hacia otro cause (Echegaray, 1955).

Mientras no puedan hacerse las obras de defensa requeridas, es conveniente disminuir el daño adaptándose a vivir y explotar la zona a pesar de que se inunde. Cuando se construyen obras de defensa en una región la confianza que estas generan alienta el incremento de los negocios y las inversiones en la zona definida, pero cuando las obras fallan las pérdidas son enormes. El costo de los daños materiales ocasionados por una sola de estas catástrofes, es casi del orden del costo de las obras que podrían evitarlas en el futuro.

1.2. Precipitación y ciclo hidrológico

La precipitación es cualquier forma de condensación de agua que cae del cielo, lo que incluye: lluvia, nieve y granizo. Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son la proximidad al mar, que aumenta la humedad del aire, y las corrientes ascendentes de aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes, o barlovento.

Los principales tipos de precipitación son ciclónica, frontal y no frontal, convectiva y orográfica.

El instrumento para medir la precipitación es el pluviómetro, el cual tiene un diseño básico que consiste en un recipiente de entrada, por donde el agua ingresa a través de un embudo

hacia un colector donde el agua se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada.

Esta información puede quedar registrada mediante el pluviógrafo con el cual la cantidad de lluvia es representada en una gráfica; esto nos permite conocer además la distribución y la intensidad de la lluvia.

El ciclo hidrológico se puede definir como el proceso que describe la interacción de la atmósfera con la Tierra mediante el paso de los diferentes estados del agua.

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso en que toda gota de agua recorre un circuito cerrado, por decir, desde el momento en que precipita la lluvia, hasta el momento de precipitar nuevamente. Este recorrido puede cerrarse por distintas vías, se parte de la nube como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo (Figura 1.5).

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y de nube que proviene, casi en su totalidad, del agua evaporada en el mar. Esta humedad es transportada, por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en forma líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha). Durante la precipitación el agua puede iniciar su retorno hacia la atmósfera, porque en su caída se evapora y una parte de ella no llega al suelo; otra parte, al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde parte se evapora y también regresa a la atmósfera y parte escurre hacia el suelo y se infiltra. El agua que cae directamente al suelo será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, etc.), otra parte correrá por la superficie dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar. Una parte de la que se precipitó en la tierra, se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad del suelo y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que, como el superficial, también llega a los cauces de los ríos; asimismo, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. El agua que se infiltra en el suelo puede volver a la superficie en forma de manantiales en situación próxima tanto geográfica como

temporalmente o, por el contrario, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo (Maderey, 2005).



Figura 1.5. Esquema del ciclo del agua.

Fuente: water.usgs.gov

De esta forma, dependiendo de la intensidad y periodicidad de la precipitación además de todos los factores descritos por el ciclo hidrológico es como se puede originar un desastre como las inundaciones.

1.3. Sistemas meteorológicos que inciden en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta

Por su ubicación geográfica, en la zona intertropical, que combinado con su orografía el territorio mexicano se ve afectado por diferentes sistemas meteorológicos, que a su vez originan diferentes desastres como son las inundaciones. Durante el invierno se presentan sistemas de latitudes medias y en el verano los sistemas tropicales.

Un ejemplo de la diversidad climática de México es que el sureste del país recibe importantes cantidades de lluvia mientras que en el norte las precipitaciones son escasas (Figura 1.6) la precipitación media en la región Frontera Sur es de 2,265 milímetros, que

comparado con los 202 milímetros que se generan en la región Península de Baja California indican una enorme diferencia de precipitación a nivel nacional.



Figura 1.6. Mapa de precipitación media anual

Fuente: Atlas Nacional de México

Las importantes variaciones de las lluvias, su distribución y en ocasiones su abundancia en algunas regiones, provocan serios daños a la población, a la infraestructura, a los sistemas de producción, transporte, comunicaciones, de servicios.

En la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta se presentan lluvias a lo largo de todo el año distribuyéndose espacial y temporalmente debido a los diferentes sistemas meteorológicos. Durante el verano el principal fenómeno que afecta la región es el llamado ciclón tropical, este es el nombre genérico que se le da a cualquier perturbación atmosférica, desde que tiene características de una depresión, hasta que evoluciona a huracán (Tabla 1). Los ciclones tropicales son fenómenos naturales que se originan y desarrollan en mares de

aguas cálidas y templadas, con nubes en espiral. Generalmente su diámetro es de cientos de kilómetros, con presiones mínimas en la superficie, vientos violentos y lluvias torrenciales, algunas veces acompañadas por tormentas eléctricas; tienen una región central conocida como ojo de huracán o vórtice, con diámetro decenas de kilómetros, vientos débiles y cielos ligeramente nublados.

Cuando un ciclón tropical se desplaza muy próximo a las zonas costeras, o penetra en tierra firme, es capaz de originar daños a la población y a sus bienes, debido a la generación de marea de tempestad, vientos fuertes con ráfagas hasta de 360 km/h, e inundaciones. Los costos directos causados por los daños en la producción agrícola, en la infraestructura y en otros renglones de la economía nacional, ante la presencia de estos meteoros, anualmente pueden sumar miles de millones de pesos.

Tabla 1.1. Escala Saffir-Simpson

Categoría	Vientos Máximos (km/h)	Marea de tormenta (m)	Características de los posibles daños materiales e inundaciones
Uno	118.1 a 154	1.2 a 1.5	Árboles pequeños caídos; algunas inundaciones en carreteras costeras en sus zonas más bajas.
Dos	154.1 a 178	1.8 a 2.5	Tejados, puertas y ventanas dañados; desprendimiento de árboles.
Tres	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Grietas en pequeñas construcciones; inundaciones en terrenos bajos y planos.
Cuatro	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Desprendimiento de techos en viviendas; erosiones importantes en playas y cauces de ríos y arroyos. Daños inminentes en los servicios de agua potable y saneamiento.
Cinco	Mayores a 250	Mayores a 5.5	Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios industriales.

Fuente: CONAGUA, 2009

Durante el invierno afectan a la región los sistemas meteorológicos de latitudes medias como los frentes fríos o “Nortes” que son el resultado de la acumulación de aire frío de latitudes medias e intensos gradientes meridionales de presión en la tropósfera baja que resultan en irrupciones de aire frío hacia los trópicos (Hastenrath, 1991).

Se presentan principalmente de octubre a mayo. Son parte de ondas de escala sinóptica de latitudes medias y están asociados con altas presiones, los Nortes generan vientos que llegan a los 30 m/s y descensos de temperatura que van de 2 a 15 grados centígrados en sólo 24 horas, nubosidad baja y en ocasiones precipitación, principalmente sobre el este de las cordilleras de México y Centroamérica. Los efectos de un Norte permanecen desde un día hasta casi dos semanas después del paso del frente.

Otro sistema a considerar es La Zona Intertropical de Convergencia (ZCIT) la cual es una banda de baja presión que se forma sobre las regiones de masas de aguas más cálidas en los trópicos, donde las masas de aire están forzadas a ascender por el calentamiento, esto origina una abundante formación de nubes y fuertes lluvias. La ZCIT no es estacionaria y tiende a desplazarse sobre las áreas superficiales más calientes a lo largo del año.

La Zona de Intertropical Convergencia no llega a desplazarse hasta el área de México, sino que su posición se asocia dinámicamente a la alberca de agua caliente del Pacífico y a los gradientes latitudinales de temperatura de superficie del mar, que determinan condiciones para la generación de la convección profunda. La intensidad y densidad de la convección profunda en la Zona Intertropical de Convergencia, puede resultar en periodos de intensas lluvias o de sequías. A pesar de que su variabilidad es un tema poco estudiado, se sabe que experimenta periodos de intensa y débil actividad convectiva, en gran parte controlados por ondas tropicales (Magaña y Yanai, 1995)

1.4. Fenómenos hidrometeorológicos e inundaciones

En el Diario Oficial de la Federación del 12 de mayo de 2000 se consideró Fenómeno Hidrometeorológico “Calamidad que se genera por la acción violenta de los agentes atmosféricos, tales como huracanes, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías y las ondas cálidas y gélidas”.

El Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) marca como Fenómeno Natural Preturbador al evento generado por la naturaleza, que por sus características extremas, atípicas o severas condiciona o genera una situación de Desastre Natural, caracterizado por la ausencia relativa de la participación directa o indirecta del ser humano (DOF del miércoles 27 de mayo de 2009).

Dentro de los Fenómenos Naturales Preturbadores por los cuales se puede emitir declaratoria de desastre natural están los hidrometeorológicos, que comprenden: granizada severa, huracán, inundación fluvial, inundación pluvial, lluvia severa, nevada severa, sequía severa, tormenta tropical y tornado.

Por otra parte se considera inundación al flujo o a la invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o por acumulación en terrenos planos, ocasionada por falta o insuficiencia de drenaje tanto natural o artificial. Las inundaciones generalmente son consecuencia directa de otros fenómenos hidrometeorológicos. En general, la magnitud de una inundación provocada por calamidades de origen hidrometeorológico, depende de la intensidad de las lluvias, de su distribución en el espacio y tiempo, del tamaño de las cuencas hidrológicas afectadas, así como de las características del suelo y del drenaje natural o artificial de las cuencas. En periodos de lluvias intensas, regularmente se presenta el fenómeno de saturación de las corrientes naturales de agua, que exceden su cauce normal de conducción, afectando centros de población y áreas de producción. Esto se deriva principalmente de la baja capacidad de los ríos ante flujos extraordinarios, aunados a deficiencia de drenaje, saturación del suelo y acumulación de desperdicios, que disminuyen la capacidad hidráulica de los cauces.

Las inundaciones pueden catalogarse por su origen en pluviales, fluviales y lacustres (Figura 1.7).

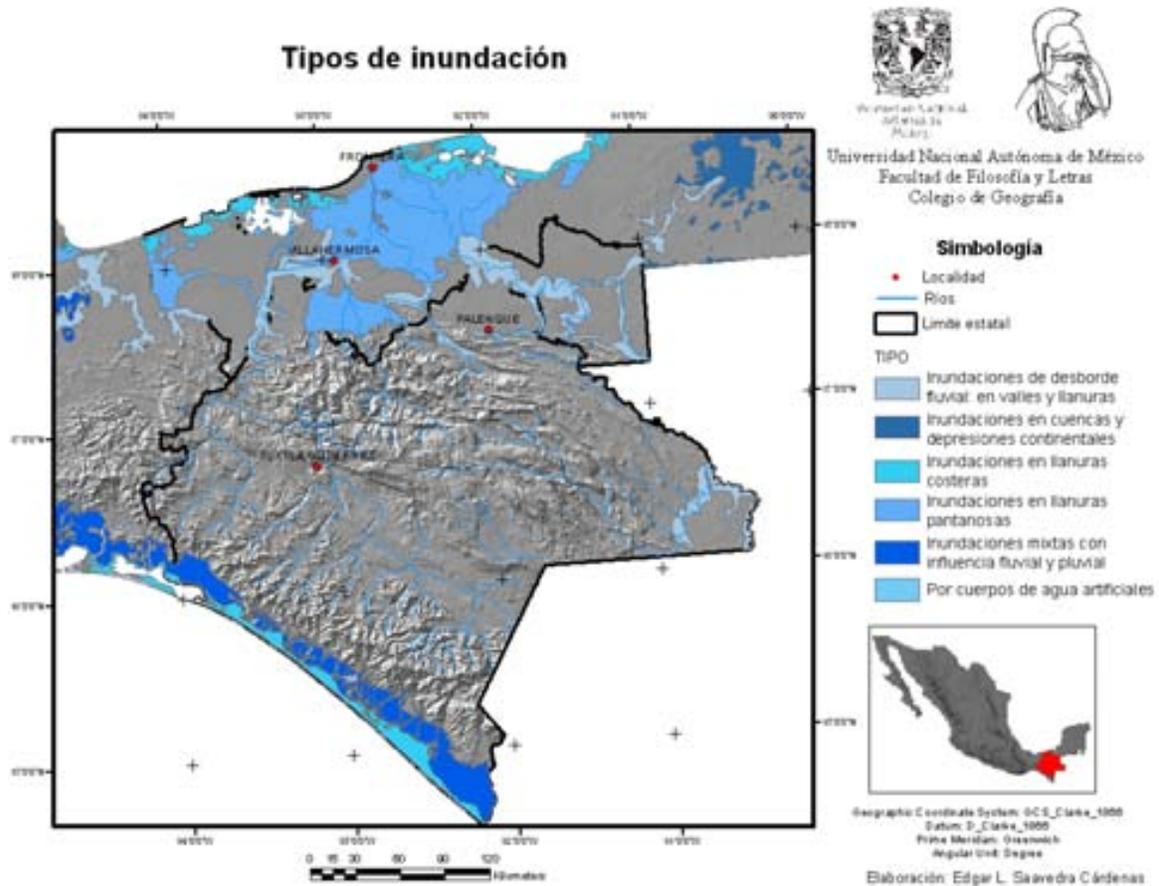


Figura 1.7. Diferentes tipos de inundación en la región Grijalva-Usumacinta.

Las pluviales se deben a la acumulación de la precipitación (lluvia, granizo y nieve, principalmente), que se concentra en terrenos de topografía plana o en zonas urbanas con insuficiencia o carencia de drenaje (Figura 1.7).

Las lacustres se originan en los lagos o lagunas por el incremento de sus niveles y son peligrosas por el riesgo que representan para los asentamientos humanos cercanos a las áreas de embalse.

Las fluviales que son las que afectan principalmente la región de estudio son aquellas que se originan cuando los escurrimientos superficiales son mayores a la capacidad de conducción de los cauces (Figura 1.7).

De acuerdo al Atlas Nacional de Riesgos los daños por inundación pueden ser: a) *Directos*, los cuales consisten principalmente en un daño físico de las propiedades y de la producción. Las actividades y bienes que en mayor medida pueden ser afectados por este tipo de daños son: la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la industria, el comercio, las obras públicas y las edificaciones (Figura 1.8). b) Los *indirectos* que son las pérdidas económicas de los productos y servicios de una región derivadas de la interrupción temporal de las actividades agropecuarias, forestales, industriales y de comercio. También se incluye dentro de este concepto, el gasto que se destina para la ayuda a los damnificados y c) los *intangibles* donde se engloban los damnificados, heridos y las pérdidas de vidas humanas.



Figura 1.8. Inundaciones en Tabasco 2007

Fuente:Notimex

1.5. Concepto de cuenca en el monitoreo de eventos extremos

Las cuencas son las concavidades que la naturaleza ha creado en la superficie de las tierras mediante las fuerzas tectónicas, la fuerza del agua y sus corrientes, los tipos de suelos, y la vegetación. Las cuencas pueden extenderse desde algunos kilómetros cuadrados hasta por cientos o miles. Son los receptores de agua en la tierra, captadores, algo así como embudos, tanto en la superficie de la tierra como en el subsuelo (Estadísticas del Agua en México, 2007).

La cuenca hidrográfica es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia, nieve o deshielo escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorreicas (Conagua).

La topografía de la tierra generalmente delimita las cuencas. Las montañas en sus partes más altas, en sus vértices, en los parteaguas, determinan el escurrimiento del agua de lluvia, nieve o deshielo hacia un lado o hacia otro. En su escurrir o drenar, el agua forma ríos, arroyos, lagos y lagunas tanto en la superficie como bajo el suelo. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. El territorio de México está formado por múltiples cuencas. Algunas de las más importantes cuencas exorreicas corresponden a los grandes ríos nacionales como el Grijalva y Usumacinta de las cuales se trata en el presente trabajo. Cada uno de estos importantes ríos tiene corrientes alimentadoras que se forman con las precipitaciones que caen sobre sus propios territorios de drenaje a las que se les llama cuencas secundarias o subcuencas. A su vez, cada subcuenca tiene sus propios sistemas hidrológicos que les alimentan sus caudales de agua. Estas son cuencas de tercer orden y así, sucesivamente hasta territorios muy pequeños por los que escurre el agua sólo durante las temporadas de lluvia y por períodos muy cortos de tiempo (Conagua, 2009).

Debido a que las cuencas tienen límites físicos naturales muy claros y que el agua que en ellas fluye puede acotarse a esa extensión de terreno, es por ello que es la unidad más funcional para administrar el agua. La definición de *Región Hidrológica* (Figura 1.9) es la

siguiente: “Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas. Por tanto, los límites de la región hidrológica son en general distintos en relación con la división política por estados, Distrito Federal y municipios. Una o varias regiones hidrológicas integran una región hidrológico-administrativa.”

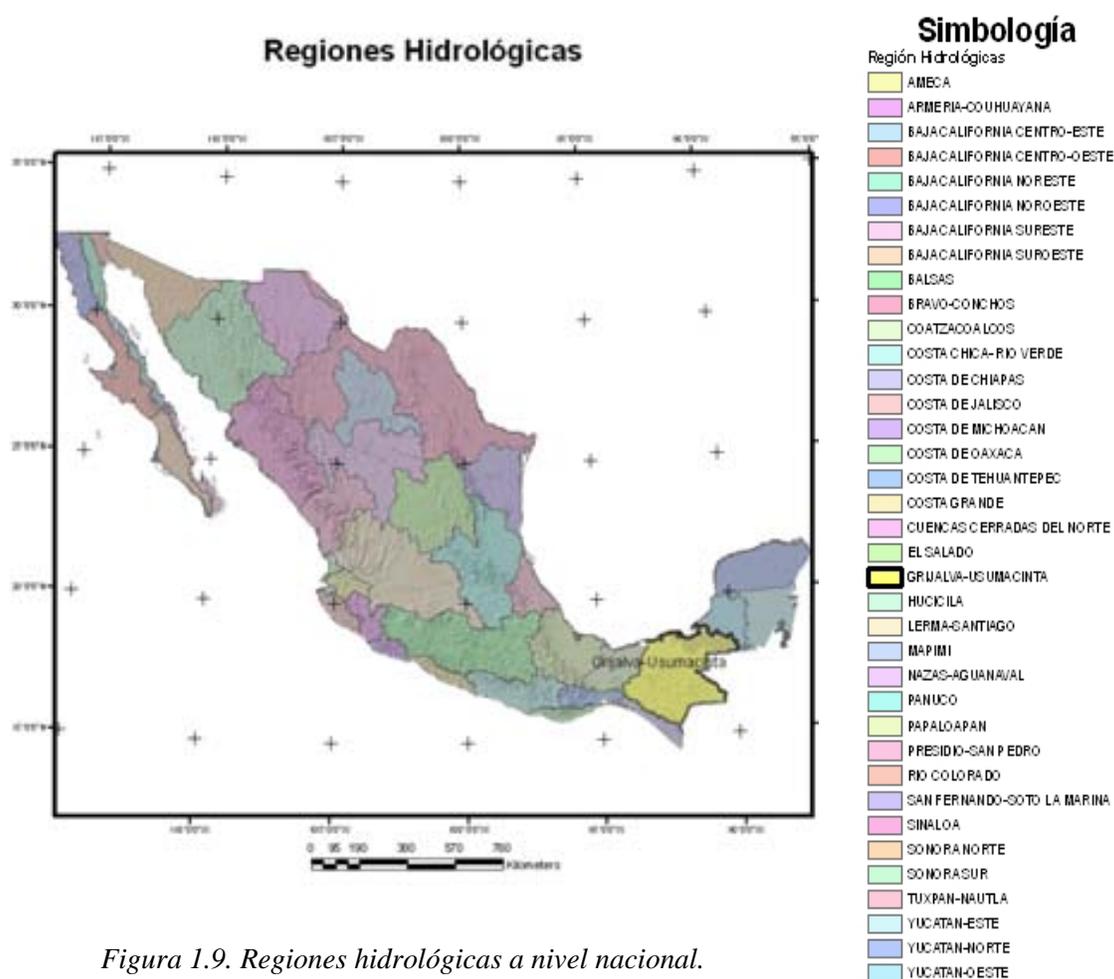


Figura 1.9. Regiones hidrológicas a nivel nacional.

La *Región Hidrológico-Administrativa* se define estrictamente como “Área territorial definida de acuerdo con criterios hidrológicos, integrada por una o varias regiones

hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y el municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país”.

México cuenta con todo tipo de cuencas: abiertas y cerradas; costeras y de montaña; grandes, medianas y pequeñas. Una de las clasificaciones divide al país en 837 cuencas hidrográficas con diferentes características y tamaños.

Para efectos de planificación, organización institucional y participación social, las cuencas se han agrupado en sistemas hidrológicos completos y en lo que se conoce como Sistemas Hidrológico Administrativos. Asimismo, para administrar y regular los usos y aprovechamientos de las aguas superficiales y subterráneas, se dividió el país en 13 regiones hidrológico administrativas (Figura 1.10), en cada una de las cuales hay una gerencia regional de la Conagua, organismo federal reconocido por la Ley de Aguas Nacionales como la autoridad en la materia (Conagua, 2009).

En este sentido, la Conagua divide el país bajo dos criterios: regiones administrativas y regiones hidrológicas.



Figura 1.10. Regiones hidrológico-Administrativas. Fuente: CNA, 2001.

1.6. Geografía de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta

La cuenca de los ríos Grijalva-Usumacinta se localiza en el sureste de la República mexicana y administrativamente comprende los estados de Tabasco y Chiapas y pequeñas porciones de Campeche además de encontrarse entre las siete más importantes del mundo por el volumen de agua que descarga al mar, con más del 30 % de los ríos del país (Figura 1.11).

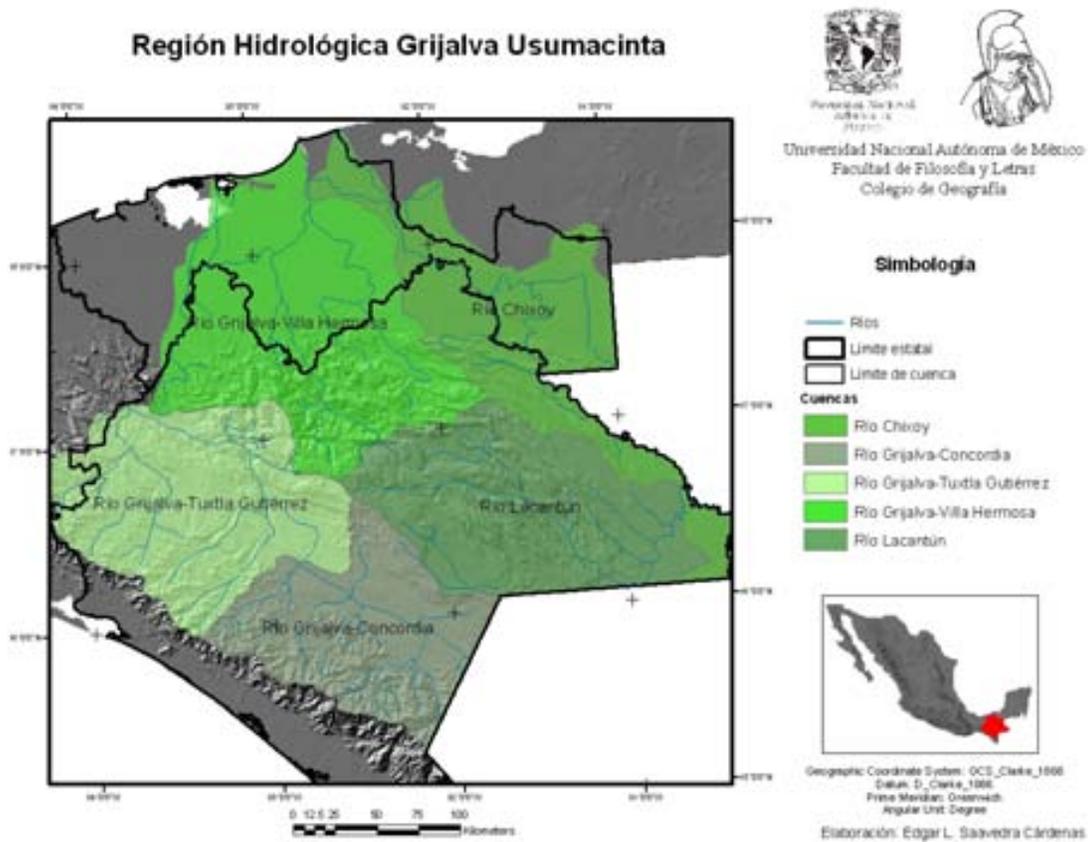


Figura 1.11. Zona de estudio

La precipitación de la región es la mayor del país y una de las más altas del mundo. Su media anual es de 2,143 mm, 2.6 veces el promedio nacional. En la Sierra de Chiapas y en la Sierra Lacandona, las lluvias sobrepasan en algunos lugares los 4,000 mm al año (Figura 1.12), mientras que en la zona costera del norte promedia 2,093 mm al año y alcanza los 2,750 mm (Conabio, 2007).

La temperatura media anual es de 24 °C y de 7 °C y 41°C en los extremos, lo que establece un gradiente de climas cálidos y semicálidos húmedos con influencia marina en la zona norte y en la parte central de la región (Figuras 1.13 y 1.14).

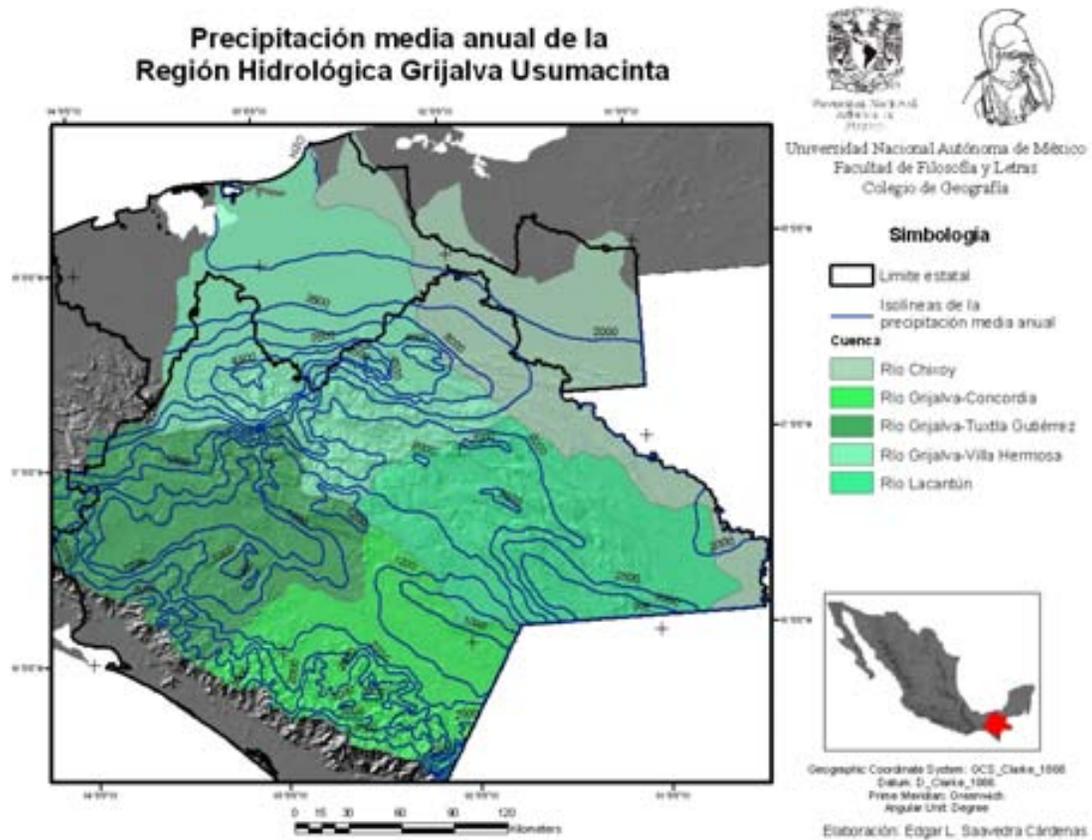


Figura 1.12. Precipitación media anual de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

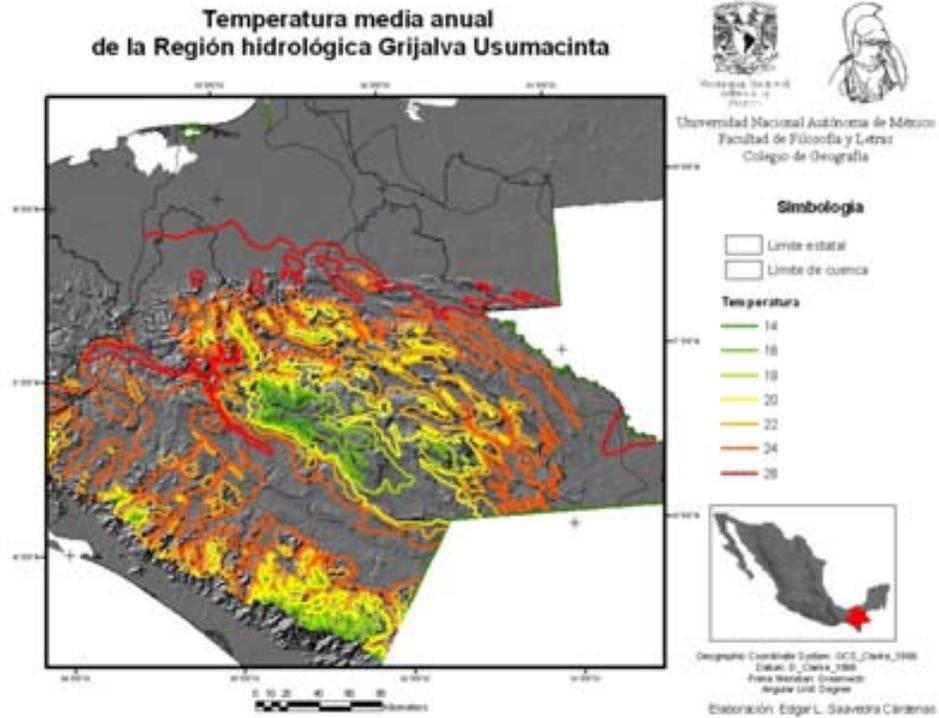


Figura 1.13. Temperatura media anual de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

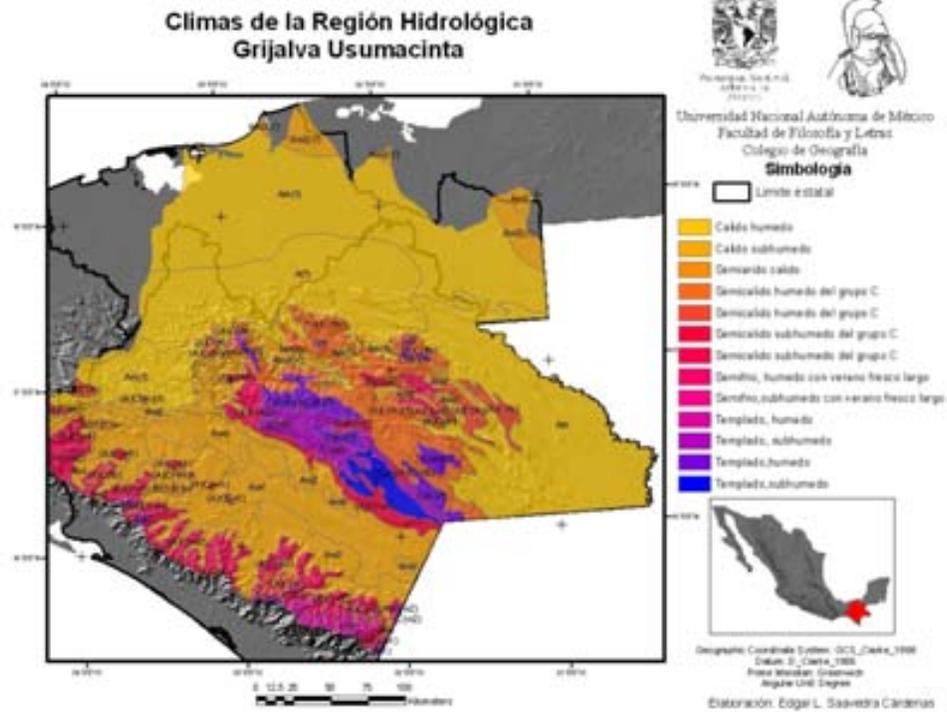


Figura 1.14. Principales climas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

La invasión de masas de aire frío del norte y húmedos tropicales del Atlántico y el Pacífico provocan la mayoría de las precipitaciones anuales en la región. Llueve prácticamente todo el año, el 83% de los 365 días, pero especialmente las lluvias se concentran en verano, otoño e invierno. Sólo la primavera es relativamente seca. En el verano las lluvias son muy intensas. Entre el otoño y el invierno soplan los nortes, con lluvias prolongadas y torrenciales. Los ríos y lagunas alcanzan sus máximos niveles entre septiembre y noviembre, lo que vuelve a la planicie un espejo de agua. Es la época de las inundaciones, que provocan desastres en la agricultura y las poblaciones asentadas en la llanura costera del norte (INE, 2006).

El aprovechamiento de la cuenca Grijalva-Usumacinta es de gran interés para la economía del sureste de la República y para el país en general, es necesario y urgente planear el desarrollo de estas obras en forma técnica y lógica, de modo que al construirse queden garantizadas tanto las inversiones como la utilidad práctica de estas obras. Las obras deben regularizar las grandes crecientes en la parte alta de la cuenca y en la parte baja brindar protección a la población ante las inundaciones, no es factible técnica ni económicamente la construcción de defensas contra inundaciones mediante obras aisladas construidas en la parte baja, a menos que se cuente con vasos reguladores de suficiente capacidad.

Debido al gran potencial hidrológico de la región se han construido muchas obras con el fin de aprovechar al máximo las características naturales, entre las más importantes se encuentran las presas Peñitas, Malpaso, Chicoasén, La Angostura y una más pequeña de nombre El Potrillo, estas se ubican en Chiapas principalmente (Figura 1.15).

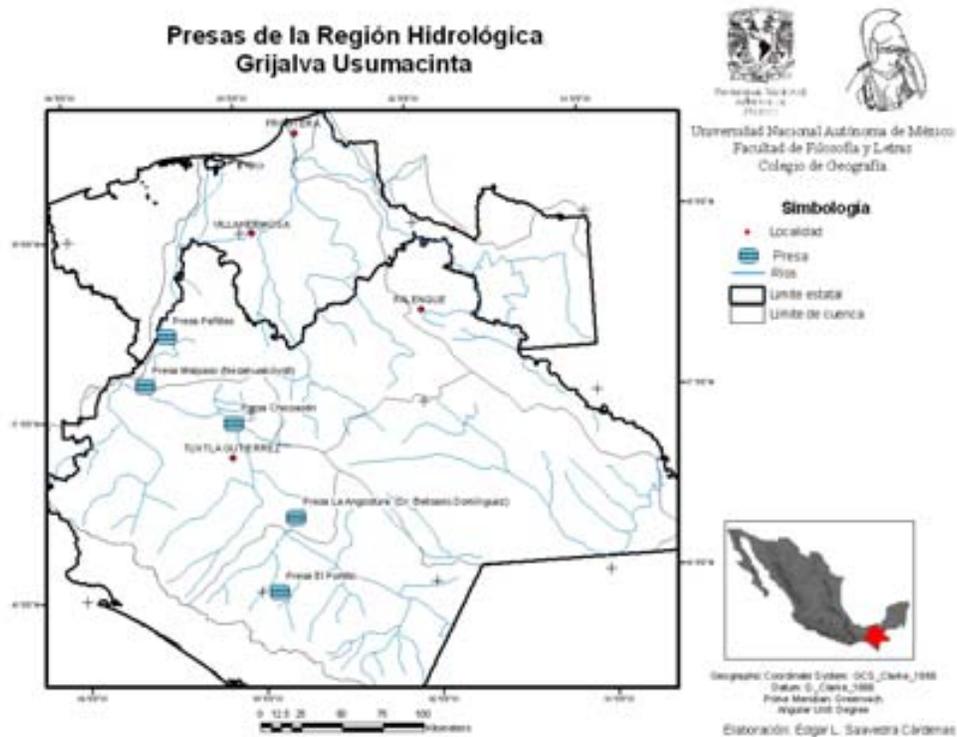


Figura 1.15. Principales presas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

La Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta descarga sus aguas por medio de los dos ríos que le dan su nombre, nacen en las Sierras de Guatemala y corren hacia el noroeste. La zona alta ocupa casi la totalidad del estado de Chiapas y parte de la República de Guatemala y Belice.

El cono de deyección del Grijalva se inicia en Peñitas al entrar esta corriente al estado de Tabasco. El cono de deyección del Usumacinta principia en Boca del Cerro, también al pasar este río de Chiapas a Tabasco. Ambos conos de deyección se confunden y forman la totalidad del estado de Tabasco. Los ríos se unen en tres brazos y 23 km. adelante desembocan juntos en la barra de Frontera bajo el nombre de Grijalva (Figura 1.16).

Grijalva-Usumacinta es la cantidad de estaciones climatológicas consideradas para el estudio, las cuales son 54 en diferentes municipios de la zona de estudio (Figura 1.17).

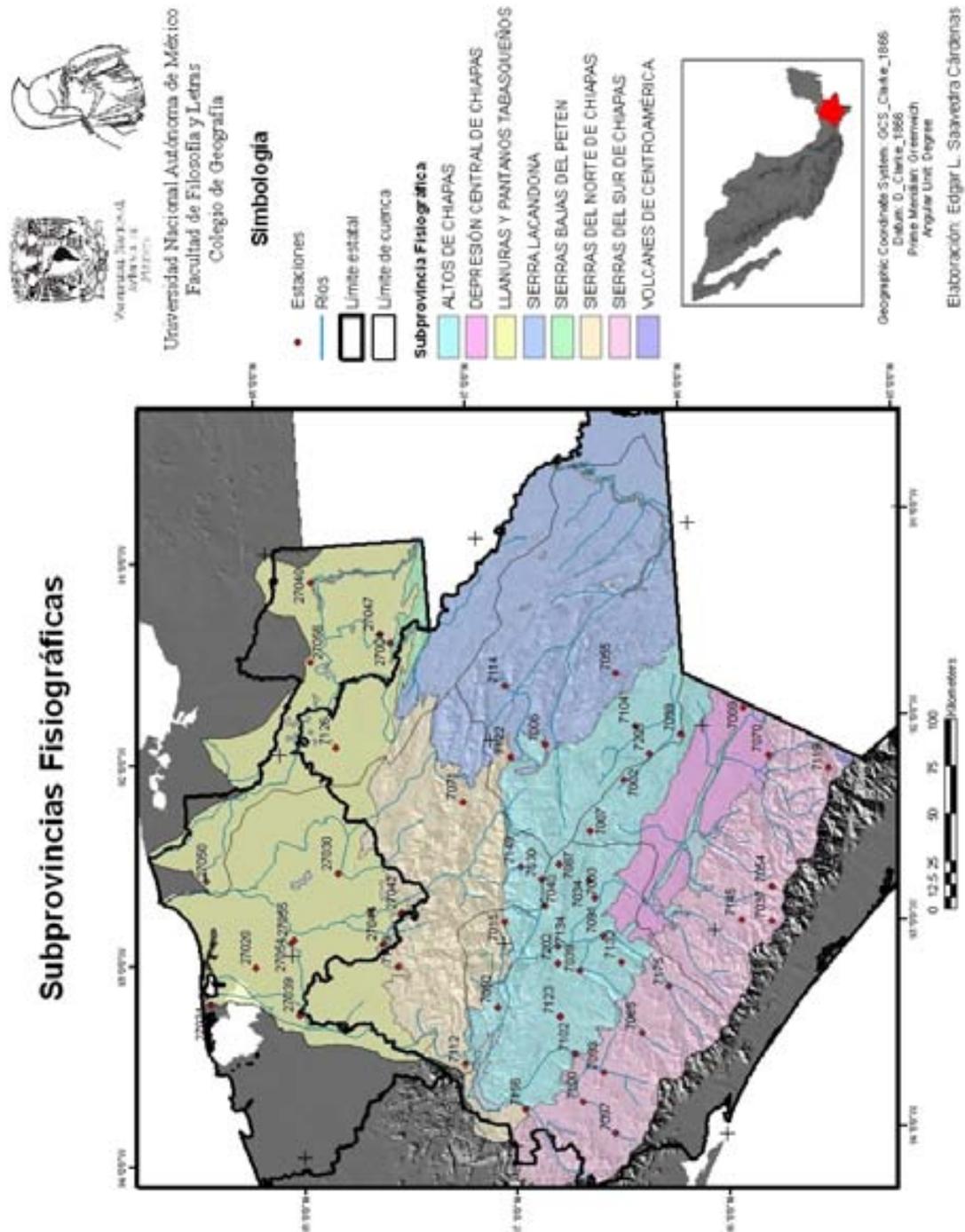


Figura 1.17. Subprovincias fisiográficas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta con clave de las estaciones climatológicas analizadas.

Capítulo 2. Materiales y Métodos

Para la realización de este trabajo se siguieron diversos procesos, desde la depuración de la base de datos utilizada de CLICOM, 2006 (Clima Computarizado), hasta la generación de información como gráficas y mapas mediante procesos sistematizados para el análisis de la de la misma. Inicialmente se delimitó el área de estudio como resultado del proyecto conjunto “Análisis Estadístico de Fenómenos Hidrometeorológicos en el Sur y Sureste de México” del Instituto Politécnico Nacional (IPN) a través del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por medio del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras. Dado que el proyecto se enfocó en la región sur y sureste del país se resolvió trabajar la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta formada por los ríos del mismo nombre, además de los hechos ocurridos en los estados de Tabasco y Chiapas en 2007. Esta región comprende seis cuencas que son las del Río Lacantún, Río Grijalva concordia, Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Río Grijalva-Villahermosa, Río Chixoy y Laguna de Términos, esta última excluida del trabajo por la falta de estaciones climatológicas y la poca influencia de la misma en los escurrimientos de Tabasco y Chiapas.

Una vez determinada el área de estudio se continuó con la revisión de la base de datos de CLICOM, constatando la existencia de información de precipitación de las estaciones climatológicas comprendidas en las cuencas a trabajar. CLICOM es la base de datos climáticos de carácter oficial utilizada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que concentra la información obtenida de la red de estaciones climatológicas del país, a partir del catálogo completo se realizó la capa (shape) de las estaciones climatológicas a analizar. De esta base de datos se extrajo la información referente a precipitación (parámetro 5), asimismo se obtuvo del mismo catálogo los valores de temperatura máxima y mínima (parámetros 2 y 3 respectivamente) para fines propios del proyecto de investigación.

Una vez extraída la información de los valores de precipitación se verificó que la serie histórica de datos se encuentre completa, pero una de las dificultades para la realización del trabajo es la carencia de información, por lo cual se utilizó un sistema de validación de la

misma, el cual indica que los registros de cada estación climatológica sea de al menos 40 años y de estos se tenga un mínimo del 80% de información.

El siguiente paso fue la depuración de la información que consistió en el reemplazo del valor 99999 que significa ausencia de datos en la base de datos original, por el nuevo valor -99.90, para que posteriormente al ingresarlos al programa RCLimDex (que se explica más adelante) fueran reconocidos por el mismo como ausencia de información.

Mediante los anteriores procesos de depuración de la información se descartaron las estaciones climatológicas que no cumplieron con los parámetros establecidos, quedando de esta forma 54 estaciones climatológicas útiles (Tabla 2.1 y Figura 2.1) de las 387 que se encuentran dentro del área de estudio.

Tabla 2.1. Distribución de estaciones climatológicas analizadas.

CUENCA	NÚMERO DE ESTACIONES
Cuenca del Río Lacantún	7
Cuenca del Río Grijalva-Concordia	8
Cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	19
Cuenca del Río Grijalva-Villahermosa	14
Cuenca del Río Chixoy	6

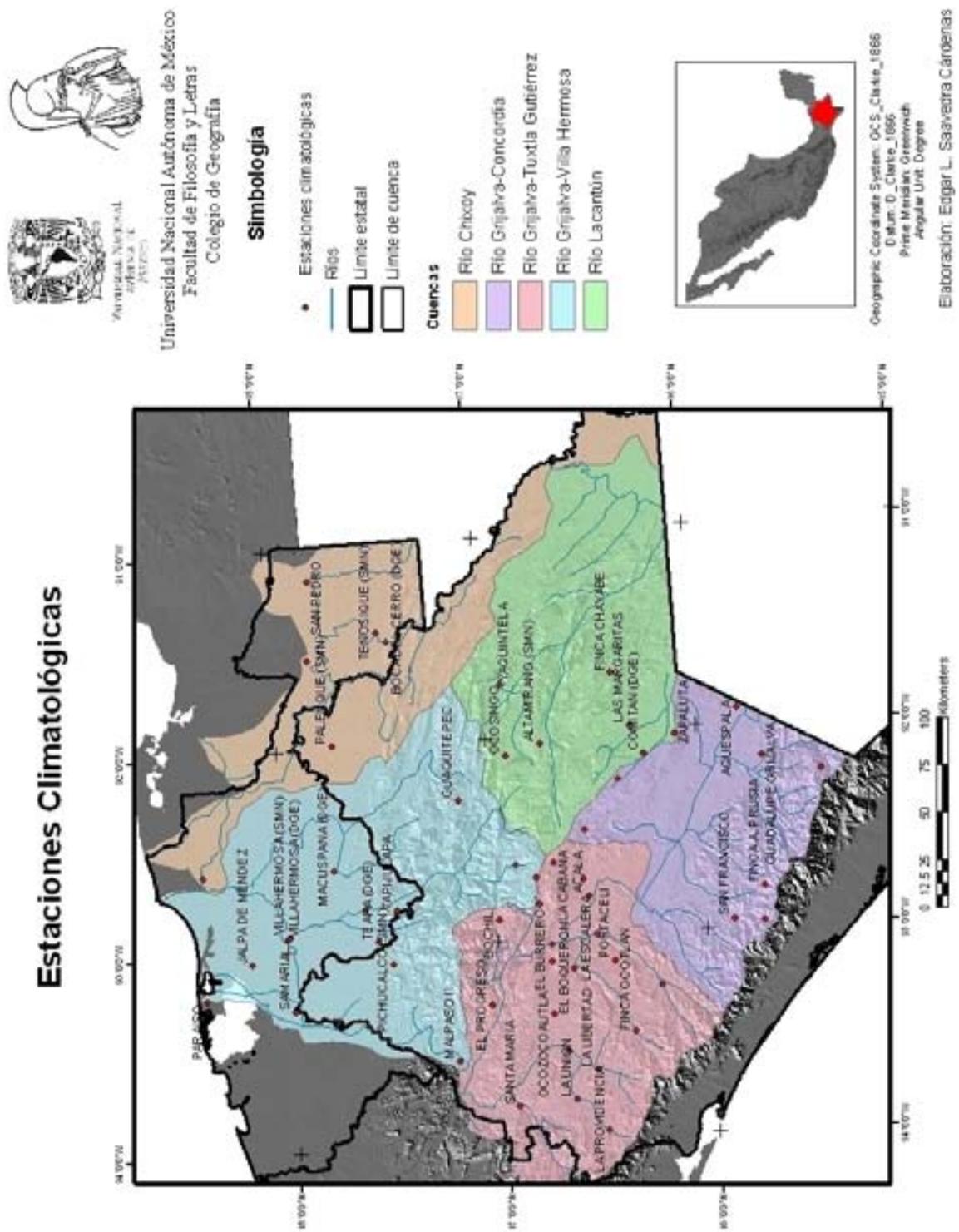


Figura 2.1. Distribución de las estaciones climatológicas analizadas.

2.1. Programa RCLimDex

Otro de los pasos a desarrollar fue el ingreso de la información obtenida de las estaciones climatológicas seleccionadas al programa llamado RCLimDex, el cual fue desarrollado por Xuebin Zhang y Feng Yang del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá con el fin de calcular índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático, tal programa está basado en Excel de Microsoft originalmente, para después tener una plataforma en R que es un software robusto y poderoso para gráficos y análisis estadístico.

El software RCLimDex permite calcular 27 índices que son los básicos recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” (ETCCDMI) así como también otros índices de temperatura y precipitación con límites definidos por el usuario (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Listado de índices climáticos básicos de ETCCDMI.

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
FD0	Días de heladas (Frost days)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario) $<0^{\circ}\text{C}$	Días
SU25	Días de verano (Summer days)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario) $>25^{\circ}\text{C}$	Días
ID0	Días de hielo (Ice days)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario) $<0^{\circ}\text{C}$	Días
TR20	Noches tropicales (Tropical nights)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario) $>20^{\circ}\text{C}$	Días
GSL	Duración de la estación de cultivo (Growing season Length)	Anual (1 Ene a 31 Dic en HN, 1 Julio a 30 th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG $>5^{\circ}\text{C}$ y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG $<5^{\circ}\text{C}$	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}\text{C}$
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}\text{C}$

TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías (Cool nights)	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Días fríos (Cool days)	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Noches calientes (Warm nights)	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días
TX90p	Días calientes (Warm days)	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes (Warm spell duration indicator)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	indicador de la duración de periodos fríos (Cold spell duration indicator)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	rango diurno de temperatura (Diurnal temperature range)	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día (Max 1-day precipitation amount)	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días (Max 5-day precipitation amount)	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria (Simple daily intensity index)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	Mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa (Number of heavy precipitation days)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa (Number of very heavy precipitation days)	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Número de días sobre nn mm (Number of days above nmm)	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días

CDD	Días secos consecutivos (Consecutive dry days)	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos (Consecutive wet days)	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Días muy húmedos (Very wet days)	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	Mm
R99p	Días extremadamente secos (Extremely wet days)	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos (Annual total wet-day precipitation)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

Fuente: Manual del usuario RCLimDex (1.0), 2004.

Del listado anterior de índices que calcula el Software RCLimDex para el presente trabajo sólo se ocupó el denominado RX1day (Max 1-day precipitation amount) que corresponde al valor máximo mensual de precipitación en un día expresado en milímetros. Con esto se entiende que es el valor máximo histórico de precipitación en un sólo día, mes a mes.

RCLimDex realiza un control de calidad inicial de la información para el cálculo de índices que consiste en:

- 1) Reemplaza todos los datos faltantes (actualmente codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (NA, no disponible).
- 2) Reemplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyen
 - a) Cantidades de precipitación diaria menor que cero
 - b) Temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria.

El control de calidad interno también identifica valores extremos (“outliers”) de temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario que en este caso en particular en el Proyecto Análisis Estadístico de Fenómenos Hidrometeorológicos en el Sur y Sureste de México se definió que fueran 4 desviaciones estándar.

El proceso comienza al cargar los datos al programa y correr el control de calidad interno, este archivo de entrada de datos tiene diversos requerimientos (Figura 2.2) como son:

1. Archivo de texto
2. Columnas en las siguientes secuencias: Año, Mes, Día, PRCP, TMAX, TMIN.
3. El formato descrito arriba debe ser delimitado por espacios.
4. Para los registros de datos, los datos faltantes deben ser codificados como -99.9; los registros de datos deben estar en orden cronológico.

Año	Mes	Día	PRCP	TMAX	TMIN
1951	9	21	21.60	31.00	18.50
1951	9	22	21.00	31.00	19.00
1951	9	23	19.50	31.50	19.00
1951	9	24	70.00	32.00	19.50
1951	9	25	8.00	31.00	20.00
1951	9	26	0.00	32.00	20.00
1951	9	27	11.00	32.00	20.00
1951	9	28	39.50	32.00	19.00
1951	9	29	1.00	31.00	20.00
1951	9	30	5.00	32.00	20.00
1951	9	31	-99.90	-99.90	-99.90
1951	10	1	7.00	31.50	20.00
1951	10	2	8.00	32.00	20.00
1951	10	3	6.50	32.00	20.00
1951	10	4	19.00	32.00	19.00
1951	10	5	12.00	31.50	20.00
1951	10	6	0.50	32.00	19.00
1951	10	7	0.50	32.00	20.50
1951	10	8	12.50	31.50	20.00
1951	10	9	4.00	31.50	20.00
1951	10	10	0.00	27.00	19.00
1951	10	11	0.00	29.00	16.00
1951	10	12	0.00	29.00	15.00
1951	10	13	0.00	29.00	17.00
1951	10	14	0.00	30.50	16.00
1951	10	15	0.00	30.00	17.00
1951	10	16	0.00	31.00	16.00
1951	10	17	0.20	31.00	20.00
1951	10	18	1.50	30.00	20.50
1951	10	19	7.00	30.50	19.00
1951	10	20	2.50	29.00	19.00
1951	10	21	0.00	30.00	20.00
1951	10	22	1.50	32.00	20.00
1951	10	23	13.00	32.50	19.00

Figura 2.2. Formato de ingreso de la información al programa RClmDex.

Una vez que se cargó el archivo se define el número de desviaciones estándar que se empleará, en este caso 4 desviaciones como se mencionó anteriormente

Un segundo control de calidad consistió en revisar los diferentes periodos de tiempo dentro de la serie histórica de datos dentro con falta de información, esto dentro del conjunto de gráficas (Figura 2.3) generadas automáticamente por el programa RClmDex.

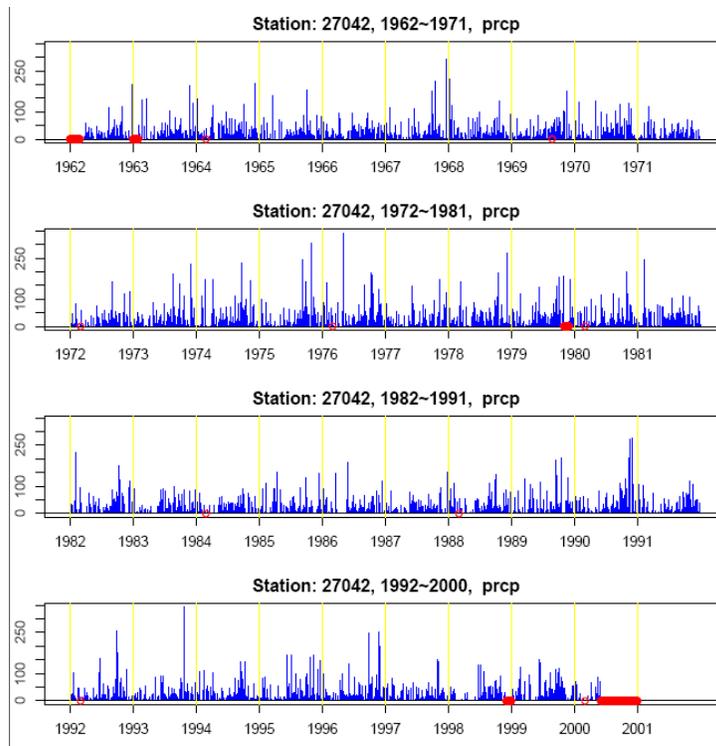


Figura 2.3. Gráfica de temperatura generada por el control de calidad de RClimDex (27042 Tapijulapa, Tabasco).

Posteriormente se realiza el cálculo de los 27 índices básicos (Tabla 2.2.), estableciendo los parámetros extremos de la temperatura máxima, mínima y precipitación de la serie de datos; en el caso de la temperatura (tanto mínima como máxima) se calculó el valor de percentil 90 y 10 que indica el umbral de temperatura máxima máxima y mínima máxima de determinada estación climatológica. En el caso de la temperatura sólo se calculó el percentil 90 que nos indica que los valores que superen dicha marca son considerados como extremos (Figura 2.4).



Figura 2.4. Ingreso de los parámetros establecidos.

Como resultado el RCLimDex genera nuevas carpetas que contienen el resultado del cálculo de los índices en formato “csv” (Figura 2.5), a su vez genera nuevas gráficas en formato “jpg” (Figura 2.6) de las series de datos, calculando tendencias de regresión lineal de mínimos cuadrados y de regresión lineal con ponderamientos locales (media móvil).

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1960	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1961	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1962	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1963	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1964	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1965	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1966	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1967	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1968	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1969	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1970	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1971	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1972	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1973	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1974	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1975	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1976	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1977	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1978	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1979	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1980	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Figura 2.5. Resultado del cálculo del índice RX1day generado por RCLimDex, estación 27034 Paraíso, Tabasco.

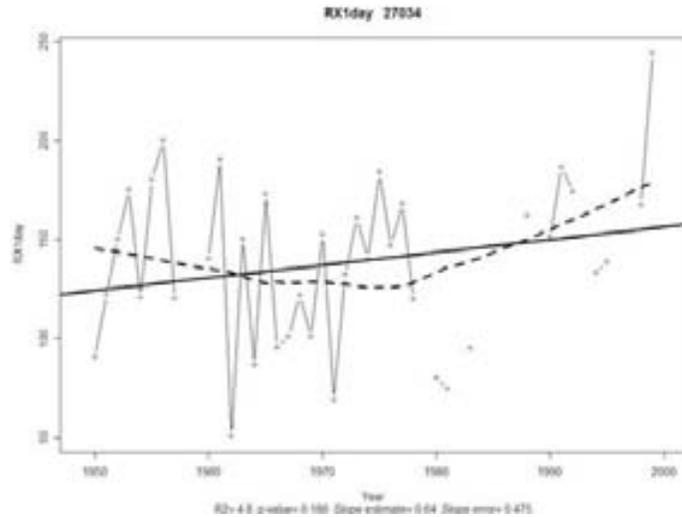


Figura 2.6. Gráfica de la tendencia de la precipitación generada por RClindex, estación 27034 Paraíso, Tabasco.

2.2. Programa de Automatización de los Métodos Estadísticos en Hidrología

Una vez obtenidos los valores de RX1day, ya resumidos en una sola tabla, la información es más manejable, dado que ha pasado por filtros determinados por el usuario, de ser una serie histórica de datos que abarcan más de 40 años con valores diarios se sintetizó a un listado por estación climatológica que comprende un valor mensual por cada año de registro.

Con esta información se prosiguió con el siguiente proceso de generación de información para el cual se utilizó el Programa de Automatización de los Métodos Estadísticos en Hidrología (Ruiz Urbano, 2002). Este software permite determinar los eventos de diseño máximos asociados a diferentes periodos de retorno a través del uso de técnicas estadísticas, este procedimiento correlaciona los registros históricos con las diferentes funciones de probabilidad (e.g. Distribución general de valores extremos, Gumbel, Método de Nash, Distribución Gumbel de dos poblaciones, etc).

Con lo anterior se determinó calcular el periodo de retorno a 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años de los valores de precipitación máxima en 24 horas mensual de la serie histórica de datos, que es el índice RX1day generado por RClindex, mediante la distribución Gamma de dos

parámetros, que es la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la serie de datos disponibles para trabajar además de presentar un menor error cuadrático.

Se ingresaron los valores de precipitación máxima histórica en 24 horas mes a mes a nivel anual, con esto se entiende que el periodo de retorno (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) mediante la distribución de probabilidad Gamma de dos parámetros se calculó para cada mes del año por estación climatológica, dando como resultado el cálculo de los diferentes valores de periodo de retorno (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Total de Valores de periodo de retorno calculados.

	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Enero	*	*	*	*	*	*
Febrero	*	*	*	*	*	*
Marzo	*	*	*	*	*	*
Abril	*	*	*	*	*	*
Mayo	*	*	*	*	*	*
Junio	*	*	*	*	*	*
Julio	*	*	*	*	*	*
Agosto	*	*	*	*	*	*
Septiembre	*	*	*	*	*	*
Octubre	*	*	*	*	*	*
Noviembre	*	*	*	*	*	*
Diciembre	*	*	*	*	*	*

2.3. Gráficas de comportamiento de la precipitación

Una vez obtenida la información generada hasta el momento con la base de datos de CLICOM depurada y sistematizada mediante diversos software como son RClmDex, Programa de Automatización de los Métodos Estadísticos en Hidrología y paquetería de Microsoft Office se obtuvieron los datos para la generación de las diferentes gráficas a nivel estación climatológica para su análisis (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Información sintetizada para la generación de gráficas a nivel estación climatológica.

- Valor del percentil 90 del máximo histórico de precipitación en 24 hrs a nivel mensual.
- Valor máximo histórico de precipitación de la serie de datos a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 2 años a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 5 años a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 10 años a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 20 años a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 50 años a nivel mensual.
- Periodo de retorno a 100 años a nivel mensual.

Con la información concentrada se creó, por medio de Excel una serie de tablas y gráficas que representan el comportamiento de la precipitación en cada una de las 54 estaciones climatológicas trabajadas en este estudio. En cada una de las gráficas se aprecia tanto el valor máximo histórico de cada mes así como el comportamiento de los valores de periodo de retorno frente al valor de percentil 90 considerado como evento extremo de precipitación en 24 horas (Figuras 2.7 y 2.8).

2017	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Máximo histórico	16	160	37	175	86	141	97	181	340	514	120	48
Percentil 90	9	26	22	52	59	98	83	83	127	88	37	15
Retorno 2 años	2	1	5	14	35	58	53	54	62	34	12	3
Retorno 5 años	5	13	13	38	51	83	70	80	110	94	31	10
Retorno 10 años	8	30	20	57	60	98	80	96	144	143	47	16
Retorno 20 años	12	52	28	77	69	112	90	111	176	194	63	22
Retorno 50 años	16	87	38	105	80	130	101	129	217	265	86	32
Retorno 100 años	20	117	46	127	88	142	109	142	248	321	104	39
Retorno 500 años	29	199	65	180	106	170	127	172	319	457	147	57

Figura 2.7. Tabla que condensa la información generada de periodo de retorno, precipitación máxima histórica y percentil 90.

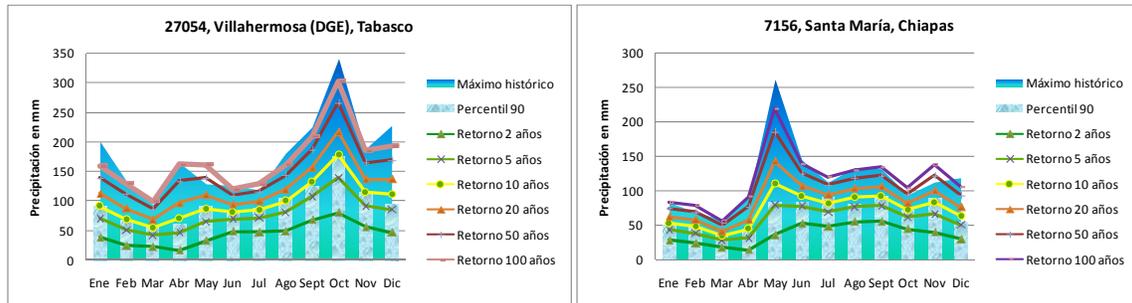


Figura 2.8. Ejemplos de gráficas del comportamiento de la precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

Con esta serie de gráficas se analizó el comportamiento de la precipitación de cada estación climatológica comprendida dentro del área de estudio para obtener la distribución espacial y temporal de la precipitación y eventos extremos.

2.4. Elaboración de mapas de periodo de retorno

Con la información sintetizada y ordenada se procedió a la generación de diversos mapas para su análisis individual mediante Sistemas de Información Geográfica (ArcGis 9.2), los resultados obtenidos son mapas de periodo de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, y 100 años a nivel mensual.

La información de las estaciones climatológicas es puntual (datos discretos) por lo que se elaboró la interpolación (IDW) de los datos que permite crear mapas continuos en formato vectorial. Esto permite analizar la variabilidad espacial y temporal de los diferentes valores de periodo de retorno.

Capítulo 3. Resultados

3.1. Comportamiento de la precipitación y eventos extremos en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta a nivel cuenca

3.1.1. Cuenca del Río Lacantún

Las estaciones climatológicas que cumplieron con los requisitos para ser trabajadas y analizadas dentro de esta cuenca son siete (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Lacantún.

<i>ESTACIÓN</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>MUNICIPIO</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>
7006	Altamirano	Altamirano	1240
7055	Finca Chayabe	Las Margaritas	1596
7099	Zapaluta	La Trinitaria	1500
7104	Las Margaritas	Las Margaritas	1512
7122	Ocosingo	Ocosingo	865
7205	Comitán	Comitán de Domínguez	1596
7114	Yaquintela	Ocosingo	650

En la cuenca del Río Lacantún se encuentran las subprovincias Fisiográficas llamadas Altos de Chiapas, Sierra Lacandona y una muy pequeña porción de la Sierra Norte de Chiapas, por lo que la distribución de las estaciones es desigual altitudinalmente, van de los 650 metros sobre el nivel del mar, pero en promedio están alrededor de los 1,500 metros.

Las estaciones *Altamirano* (7006), *Finca Chayabe* (7055) y *Yaquintela*(7114), pertenecientes a la cuenca del río Lacantún (Figura 3.1) se encuentran dentro de la subprovincia Sierra Lacandona, pero varían mucho en altitud, se encuentran a 1,240, 1,596 y 650 metros sobre el nivel del mar respectivamente, pero a pesar de eso los valores de precipitación registrados en estas tres estaciones son similares, pero varía la temporalidad

de las mismas, principalmente se concentra en la mitad húmeda del año en nuestro país, se presentan los valores máximos históricos para estas estaciones en mayo, junio y octubre. El comportamiento de la precipitación para las estaciones mencionadas es muy similar, los valores máximos históricos de precipitación en 24 horas son alrededor de los 150 mm, presentándose en julio, agosto y octubre para estas estaciones en particular. Tomando como valores extremos de precipitación el percentil 90 se identifica que las lluvias intensas pueden presentarse con una periodicidad de cinco años, mientras que cada diez años se puede igualar o superar los valores considerados como extremos, además de haberse registrado precipitaciones que superan un periodo de retorno de cien años en las tres estaciones antes mencionadas.

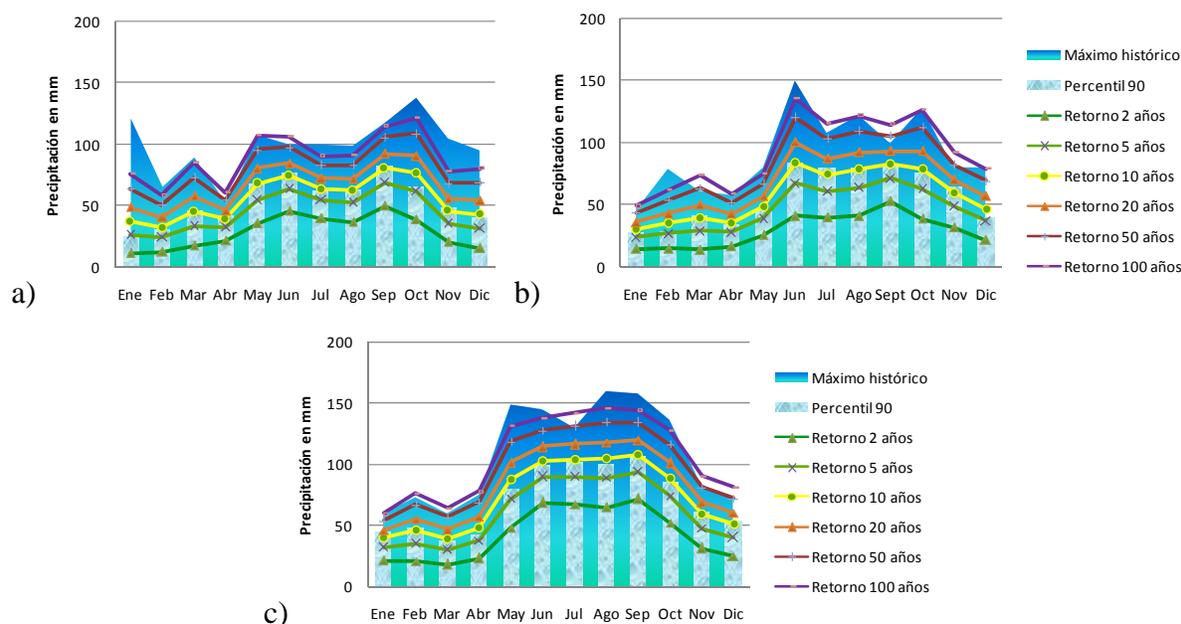
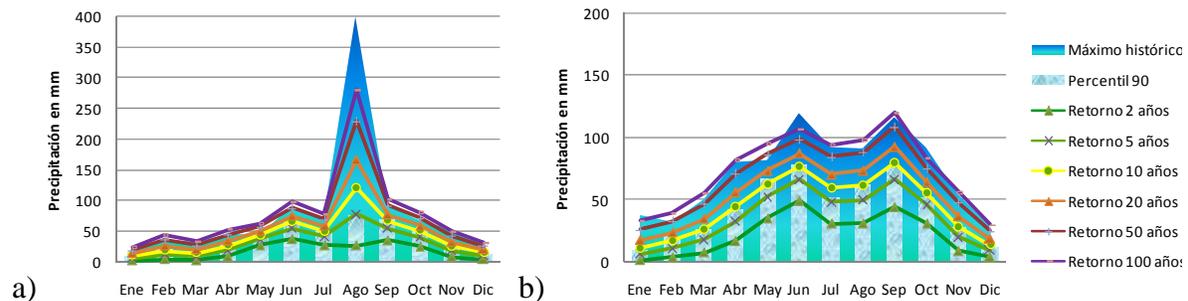


Figura 3.1. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Altamirano, b) Finca Chayabe, c) Yaquintela, Chiapas.

Dentro de la misma cuenca también se encuentran las estaciones Zapaluta (7099), Las Margaritas (7104) y Comitán (7205) que coinciden con la subprovincia fisiográfica llamada Altos de Chiapas (Figura 3.2). Estas estaciones se encuentran muy próximas entre sí en la porción suroeste de la cuenca, están separadas por 20 km aproximadamente entre ellas, por lo que la diferencia de altitudes es muy reducida, se encuentran sobre los 1,500

metros sobre el nivel del mar aproximadamente, pero sin importar lo homogéneas que se sean presentan valores de precipitación máxima muy diferentes puesto que en la estación *Zapaluta (7099)* se han registrado valores de precipitación de 399 mm, lo que representa un valor extremo dentro de la serie de datos. Una precipitación de esa magnitud es muy poco probable que se presente nuevamente porque según las estimaciones supera un periodo de retorno de 500 años (según cálculos no mostrados en la gráfica). Mientras que la estación *Las Margaritas (7104)* ubicada a unos 23 km aproximadamente de la estación descrita anteriormente presenta un caso similar de evento extremo registrando un valor de 338 para septiembre de 2005 pero el resto de la serie de datos se mantiene por debajo de los 100 mm como valores máximos en 24 horas, pero aún así los periodos de retorno calculados para la precipitación a lo largo del año supera una periodicidad de cincuenta y cien años, lo que indica una alta incidencia de eventos extremos en esta región en particular.

La estación *Comitán (7205)* considerada dentro de este grupo de estaciones pertenecientes a la cuenca del Río Lacantún pero dentro de la subprovincia fisiográfica Altos de Chiapas mantiene una precipitación más regular temporalmente distribuyéndose la precipitación a lo largo de la mitad húmeda del año, registrando dos picos máximos para junio (120 mm) y septiembre (116 mm) y coincidiendo los valores máximos históricos registrados con una periodicidad estimada de diez años lo que denota cierta regularidad en la precipitación y presencia de eventos extremos en la estación.



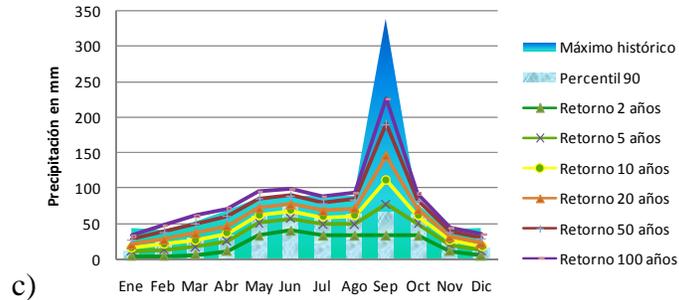


Figura 3.2. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Zapaluta, b) Las Margaritas, c) Comitán, Chiapas.

También esta cuenca abarca una pequeña porción de la subregión fisiográfica llamada Altos de Chiapas donde se encuentra la estación *Ocosingo* (7122) a 865 metros de altitud (Figura 3.3) la cual registra su máximo histórico en el mes de octubre con un valor de 260 mm que supera fácilmente una periodicidad calculada de cien años, pero los registros históricos para el resto del año van de los 100 mm a los 200 mm aproximadamente calculado que pueden presentarse cada cinco o diez años dependiendo del mes.

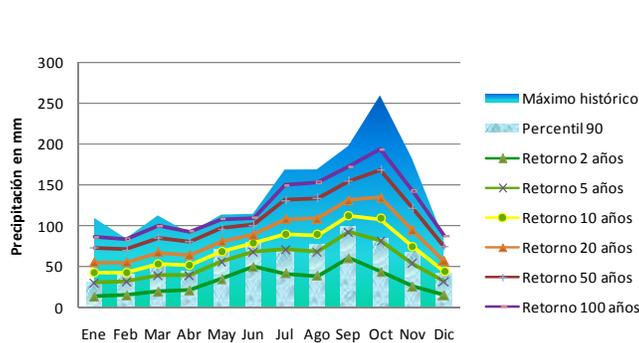


Figura 3.3. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: *Ocosingo*, Chiapas.

En general la cuenca del *Río Lacantún* presenta diferentes valores de precipitación de acuerdo a la estación considerada, dado que se ve influenciada por tres subprovincias fisiográficas. En general la precipitación se concentra en la mitad húmeda del año en nuestro país, pero concentrándose principalmente en los meses de septiembre y octubre. Las precipitaciones que superan el percentil 90 que son las que se consideran como extremas varían su periodicidad, pero comúnmente se presentan cada diez años, están las excepciones que pueden tener un lapso de cincuenta y cien años como el caso de la

estación *Ocosingo* y casos muy aislados como los registrados en las estaciones *Zapaluta* y *Las Margaritas* que presentan registros que superan por mucho el resto de los valores en la serie de datos, mayores a 340 mm.

3.1.2. Cuenca del Río Grijalva-Concordia

La cuenca del Río Grijalva concordia está conformada por las siguientes estaciones que cumplen con los requisitos establecidos para el presente trabajo:

Tabla 3.2. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva-Concordia

<i>CLAVE</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>MUNICIPIO</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>
7002	<i>Abelardo L. Rodríguez</i>	<i>Comitán De Domínguez</i>	1,775
7007	<i>Amatenango Del Valle</i>	<i>Teopisca</i>	1,750
7009	<i>Aquespala</i>	<i>Frontera Comalapa</i>	617
7037	<i>Finca Cuxtepeques</i>	<i>La Concordia</i>	1,000
7054	<i>Finca A. Prusia</i>	<i>Ángel Albino Corzo</i>	980
7070	<i>Guadalupe Grijalva</i>	<i>Frontera Comalapa</i>	540
7119	<i>Motozintla</i>	<i>Motozintla</i>	1,210
7145	<i>San Francisco</i>	<i>La Concordia</i>	540

En la cuenca del *Río Grijalva-Concordia* el comportamiento de la precipitación es demasiado heterogéneo, debido a factores como el relieve principalmente, dado que las estaciones climatológicas se encuentran alejadas entre sí las condiciones que presentan cada una de ellas es completamente diferente debido a la desigual altitud a las que se encuentran cada una de las estaciones, para esta cuenca en particular se encuentran desde los 540 metros de altitud como el caso de la estación *San Francisco (7145)* y *Guadalupe Grijalva (7070)*, las cuales a pesar de encontrarse a la misma altura sobre el nivel del mar, espacialmente se encuentran a 85 km de distancia, por lo que los valores registrados no serán los mismos, pero mantendrán una cierta semejanza (Figura 3.4).

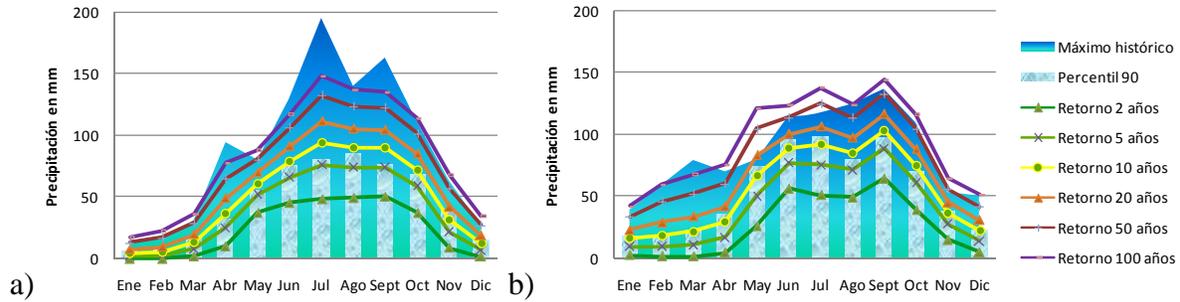


Figura 3.4. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) San Francisco y b) Guadalupe Grijalva, Chiapas.

También dentro de la misma cuenca se encuentran estaciones a los 1,210 metros sobre el nivel del mar como el caso de la estación *Motozintla* ubicada en la Sierra Sur de Chiapas (Figura 3.5) muy cerca de la frontera con Guatemala con valores muy variados desde los 20 mm hasta los 320 mm, lo que indica que a lo largo de toda la cuenca se encontrarán valores muy desiguales.

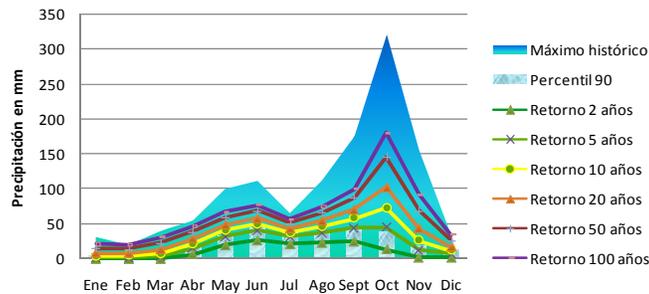


Figura 3.5. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: *Motozintla*, Chiapas.

La región hidrológica se encuentra afectada por diversos fenómenos atmosféricos, pero específicamente hablando de la cuenca del *Río Grijalva-Concordia* se puede enfatizar en caso de los huracanes, principalmente en la subprovincia de la Sierra Sur de Chapas, dentro de la cual se encuentran las estaciones de *Finca Cuxtepeques (7037)* y *Finca A. Prusia (7054)*, las cuales tienen registros históricos de precipitación en 24 horas mayores a 500 mm y 300 mm respectivamente (Figura 3.6), mientras que los valores de precipitación extrema para dichas estaciones son de 127 mm y 111 mm, los cuales son sobrepasados por mucho. Estos registros corresponden al Huracán Stan en el mes de octubre del año 2005. Estas dos estaciones se vieron afectadas por dicho huracán dado que el promedio de

precipitación para el mes de octubre en esa región oscila entre los 50 y 60 mm, los cuales se vieron superados por mucho, ya que precipitaciones como las registradas en 2005 se calcula que tengan una periodicidad de 500 años (no representado en la gráfica).

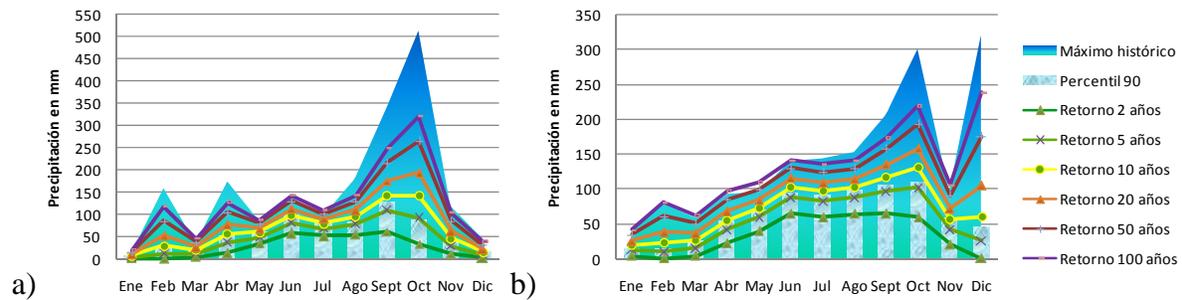


Figura 3.6. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Finca Cuxtepeques y b) Finca A. Prusia, Chiapas.

Dentro de la misma cuenca también se encuentra la subprovincia fisiográfica Depresión Central de Chiapas, en la cual hay dos estaciones climatológicas, *Aquespala* (7009) en el municipio de Frontera Comalapa a 617 metros de altitud y *Guadalupe Grijalva* (7070) en el mismo municipio pero esta última a 540 metros de altitud con valores de precipitación similares (Figura 3.7), pero siendo mayores en la estación *Aquespala* donde hay registros de 190 mm sobrepasando por mucho el nivel considerado como extremo, para el cual está contemplada una precipitación de 80 mm, lo cual representa que el valor máximo del registro histórico se presenta cada 500 años.

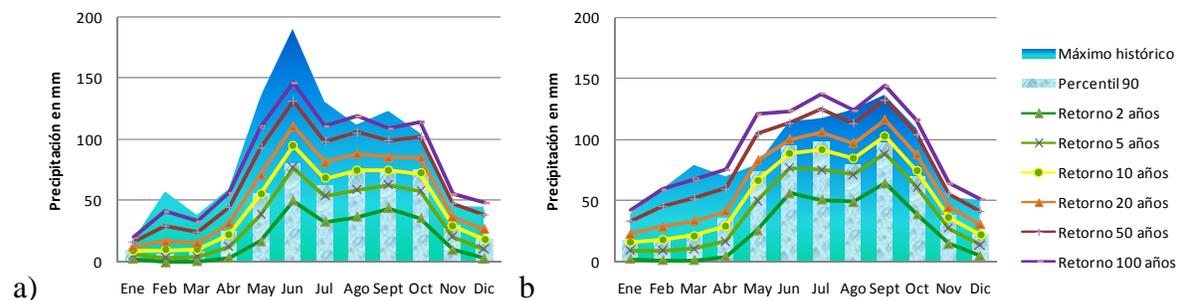


Figura 3.7. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Aquespala y b) Guadalupe Grijalva, Chiapas.

La estación climatológica ubicada a mayor altitud de la dentro de esta cuenca es la estación *Abelardo L. Rodríguez (7002)* en el municipio de Comitán de Domínguez (Figura 3.8) con una elevación de 1775 metros sobre el nivel del mar, la cual registra poca precipitación a lo largo del año teniendo su mayor precipitación en el mes de agosto con sólo 120 mm y un percentil 90 de 64 mm, lo que se traduce en una periodicidad de lluvias extremas cada 10 años.

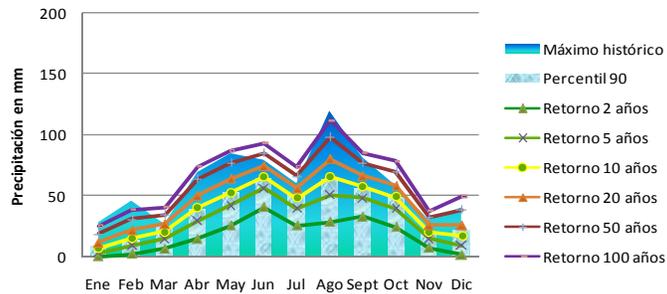


Figura 3.8. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para Abelardo Rodríguez, Chiapas.

La estación *Amatenango del Valle (7007)*, se localiza a 1,750 metros sobre el nivel del mar en la subprovincia fisiográfica llamada Altos de Chiapas (Figura 3.9). Los valores de precipitación son irregulares, debido a la distribución espacial de las estaciones climatológicas, dado que al encontrarse en una zona montañosa los fenómenos que la afectan serán diferentes como los movimientos convectivos, de esta forma encontramos que se tienen registros de más de 130 mm para el mes de agosto, mientras que el valor del percentil 90 es de 71 mm para el mismo mes, lo que representa una precipitación extrema que sólo podría presentarse cada 500 años según cálculos estadísticos (no representados en la gráfica).

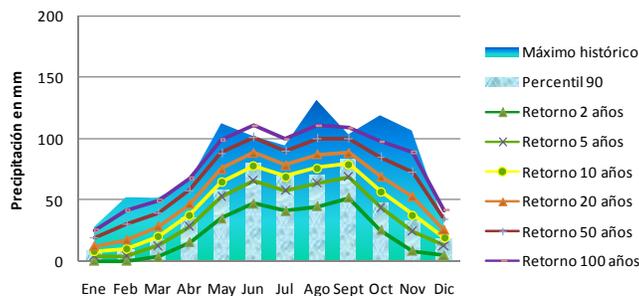


Figura 3.9. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Amatenango del Valle, Chiapas.

En general la cuenca del Río Grijalva-Concordia es muy heterogénea debido a que se ve afectada por tres subprovincias fisiográficas como la Sierra sur de Chiapas, Depresión Central de Chiapas y la llamada Altos de Chiapas por lo tanto algunas estaciones se encuentran a 500 metros sobre el nivel del mar y otras sobrepasan los 1,700 m, haciendo que los valores registrados sean desiguales además de que son afectadas por diferentes fenómenos meteorológicos como el paso de huracanes y efectos orográficos.

En esta cuenca se pueden encontrar precipitaciones extremas como el caso de la estación *Finca Cuxtepeques (7037)* la cual registró valores mayores a los 500 mm en un periodo de 24 horas, lo que significa que aunque la precipitación sea homogénea a lo largo del tiempo esto puede cambiar tras el paso de un fenómeno hidrometeorológico extremo como el caso del Huracán Stan en octubre de 2005 de categoría 1 al llegar a tierra.

Los mayores niveles de precipitación dentro de la cuenca se presentan en los meses de septiembre y octubre principalmente, aunque también hay estaciones con ciclos de lluvia concentrada en el verano como en la estación *Aquespala (7009)*, pero que también son superados los niveles de eventos extremos por más de 100 mm, llegando a considerarse períodos de retorno mayores a 100 años.

De los registros con los que se cuenta se puede decir con certeza que los valores de precipitación máxima en 24 horas de toda la serie de datos se puede repetir en un periodo aproximado de 5 años, esto significa que la precipitación dentro del rango considerado como normal se presenta año tras año, hasta un periodo de 5 años. La tendencia para esta cuenca en particular es que los valores del percentil 90 se ven superados por precipitaciones que pueden presentarse con una periodicidad de 10 años. Con esto se entiende que los eventos extremos coinciden con un periodo de retorno de 10 años aproximadamente, pero la cantidad de precipitación máxima en 24 horas de la serie de datos no sobre pasa por mucho el valor del percentil 90.

En la serie histórica de datos existen registros de precipitación que sobrepasan por mucho los valores estimados para un periodo de retorno de 100 años, los cuales también coinciden con eventos hidrometeorológicos extremos recientes que afectaron la región.

La tendencia de la precipitación máxima para el periodo de 24 horas va en aumento como lo muestra la serie de datos histórica usada en el presente trabajo, lo que sugiere que los eventos extremos podrían presentarse con mayor frecuencia en un futuro.

3.1.3. Cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez

La cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez se encuentra al poniente de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta. En esta cuenca se concentra la mayor cantidad de estaciones climatológicas de toda la región hidrológica que cumplen con los parámetros establecidos, alcanzando el 35% del total de estaciones dentro del área de estudio.

La cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez se encuentra sobre porciones de de tres subprovincias fisiográficas, dos de ellas abarcan casi la totalidad de la cuenca, estas son las llamadas Sierra del Sur de Chiapas y Altos de Chiapas, dentro de las cuales se encuentran todas las estaciones climatológicas a analizar pertenecientes a la cuenca, mientras que la Sierra norte de Chiapas representa una pequeña porción de la cuenca y no cuenta con estaciones climatológicas que cumplan con los parámetros.

El análisis de la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla se basa en la serie de datos históricos de 19 estaciones climatológicas (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez

<i>Clave</i>	<i>Nombre</i>	<i>Municipio</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
7003	<i>Acala</i>	<i>Villa De Alcala</i>	420
7015	<i>Bochil</i>	<i>Bochil</i>	1200
7034	<i>Villa De Chiapilla</i>	<i>Chiapilla</i>	550
7039	<i>El Boquerón</i>	<i>Suchiapa</i>	500
7040	<i>El Burrero</i>	<i>Ixtapa</i>	1230
7050	<i>El Progreso</i>	<i>Ocozocoautla</i>	170
7065	<i>Finca Ocotlán</i>	<i>Villaflores</i>	650
7087	<i>La Cabaña</i>	<i>San Cristóbal De Las Casas</i>	2113
7091	<i>La Escalera</i>	<i>Chiapa De Corzo</i>	485
7093	<i>La Libertad</i>	<i>Jiquipilas</i>	520
7097	<i>La Providencia</i>	<i>Cintalapa</i>	670
7100	<i>La Unión</i>	<i>Cintalapa</i>	580
7102	<i>Las Flores II</i>	<i>Jiquipilas</i>	480
7123	<i>Ocozocoautla</i>	<i>Ocozocoautla</i>	838
7132	<i>Portaceli</i>	<i>Villaflores</i>	780
7134	<i>Puente Colgante</i>	<i>Chiapa De Corzo</i>	418
7156	<i>Santa María</i>	<i>Cintalapa</i>	220
7175	<i>Villaflores</i>	<i>Villaflores</i>	631
7202	<i>Tuxtla Gutiérrez</i>	<i>Tuxtla Gutiérrez</i>	530

Para poder comprender mejor el comportamiento de la precipitación espacialmente dentro de la cuenca se tomó como referencia su ubicación dentro de la misma, principalmente basándose en las subprovincias fisiográficas, en la denominada Sierra del Sur de Chiapas se encuentran 5 estaciones de las 19 que conforman la cuenca, estas son: *Villaflores* (7175), *Finca Ocotlán* (7065), *La Libertad* (7093), *La Providencia* (7097) y *La Unión* (7100). Las cuales se encuentran entre los 520 y 670 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de 610 metros de altitud (Figura 3.10).

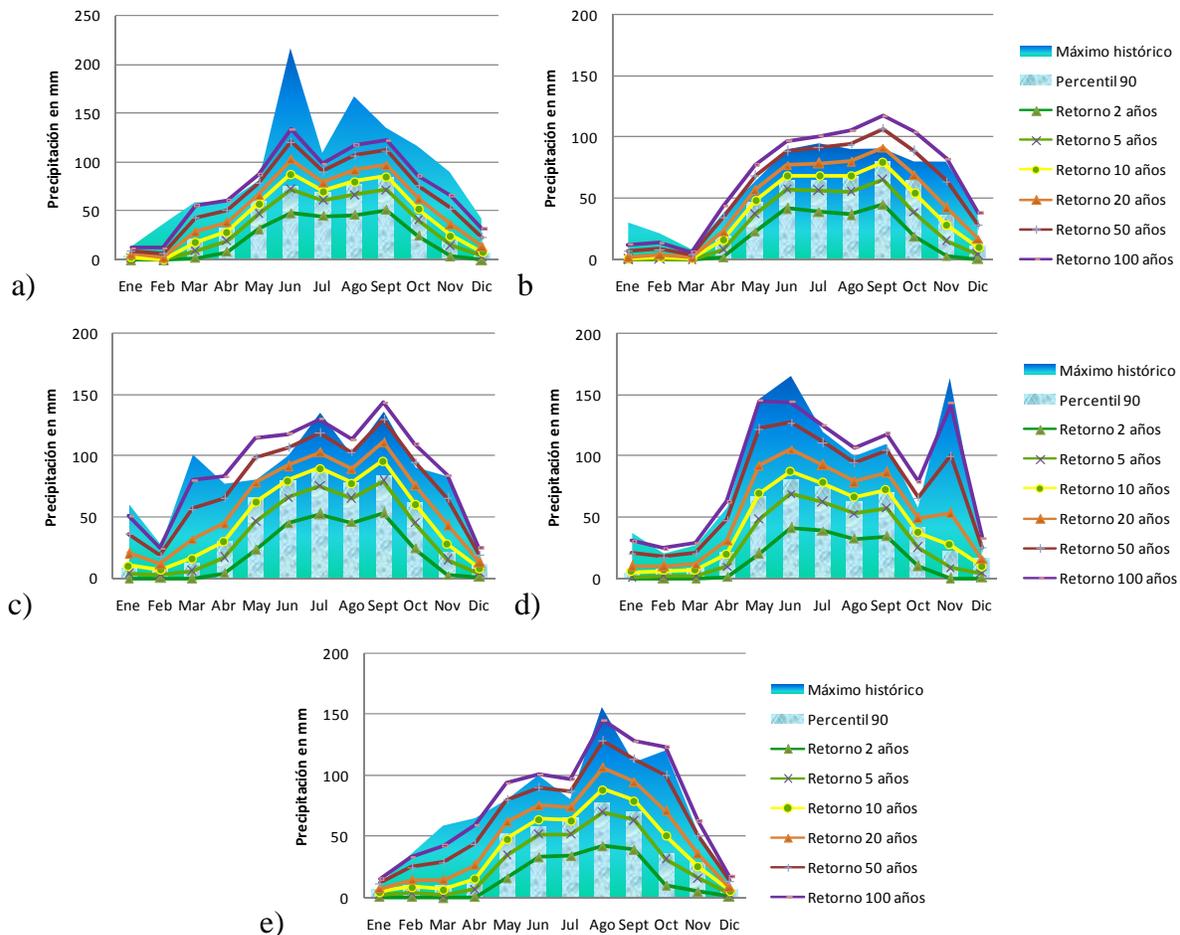


Figura 3.10. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Villaflores, b) Finca Ocotlán, c) La Libertad, d) La Providencia y e) La Unión, Chiapas.

En su conjunto estas estaciones presentan registros máximos en el verano, la precipitación máxima histórica se presentó en la estación *Villaflores (7175)* en agosto de 1981 con 167 mm pero repuntando en junio del 2000 con 216 mm, dichos valores superan un periodo de retorno calculado para 500 años (no mostrado en la gráfica), por lo que se pueden considerar ampliamente como eventos extremos, además de que el resto del año se han presentado precipitaciones históricas que superan un periodo de retorno de 100 años, esto para todos los meses del año.

En cuanto al resto de las estaciones localizadas dentro de la cuenca, pero a su vez dentro de la subprovincia fisiográfica Sierra del Sur de Chiapas su comportamiento es más regular,

dado que las precipitaciones consideradas extremas (percentil 90) se ven igualadas o superadas con una periodicidad de 10 años aproximadamente y manteniendo un rango menor a los 170 mm. Las máximas precipitaciones se presentan en junio, julio y agosto y sólo en el caso de la estación *La Providencia (7097)* se registro un pico en el mes de noviembre de 164 mm, que casi iguala al registro del mes de junio en la misma estación. Aunque también se han presentado precipitaciones dentro de la serie de datos histórica que sobrepasan los valores calculados para un periodo de retorno de 20, 50 y en algunos casos, los 100 años.

El resto de las estaciones dentro de la cuenca se encuentran a su vez en la subprovincia fisiográfica Altos de Chiapas que forma parte de la Provincia Sierras de Chiapas y Guatemala. Aquí se encuentran 14 estaciones climatológicas que cumplen con los parámetros establecidos para el presente trabajo.

Por ser una zona amplia y con una gran concentración de estaciones los valores varían espacial y temporalmente, además de variar mucho en altitud, puesto que van desde los 170 metros sobre el nivel del mar de la estación *Santa María (7156)*, hasta los 2113 metros de la estación *La Cabaña (7087)*, pero la mayoría se encuentran por debajo de los 700 metros de altitud a excepción de las estaciones *El Burrero (7040)* a 1230 msnm, *Bochil (7015)* a 1200 msnm y otras a menor altitud como *Ocozocoautla (7123)* a 830 msnm y *Portaceli (7132)* a 780 metros de altitud.

La estación *Acala (7003)* mantiene una precipitación por debajo de los 200 mm, registrándose valores máximos en mayo y octubre (Figura 3.11), esta estación se encuentra a 420 msnm y los valores considerados como extremos son igualados o superados cada 5 o 10 años, aunque dentro de la serie histórica de datos se han registrado lluvias en 24 hrs que superan una periodicidad de 100 años y sólo una en el mes de octubre superó un nivel calculado para una precipitación en 500 años.

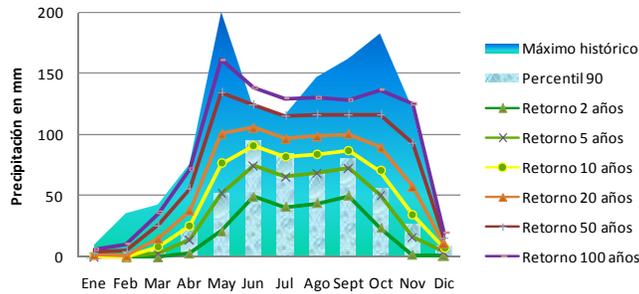


Figura 3.11. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Acala, Chiapas.

Para la estación *Bochil (7015)* se encontró un comportamiento irregular dado que a lo largo del año se presentan precipitaciones por debajo de los 150 mm pero para junio de 1983 se registró un pico de 265 mm, el cual según cálculos podría repetirse cada 500 años (no mostrado en la gráfica), mientras que los valores extremos para el resto del año tienen un periodo de retorno de 10 años (Figura 3.12).

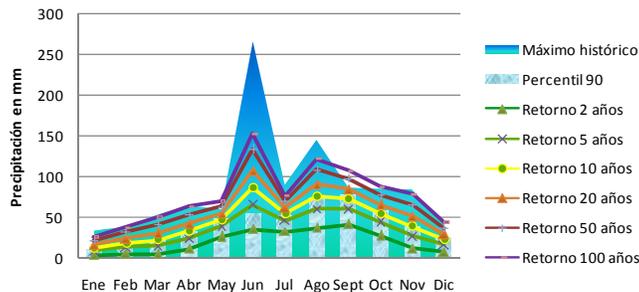


Figura 3.12. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Bochil, Chiapas.

En la estación *Villa de Chiapilla (7034)* se presenta un caso similar porque en la base de datos históricos se registró una precipitación máxima en 24 hrs de 320 mm en mayo de 1970 (Figura 3.13). Cabe destacar que en esta estación en particular los eventos considerados como extremos (percentil 90) son más intensos que en otras estaciones, los registros de esta estación indican que precipitaciones como las que se han presentado en el pasado se repetirían cada 50 o 100 años para todos los meses del año, cosa que no sucede comúnmente con el resto de las estaciones.

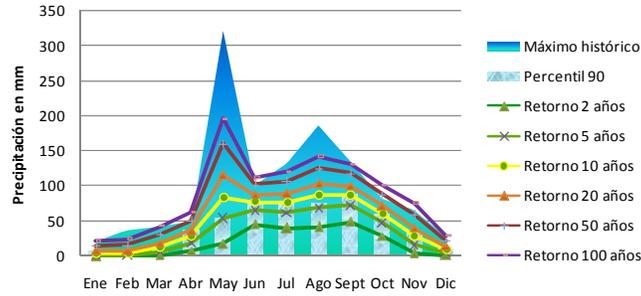


Figura 3.13. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Villa de Chiapilla, Chiapas.

Las estaciones *El Boquerón (7039)*, *El Burrero (7040)*, *La Escalera (7091)* y *Portaceli (7132)* mantienen un comportamiento similar entre sí aunque se encuentran a diferentes altitudes. Presentan mayor precipitación en el verano y sus valores máximos registrados oscilan entre los 116 mm y 145 mm principalmente en los meses de junio y agosto. El percentil 90 coincide con un periodo de retorno de 10 años en la mayoría de los casos a excepción de la estación *El Boquerón (7039)* que ha registrado precipitaciones en mayo, junio y julio que podrían tener una periodicidad de 5 años (Figura 3.14).

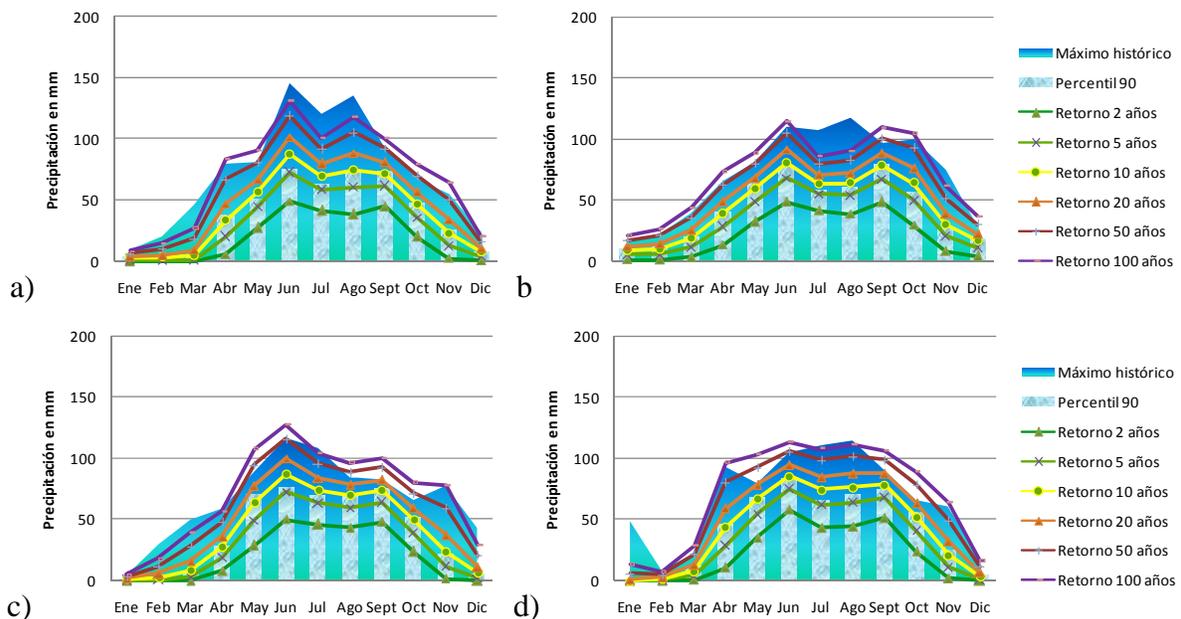


Figura 3.14. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) *El Boquerón*, b) *El Burrero*, c) *La Escalera* y d) *Portaceli*, Chiapas.

Las estaciones *Ocozocoautla* (7123) y *Tuxtla Gutiérrez* (7202) también son homogéneas en su comportamiento temporal, registran un máximo histórico de 153 mm y 148 mm respectivamente (Figura 3.15), coincidiendo ambas en el mes de septiembre. En cuanto a la periodicidad, las precipitaciones extremas de los meses lluviosos del año se presentan cada 10 años esencialmente, pero en ambas estaciones los valores máximos en la serie histórica superan el periodo de retorno de 100 años.

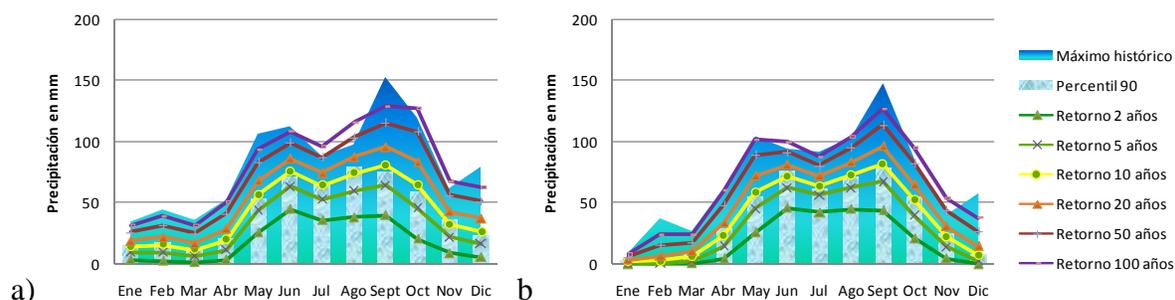


Figura 3.15. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) *Ocozocoautla* y b) *Tuxtla Gutiérrez*.

La estación *La Cabaña* (7087), registra precipitaciones intensas y constantes a lo largo de la mitad húmeda del año, los registros máximos históricos se distribuyen desde el mes de abril hasta octubre, habiéndose registrado valores de 105 mm (Figura 3.16), esta cifra corresponde a octubre y coincide con un periodo de retorno de 100 años, pero los valores registrados para meses como abril, junio y julio superan la periodicidad de 100 años por mucho, lo que indica el alto número de eventos extremos ocurridos para esta estación en particular.

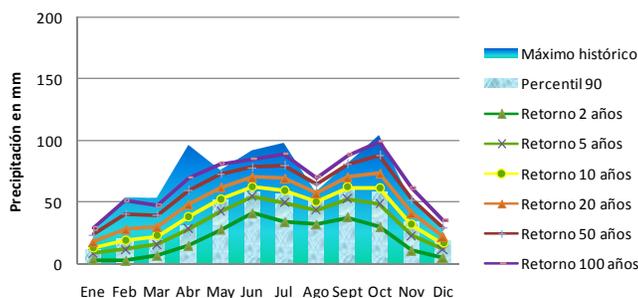


Figura 3.16. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: *La Cabaña, Chiapas*.

En cuanto a la estación *El Progreso (7050)* el comportamiento de la precipitación es irregular dado que presenta valores elevados en diferentes meses como en mayo con 180 mm, septiembre con 257 mm y diciembre con 227 mm (Figura 3.17), los cuales por ser tan elevados en comparación con el resto de la serie histórica de datos representan una periodicidad que supera fácilmente los 100 años, de hecho los valores de septiembre y diciembre coinciden con el cálculo de 500 años, mientras que los valores entre estos incrementos son bajos.

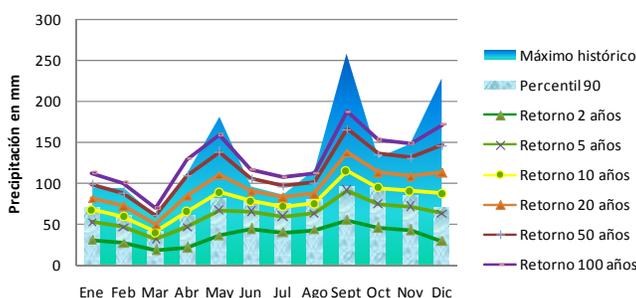


Figura 3.17. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: *El Progreso, Chiapas*.

También se encuentran casos como las estaciones *Puente Colgante (7134)* y *Santa María (7156)* que registraron precipitaciones máximas en 24 hrs fuera de lo común, para el caso de la estación *Puente Colgante* se registro una precipitación de 560 mm en un lapso de 24 hrs, esta se presentó en agosto de 2001 y días anteriores también registraron precipitaciones elevadas. Dicha precipitación es tan inusual que se calcula una periodicidad de 500 años, mientras que el resto del año se han registrado valores menores, teniendo como segundo máximo 131 mm para octubre pero también supera precipitaciones que pueden presentarse cada 100 años y lo mismo sucede con los demás valores, que superan una periodicidad de 50 y 100 años. Para la estación *Santa María* se encontró también un valor muy elevado en comparación con el resto de la serie de datos de 261 mm, aunque el comportamiento de la precipitación en esta estación es elevado, puesto que el resto de los meses lluviosos registran valores, mayores de 110 mm, haciendo que en general se tengan registros que superan un periodo de 50 y 100 años (Figura 18).

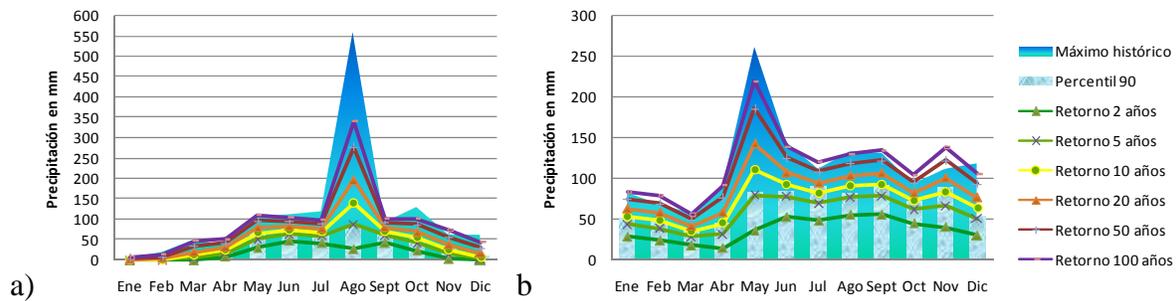


Figura 3.18. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Puente Colgante y b) Santa María, Chiapas.

Dado el gran número de estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la cuenca *Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez* se encontraron diferentes situaciones en cuanto a la temporalidad. La precipitación se concentra principalmente en el verano extendiéndose hasta octubre. En cuanto al periodo de retorno la mayoría de las estaciones presenta eventos considerados como extremos cada 10 años, pero en algunos casos como en la estación *Bochil (7015)* la máxima precipitación en 24 hrs registrada supera fácilmente un periodo de retorno de 500 años, pero dejando de lado esas excepciones la tendencia general es que en los meses secos se han registrado precipitaciones que aunque pueden considerarse como ligeras (inferiores a 100 mm) sobrepasan los parámetros para un periodo de retorno de 50 a 100 años.

3.1.4. Cuenca del Río Grijalva-Villahermosa

La cuenca del Río Grijalva-Villahermosa cuenta con 14 estaciones climatológicas que cumplen con los requisitos para el presente trabajo (Tabla 3.4) siendo la segunda cuenca con mayor número de estaciones útiles dentro de la región de estudio Grijalva-Usumacinta, estas representan una cuarta parte del total de estaciones climatológicas consideradas dentro de toda la región.

La orografía de la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa es muy compleja, dado que en la parte sur se encuentran grandes elevaciones y en hacia el norte se encuentra la llanura costera, el origen de estas diferencias orográficas radica en que la cuenca se encuentra ubicada sobre tres subprovincias fisiográficas diferentes, estas son Altos de Chiapas en el extremo sur de la cuenca cubriendo sólo una pequeña porción de la misma, donde se ubican

dos estaciones, *San Pedro Chenalho* (7149) y *San Juan Chamula* (7030) que a su vez son las que se encuentran a mayor altitud dentro de la cuenca. También abarca la subprovincia Sierra del Norte de Chiapas donde igualmente se encuentran dos estaciones climatológicas, *Guaquitepec* (7071) y *Malpaso II* (7112) ubicadas a gran distancia una de la otra, por lo que se hallan a 1040 y 398 metros sobre el nivel del mar respectivamente. Por último localizamos la subprovincia llamada Llanuras y Pantanos Tabasqueños donde recaen las 10 estaciones restantes de la cuenca con poca elevación, de los 10 hasta los 114 metros sobre el nivel del mar como el caso de la estación *Pichucalco* (7128)

Tabla 3.4. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Grijalva-Villahermosa.

<i>Clave</i>	<i>Nombre</i>	<i>Municipio</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
7030	<i>San Juan Chamula</i>	<i>Chamula</i>	2300
7071	<i>Guaquitepec</i>	<i>Chilón</i>	1040
7112	<i>Malpaso II</i>	<i>Tecpatán</i>	398
7128	<i>Pichucalco</i>	<i>Pichucalco</i>	114
7149	<i>San Pedro Chenalho</i>	<i>Chenalho</i>	1480
27011	<i>Dos Patrias</i>	<i>Tacotalpa</i>	60
27020	<i>Jalpa De Méndez</i>	<i>Jalpa De Méndez</i>	10
27030	<i>Macuspana</i>	<i>Macuspana</i>	68
27034	<i>Paraíso</i>	<i>Paraíso</i>	10
27039	<i>Samaria</i>	<i>Cunduacán</i>	19
27042	<i>Tapijulapa</i>	<i>Tacotalpa</i>	22
27044	<i>Teapa</i>	<i>Teapa</i>	38
27054	<i>Villahermosa</i>	<i>Centro</i>	10
27055	<i>Villahermosa</i>	<i>Centro</i>	10

En el extremo sur de la cuenca se encuentran las estaciones *San Pedro Chenalho* y *San Juan Chamula* a 1480 y 2300 metros de altitud respectivamente, ambas ubicadas en los *Altos de Chiapas*, el comportamiento de la precipitación en estas estaciones en particular es similar, presentan máximos en el verano, principalmente en septiembre alrededor de 100 mm y en cuanto al periodo de retorno en la mayor parte del año ambas estaciones coinciden

que cada 10 años podrían presentarse eventos extremos de precipitación, pero los máximos históricos para un periodo de 24 hrs registrados indican que se presentan cada 50 o 100 años (Figura 3.19).

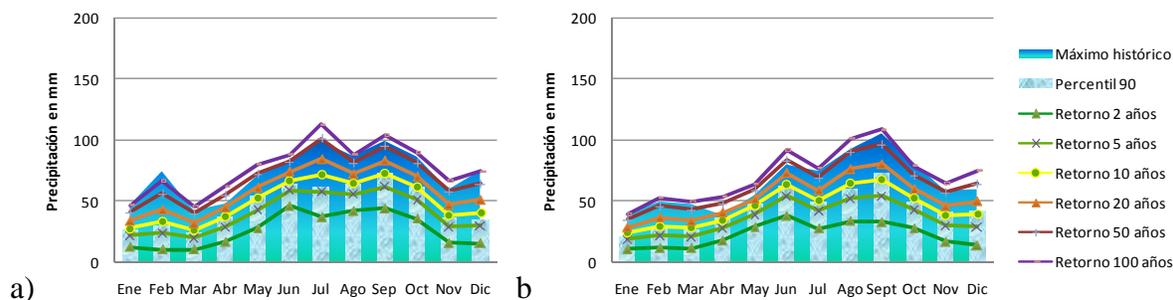


Figura 3.19. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) San Pedro Chenalho y b) San Juan Chamula, Chiapas.

A estas estaciones le siguen en ubicación hacia el norte las *Guaquitepec (7071)* y *Malpaso II (7112)*, correspondientes a la cuenca pero también a la *Sierra Norte de Chiapas*, por lo se encuentran a 1040 metros de altitud y 398 metros respectivamente, siendo de las mayor altitud en la cuenca junto con las de los Altos de Chiapas, estas estaciones se encuentran a 140 km de distancia aproximadamente por lo que los valores de cada una de ellas es representativo de su ubicación. En el caso de la estación *Guaquitepec (7071)* la precipitación máxima registrada es de 166 mm en octubre mientras que en la estación *Malpaso II (7112)* fue aún mayor con 250 mm en septiembre además de presentar valores elevados en agosto (240 mm) y octubre (246 mm) e incrementos en mayo (Figura 3.20), con lo anterior se hace notar la diferencia en el comportamiento temporal y la cantidad de precipitación registrada en ambas estaciones. En cuanto al comportamiento de los eventos extremos varia también de estación a estación puesto que en el caso de *Guaquitepec* cada 10 años aproximadamente se pueden presentar valores que superen el percentil 90 que es considerado como evento extremo y dentro de la serie histórica de datos encontramos precipitaciones para las que se calcula una periodicidad de 50 años y la máxima de octubre supera los 100 años. En el caso de *Malpaso II* los eventos considerados extremos se presentan cada 5 años en general, esto revela que son más comunes las lluvias extremas en la región, y esto se confirma con los valores máximos de la serie de datos que superan fácilmente un periodo de retorno de 100 años y en casos como las precipitaciones de agosto

y septiembre se calcula una periodicidad aproximada de 500 años (no representado en la gráfica).

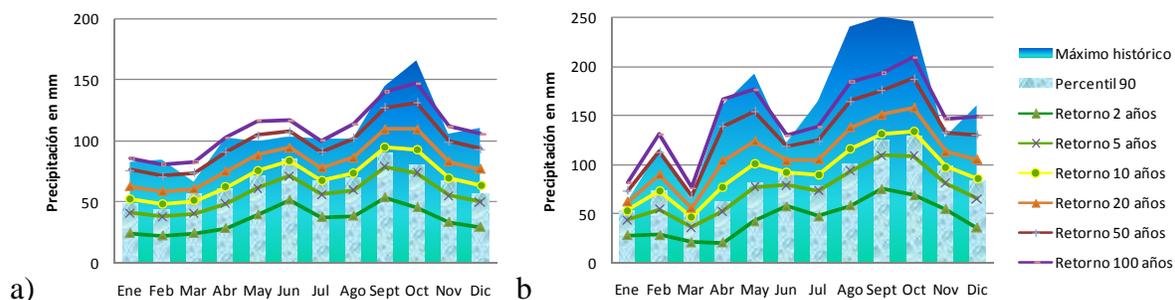


Figura 3.20. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Guaquitepec y b) Malpaso II, Chiapas.

El resto de las estaciones de la cuenca se encuentran en las Llanuras y Pantanos Tabasqueños, todas estas estaciones corresponden al estado de Tabasco a excepción de la estación *Pichucalco* (7128) correspondiente al estado de Chiapas siendo de esta forma la estación con mayor elevación de este grupo con 114 msnm registrando altas precipitaciones a lo largo de todo el año con valores superiores a 200 mm y sólo disminuyendo en junio con 128 mm, los máximos históricos corresponden a mayo con 286 mm y noviembre con 291 mm (figura 3.21), los eventos extremos tienen un periodo de retorno de 5 a 10 años mientras que los extremos entre 50 y 100 años.

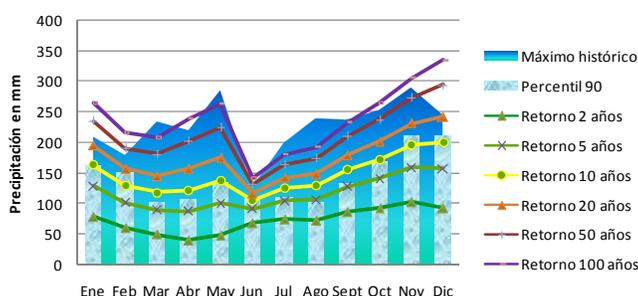


Figura 3.21. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Pichucalco, Chiapas.

Las estaciones restantes corresponden en su totalidad al estado de Tabasco manteniendo valores de precipitación similares, los cuales se pueden considerar altos, puesto que superan fácilmente los 150 mm en promedio y presentan valores máximos históricos de mayores a 250 mm.

En las estaciones *Macuspana* (27030), *Paraíso* (27034) y *Samaria* (2739) el comportamiento es similar, la precipitación es intensa a lo largo del año, pero se concentra principalmente en los meses de septiembre, octubre y noviembre, con máximos históricos de de 230 mm a 290 mm con un periodo de retorno de 100 años en la mayoría de los casos, mientras que los eventos considerados extremos (percentil 90) tienen una periodicidad de 10 años (Figura 3.22).

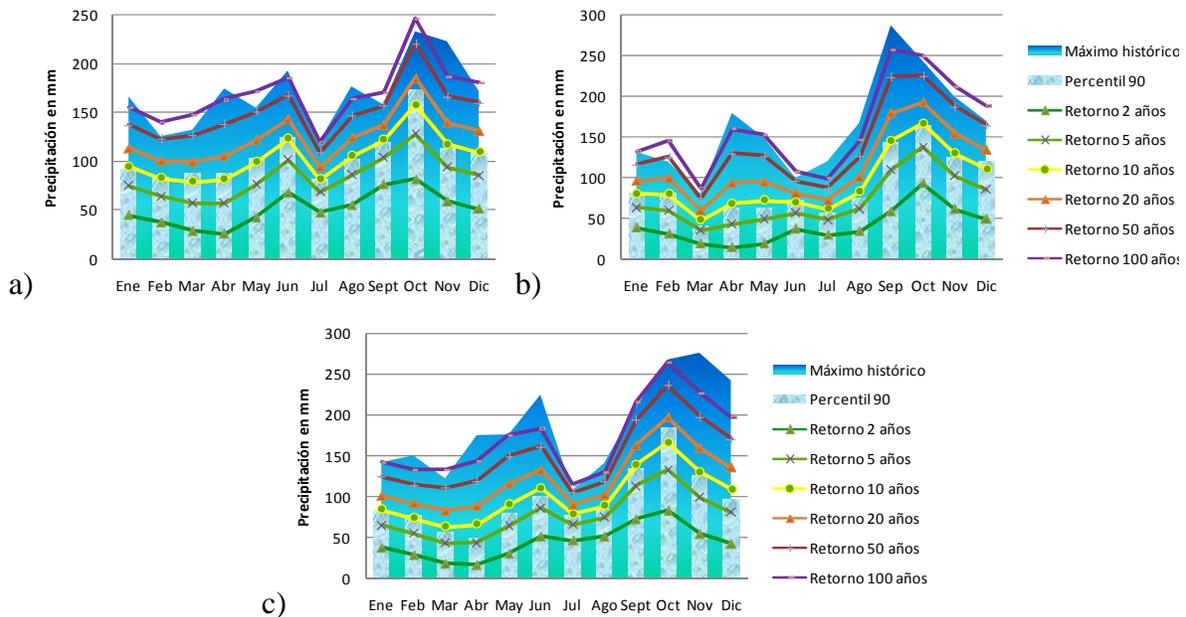


Figura 3.22. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) *Macuspana*, b) *Paraíso* y c) *Samaria*, Tabasco.

En las estaciones *Tapijulapa* (27042) y *Teapa* (27044) el comportamiento de la precipitación es un poco más intenso que en los casos anteriores a lo largo de todo el año se registran valores elevados (Figura 3.23), pero en el caso de *Tapijulapa* se han registrado precipitaciones superiores a los 300 mm en los meses de enero, mayo y octubre, para los cuales se calcula una periodicidad superior a 50 y 100 años. En el caso de la estación *Teapa* tienen comportamiento similar la precipitación, durante todo el año se registran valores elevados pero llegando a su máximo histórico en septiembre con 301 mm, los eventos extremos se presentan cada 5 o 10 años en esta estación, pero a la precipitación máxima histórica en 24 hrs se calcula que tiene una periodicidad de 100 años.

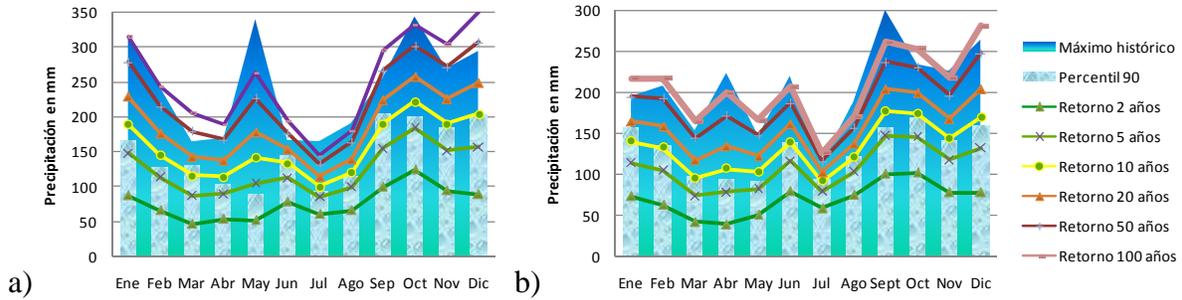


Figura 3.23. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Tapijulapa y b) Teapa, Tabasco.

En la capital del estado se encuentran dos estaciones climatológicas, la 27054 y 27055 ambas con el mismo nombre *Villahermosa* pero registros muy desiguales (Figura 3.24). En el caso de la estación *Villahermosa (27054)* se hallan registros elevados de precipitación a lo largo de todo el año llegando a su máximo en octubre con 340 mm y un periodo de retorno de 100 años para el caso de los máximos históricos registrados y de 10 años para las precipitaciones extremas en la estación, mientras que en la estación *Villahermosa (27055)*, actualmente suspendida, se registran precipitaciones bajas en invierno y una precipitación máxima de 200 mm en mayo, a diferencia del resto del estado donde se concentra en septiembre y octubre con valores superiores. El periodo de retorno es irregular, en los meses de menor precipitación, dado que es inferior a 2 años y al igual que las precipitaciones consideradas como extremas, sólo en junio y julio supera los 10 años, en el caso del la precipitación máxima dentro de la serie de datos de la estación (mayo) supera un periodo de retorno de 100 años.

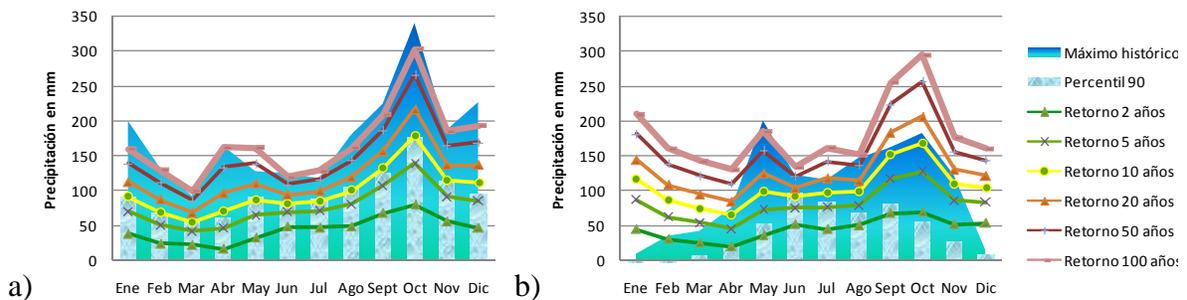


Figura 3.24. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: a) Villahermosa (27054) y b) Villahermosa (27055), Tabasco.

También se presenta un caso especial con la estación *Dos Patrias* (27011) donde al igual que la mayoría de las estaciones climatológicas del estado se registra precipitación alta durante todo el año (Figura 3.25), pero hay un dato en concreto registrado el 4 de diciembre de 1990 de 712 mm, el cual no corresponde con la información de las estaciones aledañas, haciendo que sea un dato dudoso. Dejando de lado ese valor la segunda precipitación máxima registrada en la serie de datos es de 318 mm para octubre, en cuanto al periodo de retorno de los eventos extremos (percentil 90) coincide con el de 10 años para todo el años, para las precipitaciones máximas históricas en 24 hrs registradas se calcula tengan una periodicidad de 100 años.

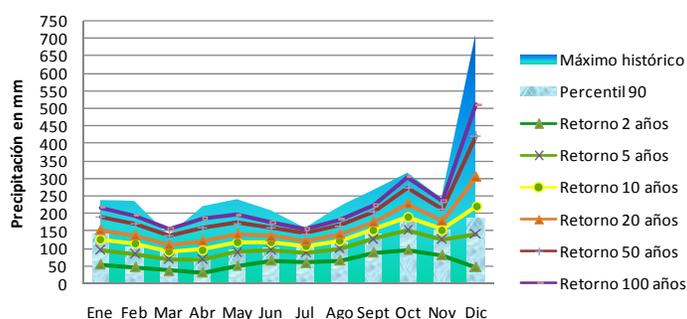


Figura 3.25. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Dos Patrias, Tabasco.

De esta manera se concluye que el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa es muy variado debido a la distribución espacial de las estaciones, pero en general en el estado de Tabasco precipita durante todo el año, concentrándose la mayor precipitación en los meses de septiembre a diciembre, llegando a registrar valores que sobrepasan por mucho un periodo de retorno de 100 años, mientras que las precipitaciones consideradas como extremas, las cuales son las que superan el percentil 90 se ven igualadas o superadas cada 5 o 10 años principalmente. Las precipitaciones máximas dentro de la cuenca coinciden con la zona donde se encuentran las Sierras del Norte de Chiapas y las Llanuras y Pantanos Tabasqueños.

3.1.5. Cuenca del Río Chixoy

Esta cuenca se encuentra al oriente de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta, comprende parte de los estados de Chiapas y Tabasco, además de encontrarse sobre las subprovincias fisiográficas Llanuras y Pantanos Tabasqueños en la porción norte de la cuenca, Sierra Lacandona en la parte sur y sólo una pequeña franja de las Sierras Bajas del Petén en el extremo oriental.

En cuanto a la distribución de las seis estaciones climatológicas que cumplen con los parámetros (Tabla 3.5.) establecidos para esta cuenca, sólo una se encuentra en el estado de Chipas y el resto en territorio Tabasqueño, todas al norte de la cuenca.

Tabla 3.5. Estaciones climatológicas consideradas para el estudio de la Cuenca del Río Chixoy.

<i>CLAVE</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>MUNICIPIO</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>
7126	Palenque	Palenque	20
27004	Boca del Cerro	Tenosique	25
27040	San Pedro	Balancán	36
27047	Tenosique	Tenosique	60
27050	Tres Brazos	Centla	30
27056	Balancán de Domínguez	Balancán	18

Cabe mencionar que la totalidad de las estaciones se encuentra en las Llanuras y Pantanos Tabasqueños por lo que su elevación sobre el nivel del mar es mínima.

La estación *Boca del Cerro (27004)*, es la más cercana de todas a alguna zona de serranía, presenta precipitación elevada a lo largo de todo el año, pero concentrándose en abril y agosto principalmente con registros mayores a 250 mm (Figura 3.26), que superan por mucho los valores del percentil 90 que son considerados como eventos extremos, que son menores de 100 mm para los meses mencionados, lo que indica que una precipitación de ese magnitud podría presentarse cada 100 años y de igual manera para el resto del año con los valores máximos de precipitación en 24 hrs de la serie de datos, mientras que los eventos extremos coinciden con un periodo de retorno de 10 años.

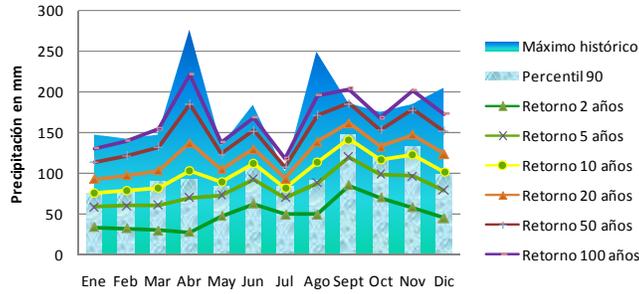


Figura 3.26. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Boca del Cerro, Tabasco.

La estación *Tenosique* (27047) de igual forma registra precipitaciones fuertes durante todo el año, los valores considerados como eventos extremos van de los 55 mm a los 130 mm, que son superados por mucho por los valores máximos históricos que para el mes de mayo tiene registros de 213 mm y septiembre 252 mm (Figura 3.27), lo que indica que las precipitaciones máximas en 24 hrs registradas tienen una periodicidad de 100 años, mientras que los valores del percentil 90 coinciden con un periodo de retorno de 10 años aproximadamente.

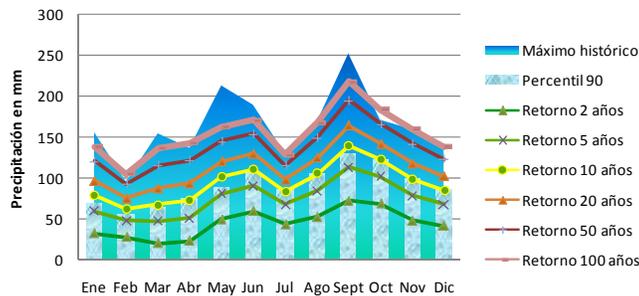


Figura 3.27. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Tenosique, Tabasco.

La estación *San Pedro* (27040), es la ubicada más al oriente de la cuenca, dicha estación presenta precipitación estable a lo largo del año con valores de 63 mm en el mes más seco del año mientras que el más húmedo registró 161 mm lo que indica cierta homogeneidad en la distribución temporal de la precipitación (Figura 3.28). Las precipitaciones consideradas como eventos extremos se estima que se produzcan cada 10 años en promedio, mientras que los valores máximos históricos tienen una periodicidad entre 50 y 100 años.

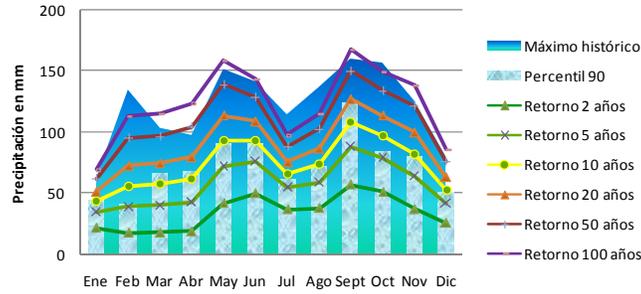


Figura 3.28. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: San Pedro, Tabasco.

También se encuentra la estación *Balancán de Domínguez* (27056) registra precipitación todo el año, pero concentrado en la segunda mitad del mismo, con valores máximos históricos en mayo, pero aún mayores de septiembre a noviembre, los cuales superan un periodo de retorno de 100 años, en tanto los eventos considerados como extremos tiene una periodicidad entre 5 y 10 años (Figura 3.29).

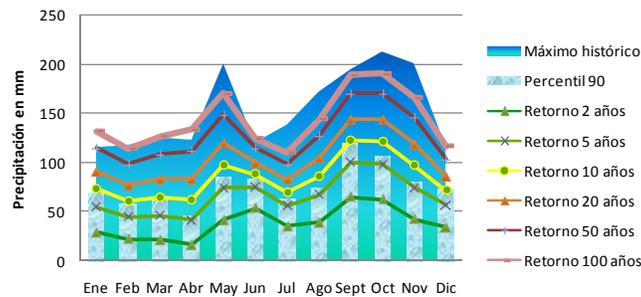


Figura 3.29. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Balancán de Domínguez, Tabasco.

La estación *Tres Brazos* (27050), en el municipio de Centla es la más cercana a la costa dentro de la cuenca a sólo 26 km, también presenta precipitación durante todo el año, pero en este caso si se concentra significativamente en la segunda mitad del año, con un máximo histórico de 280 mm en septiembre, mientras que el percentil 90 para el mismo mes es de 142 mm (Figura 3.30), el cual puede presentarse cada 10 años al igual que el resto del año, en cuanto a los máximos históricos registrados igualan o superan una periodicidad de 100 años.

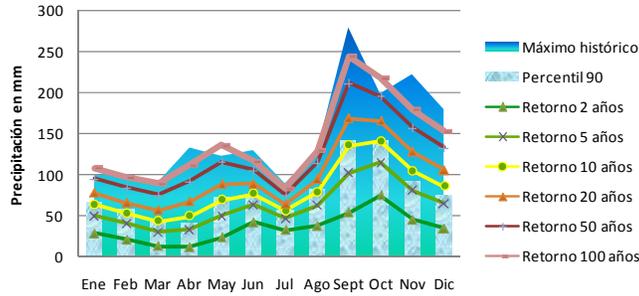


Figura 3.30. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Tres Brazos, Tabasco.

Dentro de las estaciones climatológicas de la cuenca del Río Chixoy sólo *Palenque* (7126), suspendida actualmente, corresponde estado de Chiapas. Dicha estación registra la precipitación menos intensa en marzo con 65 mm pero el resto del año mantiene valores elevados, alcanzando su máximo en septiembre y diciembre con más de 230 mm (Figura 3.31), lo que coincide con el periodo de retorno de 50 años y del mismo modo el resto del año, mientras que los eventos extremos cada 10 años.

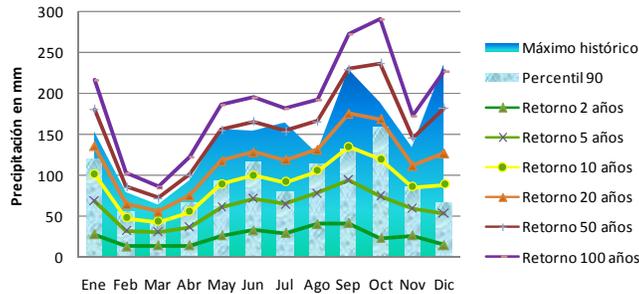


Figura 3.31. Distribución mensual de la precipitación y periodo de retorno considerando el percentil 90 para la estación: Palenque, Chiapas.

En general el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Río Chixoy es homogéneo, dado que todas las estaciones se encuentra en las *Llanuras y Pantanos Tabasqueños*, presentando lluvias más intensas en la segunda mitad del año que superan un periodo de retorno de 100 años a excepción de la estación *Palenque* que mantiene valores máximos históricos por debajo del periodo de retorno de 50 años. Los eventos extremos (percentil 90) en la cuenca pueden presentarse cada 5 años en casos muy particulares, pero en general tienen una periodicidad de 10 años.

3.2. Distribución espacial del periodo de retorno en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta

La región hidrológica Grijalva-Usumacinta presenta precipitación a lo largo del año debido a diferentes factores como su ubicación geográfica, al encontrarse entre el Océano Pacífico y el golfo de México se ve afectado por sistemas tropicales como los ciclones tropicales en verano y de latitudes medias como los frentes fríos en invierno entre otros, por lo que es preciso hacer un análisis espacial y temporal de los valores de periodo de retorno obtenido de las precipitaciones máximas en 24 horas de la serie histórica de datos de CLICOM.

A continuación se analizarán mapas de periodo de retorno a 2, 5, 10, 20 ,50 y 100 años mes a mes para poder comprender el comportamiento de los mismos a través del tiempo y su distribución a lo largo de la zona de estudio que es la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.

3.2.1 Análisis de periodo de retorno a 2 años

Los valores de precipitación calculados para un periodo de retorno de 2 años se pueden considerar bajos, puesto que van de los 0 mm hasta 80 mm y la distribución varía espacial y temporalmente a lo largo del año, durante los primeros meses del año, enero y febrero (Figura 3.32) la precipitación es mínima en toda la región, sólo marcándose en las estaciones *Teapa (27044)*, *Tapijulapa (27042)* y *Pichucalco (7128)*, que presentan valores más elevados que el resto de las estaciones pero sin llegar a considerarse como extremos, esta situación es la misma para los meses de enero y febrero. Durante dichos meses la precipitación se concentra en la Sierra Norte de Chiapas y aun más en la llanura tabasqueña, por los remanentes de los sistemas invernales que afectan la región.

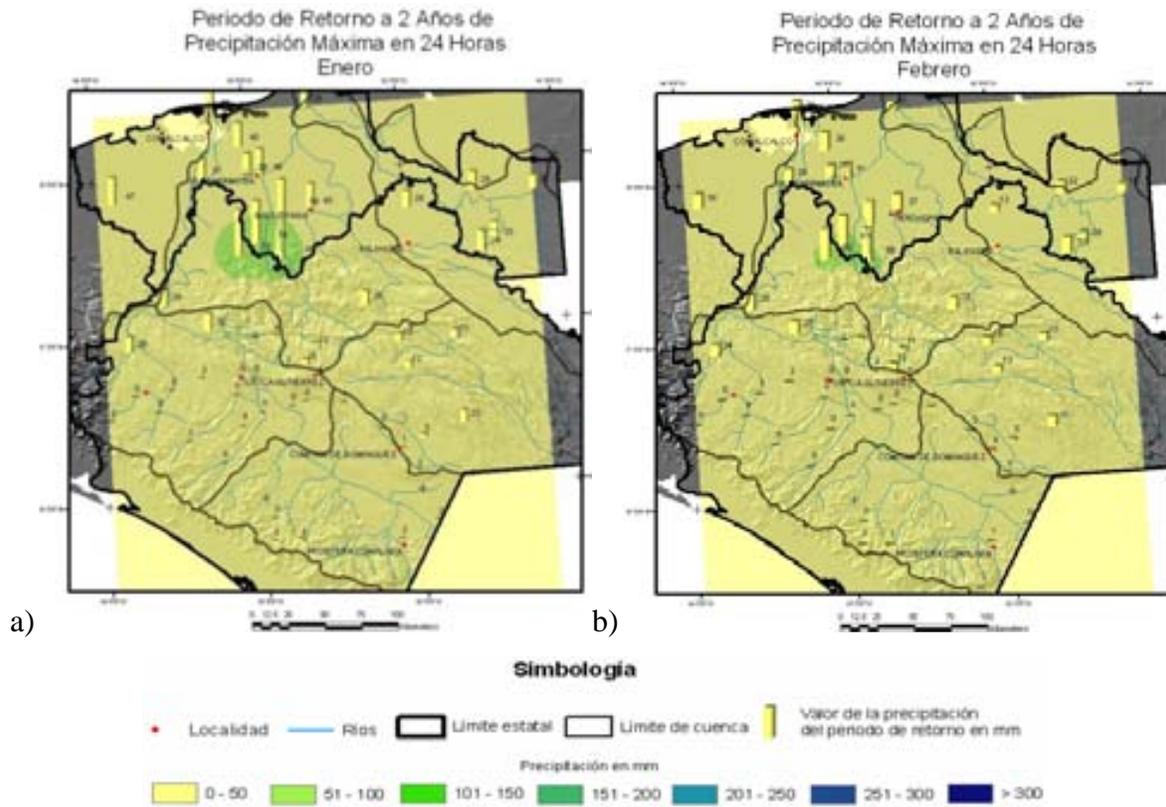


Figura 3.32. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) enero y b) febrero.

En marzo, abril y mayo (Figura 3.33) el comportamiento de la precipitación es homogéneo en la región hidrológica en su totalidad, manteniendo valores menores de 50 mm para este periodo de retorno en particular, lo cual indica que no se presentan precipitaciones extremas en ninguna estación de la región.

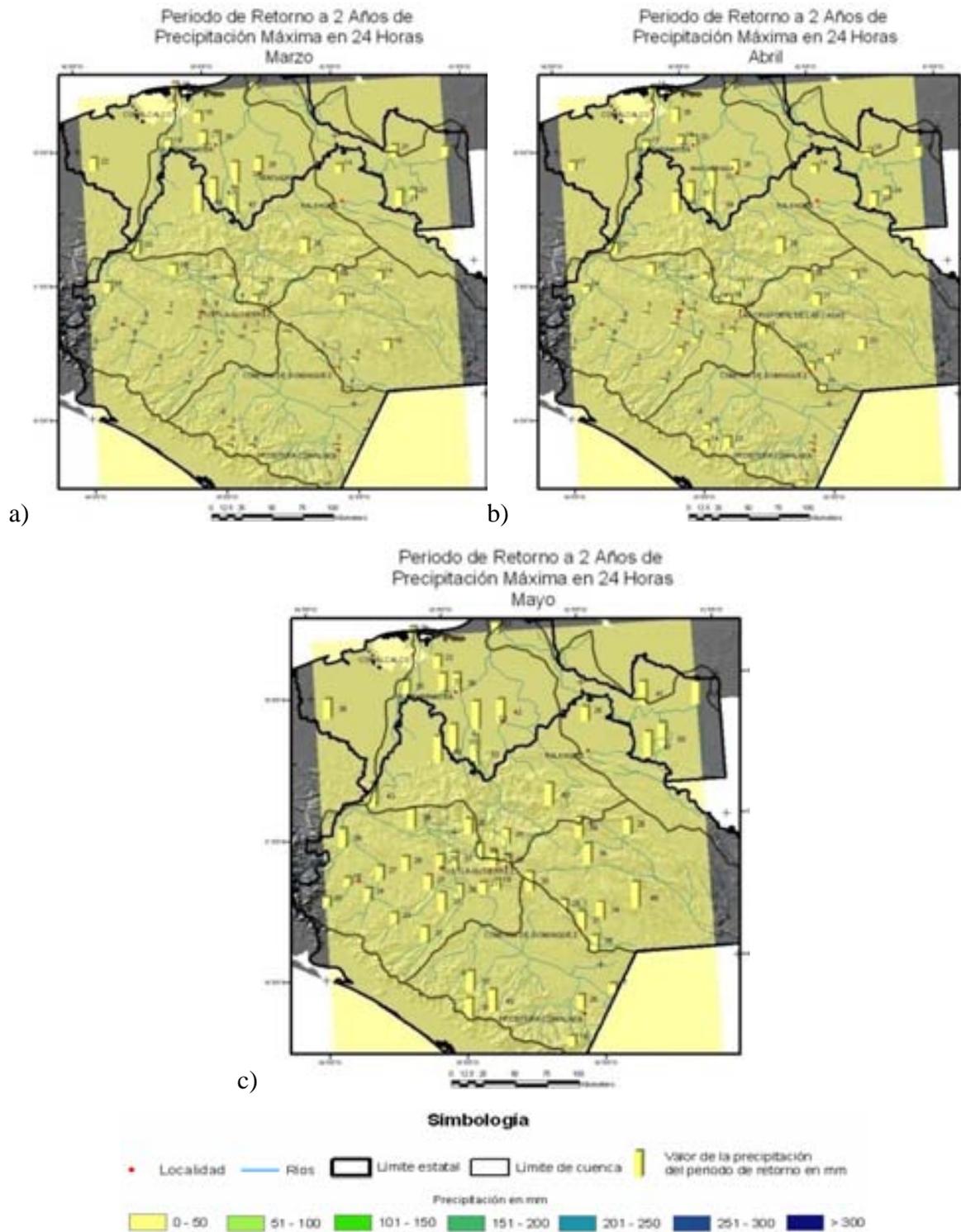


Figura 3.33. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) marzo, b) abril y c) mayo.

La situación cambia a partir de junio (Figura 3.34a), en la mitad más húmeda del año donde los valores de precipitación se elevan en gran parte de la región hidrológica, los cálculos de periodo de retorno a dos años muestran que no presentan precipitaciones menores a 27 mm, los valores más elevados se presentan en la parte norte de la región hidrológica, en el Estado de Tabasco y la Sierra Norte de Chiapas con valores mayores a 50 mm y cercanos a 80 mm de precipitación en un lapso de 24 horas, un comportamiento similar para este mes en particular se presenta al oriente de la región hidrológica en la cuenca del Río Lacantún y al sur en la cuenca del Río Grijalva-Concordia, mientras que en la parte central de la región los valores son menores a 50 mm. Dicho comportamiento de la precipitación es representativo del inicio del verano, donde las precipitaciones aumentan por el ciclo estacional de las mismas.

Aunque las precipitaciones hayan aumentado en comparación con los meses anteriores, se considera que estos valores calculados para un periodo de retorno de dos años no son de consideración refiriéndose a eventos extremos de precipitación, dado que estos no superan el umbral de precipitación considerado como extremo, el cual es el percentil 90 de la precipitación máxima histórica en 24 horas.

Dentro de los cálculos de periodo de retorno a dos años para el mes de julio (Figura 3.34b) los valores de precipitación disminuyen en Tabasco, siendo más homogéneos con el resto de la región. En la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez se mantienen similares que el mes anterior, lo que no representa riesgo de eventos hidrometeorológicos extremos.

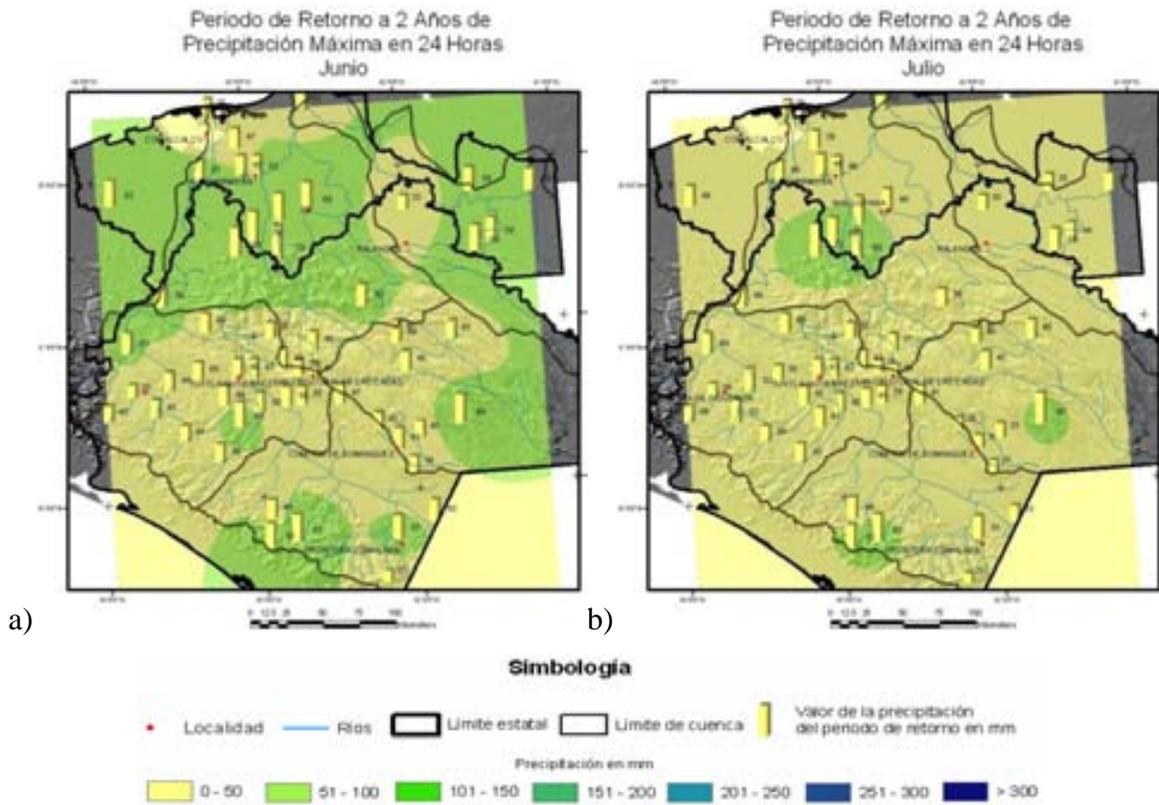


Figura 3.34. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) junio y b) julio.

En agosto nuevamente se elevan los valores de precipitación calculados para un periodo de retorno de dos años pero sólo en una porción de la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa por las estaciones ubicadas en la subprovincia fisiográfica Llanura y Pantanos Tabasqueños. Continuando con la temporalidad y distribución de las precipitaciones en septiembre se incrementan en la mayor parte de la región sólo dejando una franja de menor precipitación en parte de las cuencas de los Ríos Lacantún, Grijalva-Villahermosa y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez. Permaneciendo por debajo de los valores considerados como extremos en el presente trabajo (Figura 3.35).

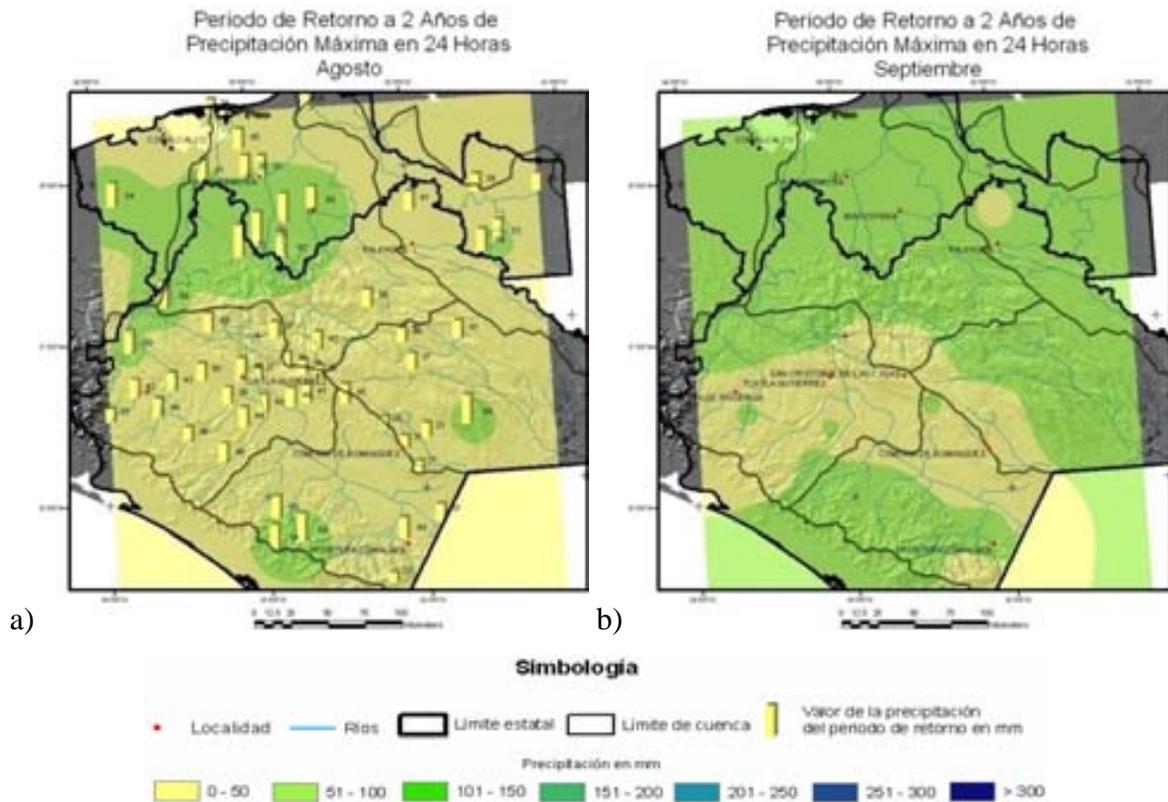


Figura 3.35. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) agosto y b) septiembre.

En octubre (Figura 3.36) nuevamente se concentra la precipitación en la Sierra Norte de Chiapas y las Llanuras y Pantanos Tabasqueños, similar a lo que ocurre en junio, pero en esta ocasión sólo hacia el norte de la región hidrológica, pero disminuye considerablemente en el resto de las cuencas, siendo más notorio en la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez donde se mantenían valores cercanos a los 50 mm en meses anteriores y disminuyendo a precipitaciones entre los 10 y 30 mm, a excepción de las estaciones *Santa María (7156)* y *El Progreso (7050)*, a las cuales se les calcula 44 y 45 mm de precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de dos años. Lo anterior indica un incremento de precipitación en el estado de Tabasco y el caso contrario en Chiapas por los diferentes sistemas meteorológicos que afectan la región hidrológica Grijalva-Usumacinta.

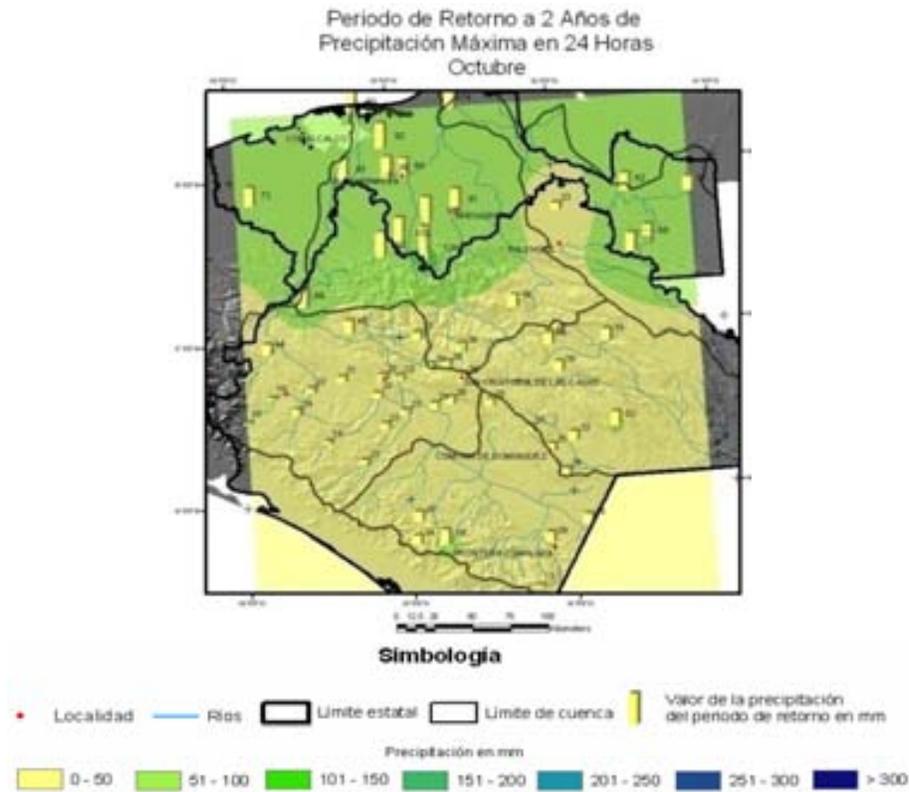


Figura 3.36. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para octubre.

Hacia el fin de año la precipitación disminuye en general en toda la región hidrológica, sólo concentrando valores mayores a 50 mm en parte de la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa en noviembre, mientras que diciembre mantiene el mismo comportamiento pero disminuyendo el área de influencia de precipitaciones mayores respecto al mes anterior (Figura 3.37). En el estado de Chiapas son mínimas las precipitaciones calculadas para un periodo de retorno de 2 años.

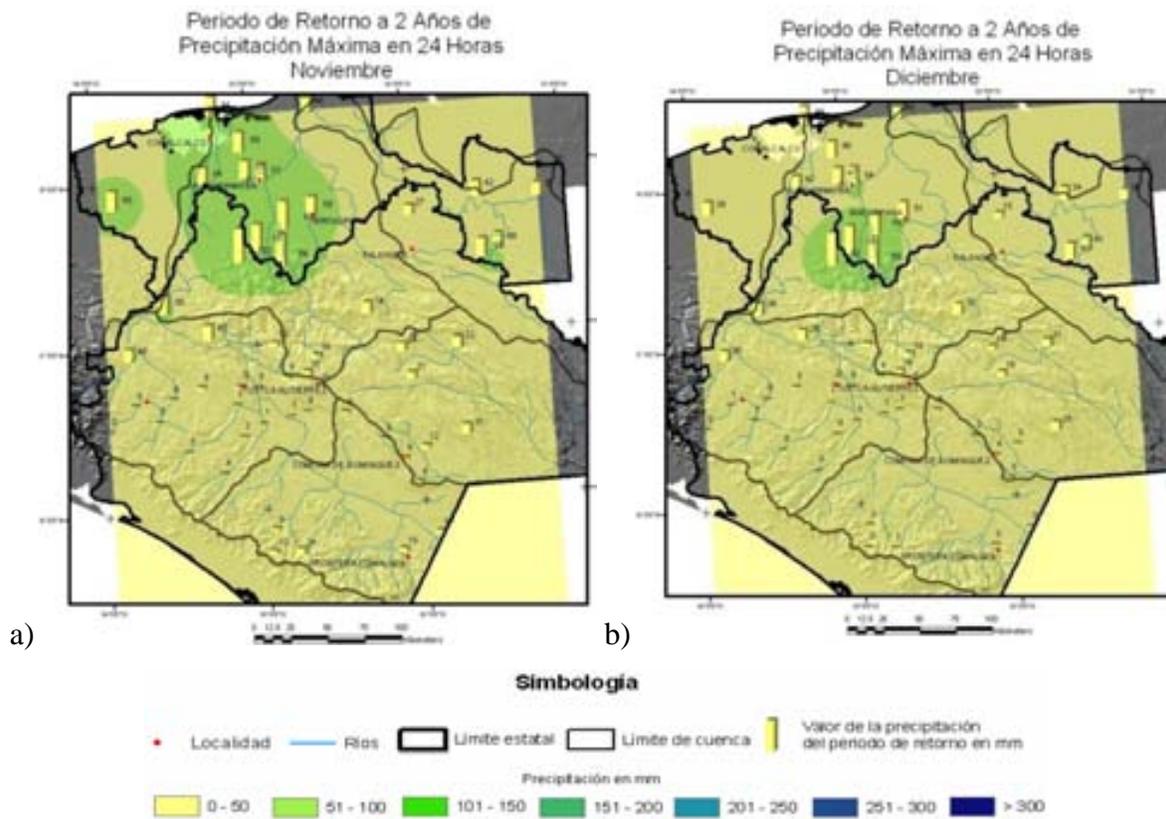


Figura 3.37. Valores de periodo de retorno de precipitación a 2 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre.

En general los valores de precipitación estimados para un periodo de retorno de dos años, aunque muy variables en el espacio y tiempo, no se puede considerar como evento extremo, puesto que dichos valores nunca superan el valor del percentil 90 considerado como extremo en este trabajo.

3.2.2 Análisis de periodo de retorno a 5 años

Para los cálculos de periodo de retorno a 5 años los cambios son significativos respecto a los valores de precipitación con un retorno de 2 años.

En enero (Figura 3.38) los valores van de los cero mm en Chiapas, concentrados principalmente en la cuenca Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, hasta valores superiores a 100 mm en el estado de Tabasco siendo precipitaciones de consideración, ya que si no superan los valores considerados como extremos si están próximos a estos. Esto indica que en las

precipitaciones invernales en la parte baja de la región hidrológica son de consideración, las mismas son en respuesta a los sistemas invernales que se presentan en la región.

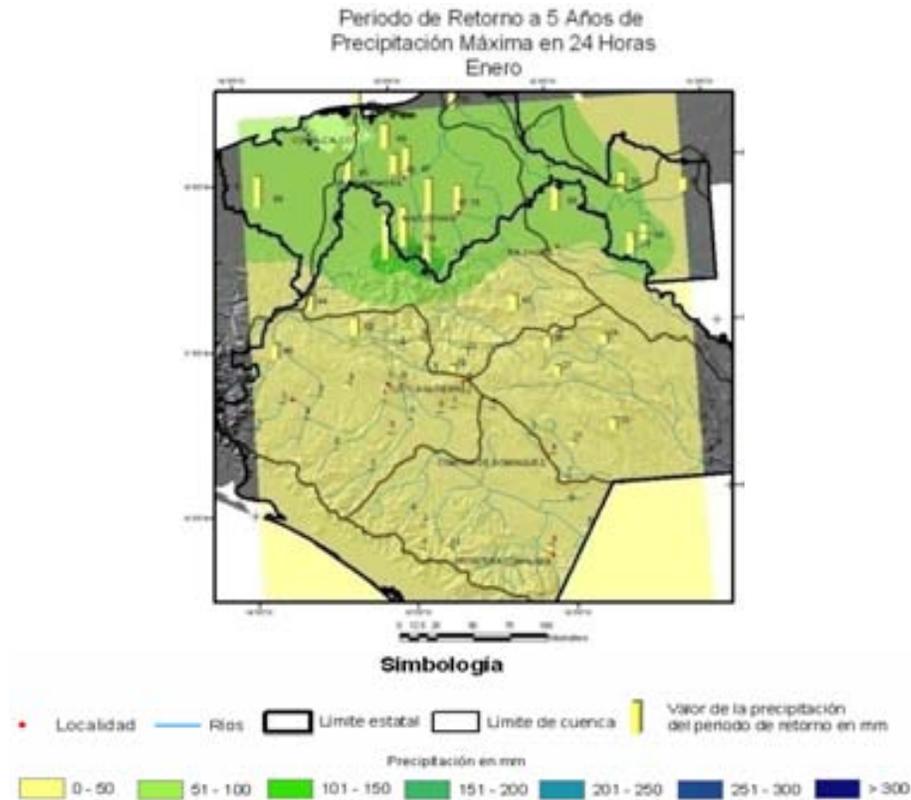


Figura 3.38. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para enero.

En el mes de febrero se presenta una disminución en la precipitación, reduciéndose el área de influencia para este cálculo de retorno a 5 años, de la misma forma sucede en marzo, donde el descenso de los valores de precipitación continúa, esto en el caso de Tabasco, mientras que en Chiapas los valores aumentan ligeramente (Figura 3.39).

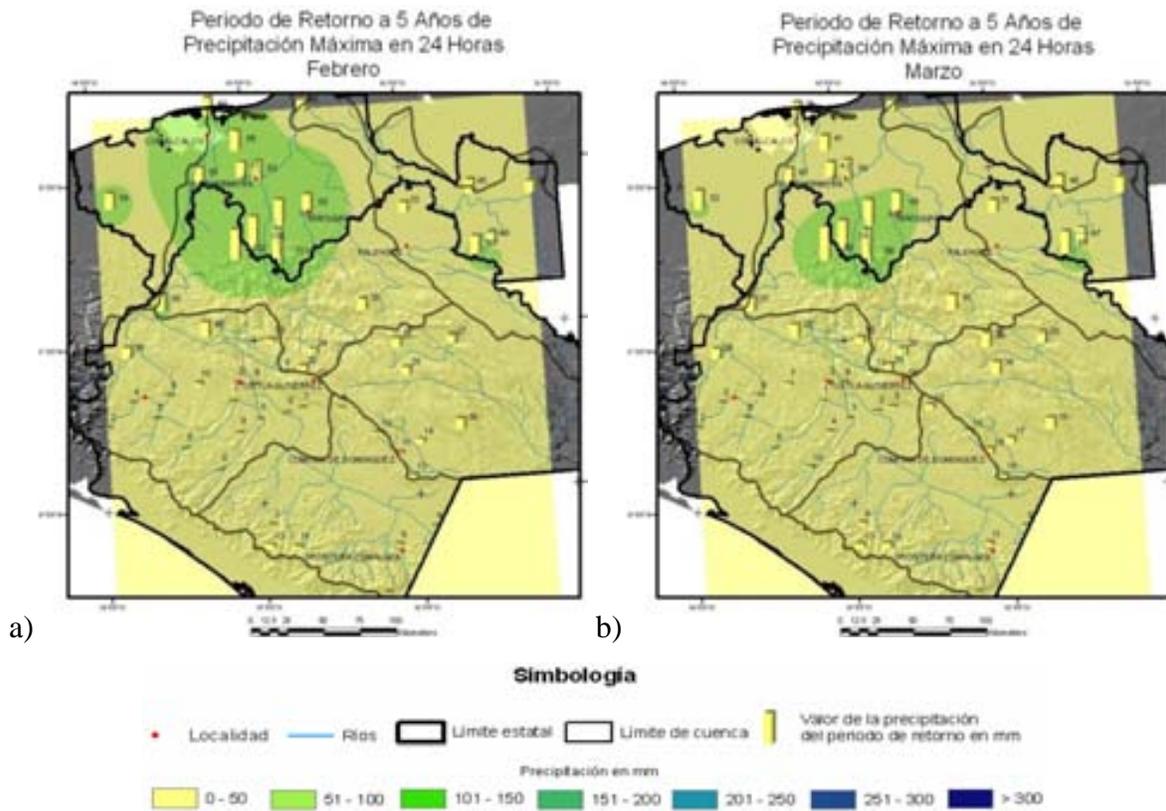


Figura 3.39. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) febrero y b) marzo.

En abril los valores mayores de 500 mm se siguen concentrando en una pequeña porción de la cuenca Grijalva-Villahermosa, mientras que en el resto de la región hidrológica las precipitaciones siguen en aumento, siendo más significativas en Chiapas donde en las zonas montañosas se calculan 30 mm en promedio, las cuales aunque mayores no representan conflicto con las precipitaciones consideradas como extremas.

Para el periodo de retorno de 5 años en los meses de mayor precipitación en la región, aumenta significativamente los valores en el mes de mayo (Figura 3.40), se nota una acentuación de las precipitaciones tanto en Chiapas como en Tabasco. Los cálculos indican valores alrededor de 50 mm, pero alcanzando los 100 mm en la cuenca Grijalva-Villahermosa, lo que indica en comienzo de la época lluviosa en la región, principalmente en el estado de Chiapas, donde contrastan mucho los valores respecto a meses anteriores. Para mayo en particular las precipitaciones están muy cerca de las consideradas como extremas, en casos aislados como la estación *Tapijulapa (27042)* en Tabasco el valor

calculado para un periodo de retorno de 5 años supera el percentil 90 de la precipitación máxima en 24 horas, lo que indica que en mayo pueden presentarse eventos extremos en alguna parte de la región hidrológica.

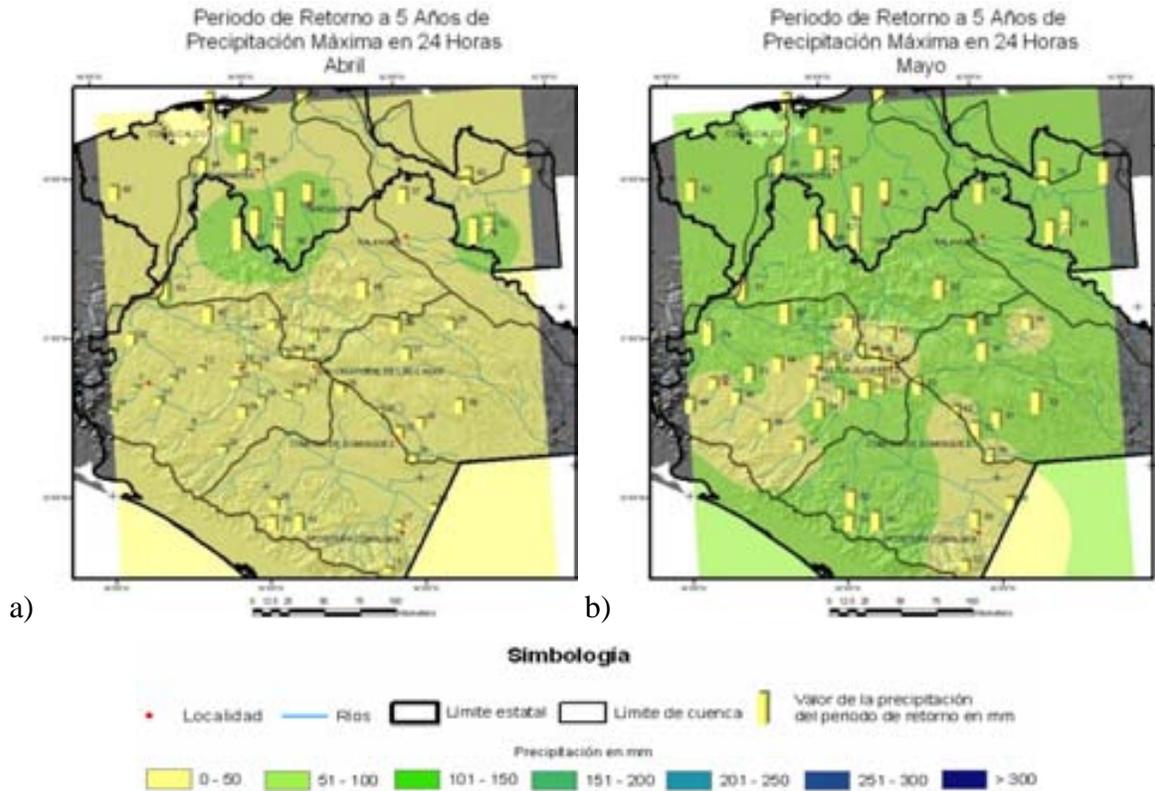


Figura 3.40. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) abril y b) mayo.

En junio se puede distinguir un importante aumento de la precipitación a lo largo de toda la región, notándose cierta homogeneidad en los valores, los cuales superan los 50 mm en todas las estaciones trabajadas, lo que recalca las lluvias de verano en la región (Figura 3.41). Aunque los valores de periodo de retorno aumentan, estos quedan por debajo de los valores considerados como extremos, pues la precipitación en el verano es mayor en toda la región.

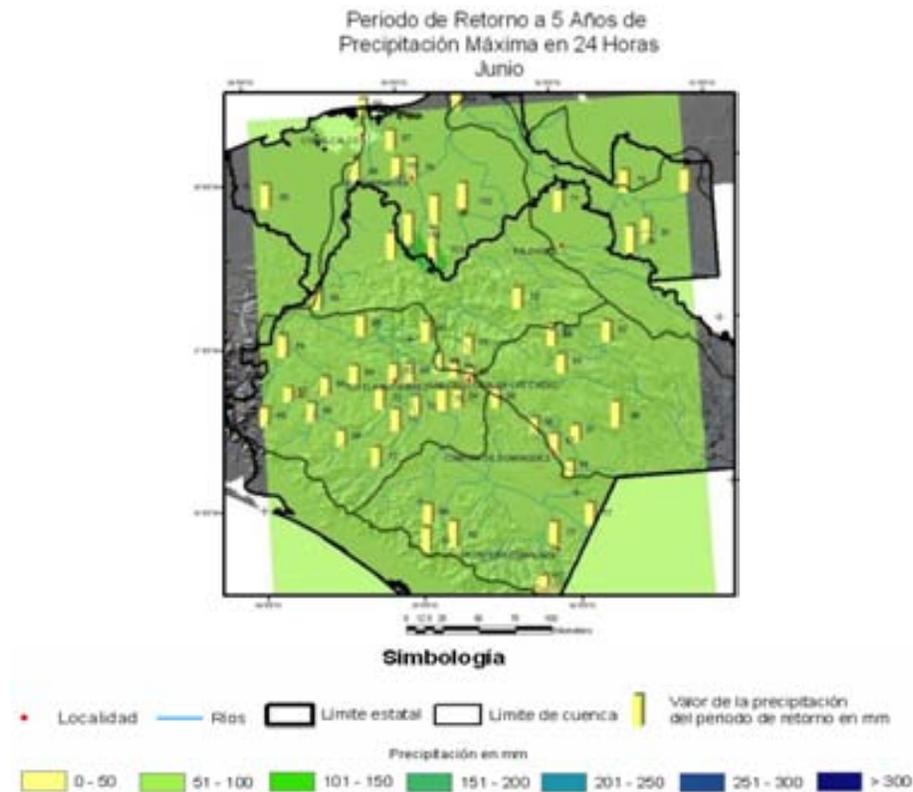


Figura 3.41. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para junio.

Lo mismo sucede continuando el verano en los meses de julio y agosto (Figura 3.42), en julio la precipitación es similar a la presente en junio con valores mayores de 50 mm, a excepción de una pequeña zona entre las cuencas de los Ríos Lacantún y Grijalva-Concordia donde se muestran valores inferiores a los 50 mm. En agosto la situación continúa similar con valores superiores a 50 mm en la totalidad de la región hidrológica, sólo en las estaciones de *Teapa* (27044), *Tapijulapa* (27042) y *Pichucalco* (7128) se superan valores de 100 mm, de esta última se calcula un valor 106 mm para un periodo de retorno de 5 años, mientras que para el percentil 90 se calculan 103 mm, el cual es superado, lo que dice que en esa estación en particular se podría presentar un evento extremo con una periodicidad de 5 años.

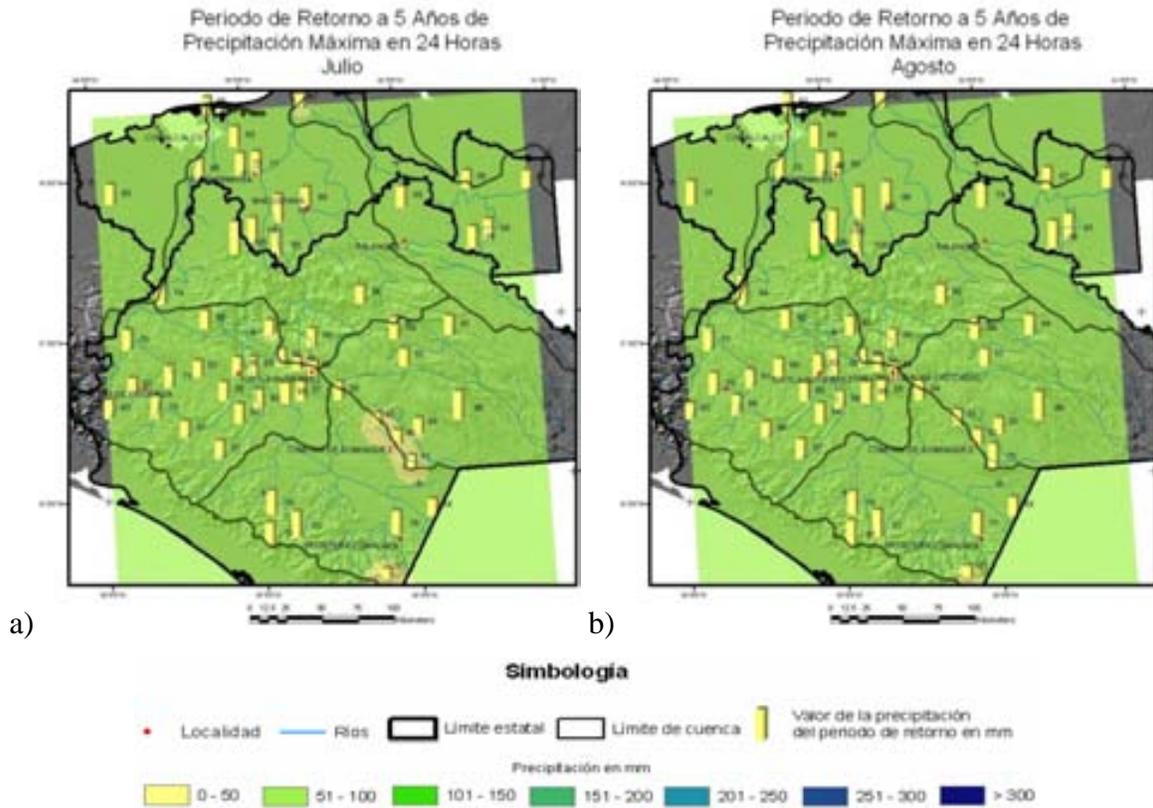


Figura 3.42. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) julio y b) agosto.

En septiembre las precipitaciones son aun más intensas en toda la región hidrológica (Figura 3.43a), pero especialmente en la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa en el Estado de Tabasco, donde los valores de precipitación superan fácilmente los 100 mm, mientras que el resto de las cuencas dentro de la región hidrológica supera también con facilidad los 50 mm, esto es resultado de las lluvias de verano aun presentes en Chiapas y la intensificación de las mismas en Tabasco por diferentes factores como la entrada de humedad del Golfo de México, pero ninguno de estos valores de precipitación superan los valores calculados como eventos extremos mediante el percentil 90.

Para el mes de octubre (Figura 3.43b) la situación es muy distinta respecto a los meses anterior puesto que la distribución de la precipitación es irregular en toda la región hidrológica, dado que se presentan precipitaciones más altas en la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa, muy por encima de los 100 mm, mientras que en parte de la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez los valores son inferiores a 50 mm, lo que contrasta demasiado

con la parte norte de la región, en tanto la cuenca del Río Lacantún, Grijalva-Concordia, Chixoy y partes de Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Villahermosa mantienen valores intermedios de 50 a 100 mm, esto para la mayor parte de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta. Esto muestra el fin de la lluvia estacional en Chiapas, mientras que en Tabasco se acentúan debido a los sistemas invernales predominantes en la región. Aunque el aumento en la precipitación es significativo en algunas zonas estas no superan los valores extremos de precipitación máxima en 24 horas en ninguna estación.

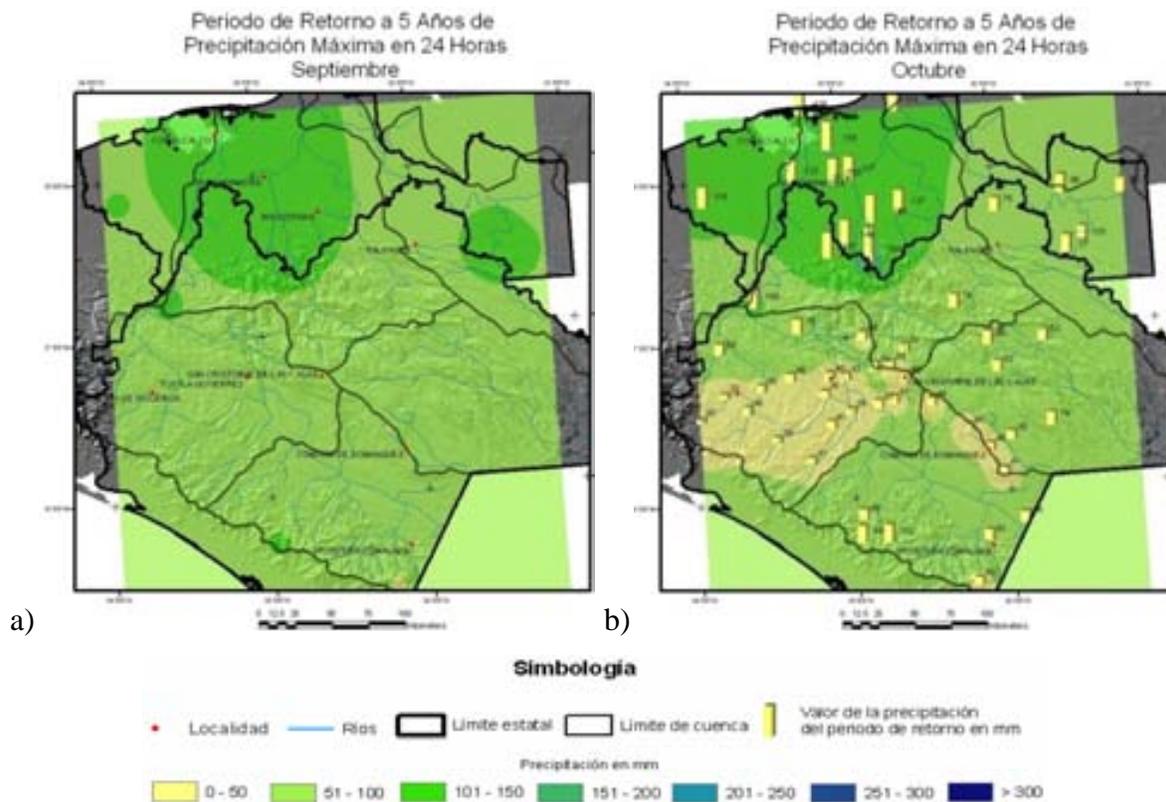


Figura 3.43. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) septiembre y b) octubre.

Hacia el final del año la precipitación disminuye en toda la región hidrológica, siendo más notorio en el Estado de Chiapas, donde se registran valores inferiores a 50 mm. En noviembre la precipitación se concentra en la parte norte, a partir de la Sierra Norte de Chiapas, aunque los valores son mayores a 50 mm sólo las estaciones *Teapa* (27044), *Tapijulapa* (27042), *Jalpa de Méndez* (27020) y *Pichucalco* (7128) sobrepasan los 100 mm. En diciembre se reducen aun más los valores de precipitación en toda la región

hidrológica en general, manteniendo la misma configuración que el mes de noviembre, pero siendo mínima la precipitación en Chiapas. Los valores periodo de retorno a cinco años, aunque muy diversos, no superan en ningún caso el valor calculado como evento extremo (Figura 3.44).

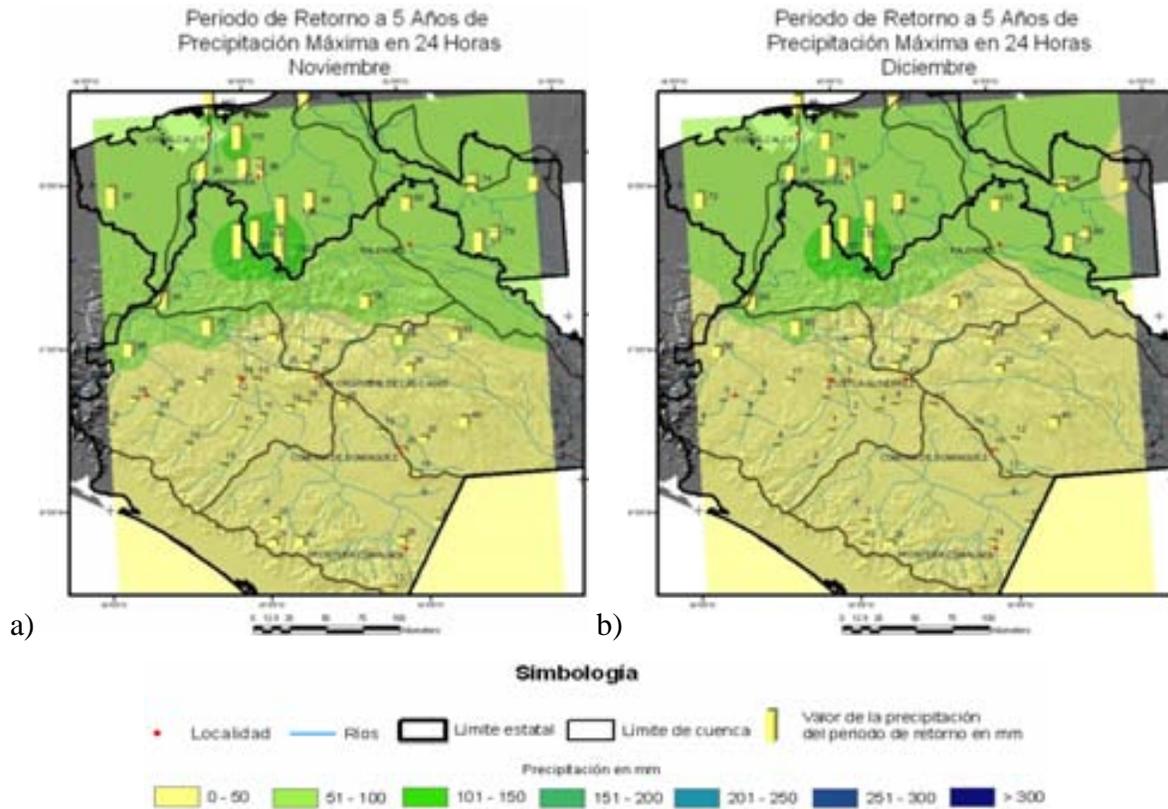


Figura 3.44. Valores de periodo de retorno de precipitación a 5 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre.

3.2.3 Análisis de periodo de retorno a 10 años

Referente al periodo de retorno de diez años los resultados son muy variados, en este caso los valores que resultaron coinciden con los valores del percentil 90 de la precipitación máxima en 24 horas considerados como eventos extremos, esto significa que las precipitaciones con una periodicidad de diez años son iguales los considerados como extremos y en ocasiones superados, lo que resulta en una periodicidad de 10 años de lluvias extremas en 24 horas. Esto no es para todas las estaciones de la región hidrológica ni para todos los meses, cabe mencionas que sí coinciden con los valores de eventos extremos, pero también algunas estaciones quedan por debajo de los mismos.

En el caso de enero particularmente el cálculo de periodo de retorno a diez años mantiene los valores más elevados en la parte norte de la región hidrológica, desde la Sierra Norte de Chiapas con valores superiores a los 50 mm y una pequeña zona con valores superiores 100 mm como la estación *Tapijulapa (27042)* a la cual se le calcula una valor de periodo de retorno a diez años de 189 mm mientras que el valor del percentil 90 es de 165 mm, el cual se ve superado fácilmente, lo que indica que en esta estación en particular un evento extremo de precipitación tendría una periodicidad de entre 5 y 10 años en el mes de enero (Figura 3.45).

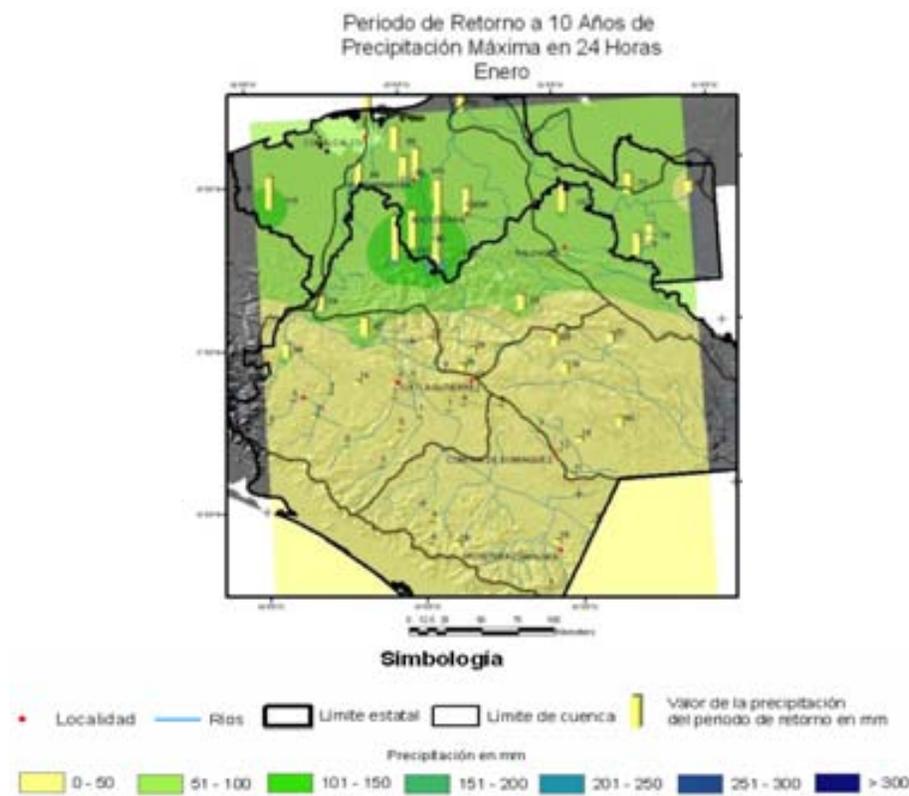


Figura 3.45. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para enero.

En febrero y marzo la situación es similar (Figura 3.46), pero con valores un poco inferiores, aunque la distribución espacial del periodo de retorno a diez años mantiene cierta concordancia con enero, en Chiapas los valores son mínimos, cercanos a 0 y aunque en algunas estaciones este valor supera al definido como evento extremo no es de importancia dada la baja precipitación en el estado. En cuanto a Tabasco la situación es diferente ya que los valores son mayores y estos también superan en el percentil 90 en

algunas estaciones, pero aunque son mayores las precipitaciones no son de consideración en comparación con los meses más lluviosos de la región hidrológica.

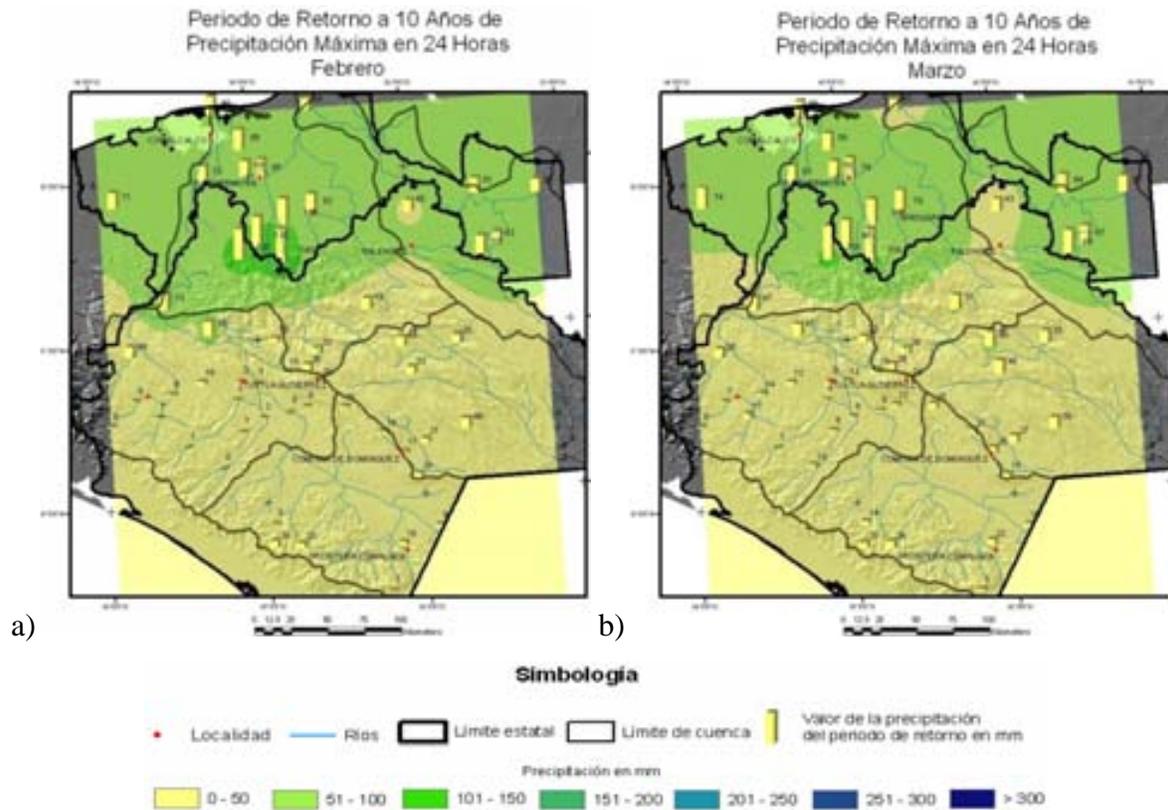


Figura 3.46. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) febrero y b) marzo.

En abril los valores de periodo de retorno a diez años comienzan a incrementarse en Chiapas (Figura 3.47a), aunque aun son inferiores a 50 mm, mientras que en Tabasco se mantienen igual o aumentan ligeramente en algunos casos, lo que cambia es la distribución espacial puesto que el área de influencia de mayores precipitaciones aumenta, abarcando la porción norte del Estado de Chiapas. En cuanto a la periodicidad de los eventos extremos se puede decir que los valores de periodo de retorno a diez años para este mes en particular superan los valores extremos, mientras que en otros casos no llega a superarlos, lo que indica cierta estabilidad en abril.

En mayo la distribución espacial de la precipitación se ve modificada en gran medida respecto a meses anteriores (Figura 3.47b), con la llegada de las lluvias estacionales el estado de Chiapas incrementa los valores de periodo de retorno a diez años superando los

50 mm y presentándose nuevamente los valores máximos en Tabasco, los cuales en la mayoría de las estaciones el valor de periodo de retorno e una precipitación máxima en 24 horas supera el valor de eventos extremos, lo que indica que puede llegar a causar ciertos daños, en cuanto al comportamiento en el estado de Chiapas se ven superados pero ligeramente, lo que indica una estabilidad en la cantidad de precipitación en 24 horas.

En junio (Figura 3.47c) el comportamiento es similar a mayo, pero incrementan los valores de periodo de retorno sensiblemente en las cuencas de los Ríos Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Lacantún y Grijalva-Concordia mientras que se mantiene en las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy. El valor de precipitación de periodo de retorno de diez años para este mes coincide con el de eventos extremos y en algunos casos es superado, lo que indica que en junio el valor de periodo de retorno aunque aumenta la precipitación también, lo que hace que no sean tan comunes los eventos extremos.

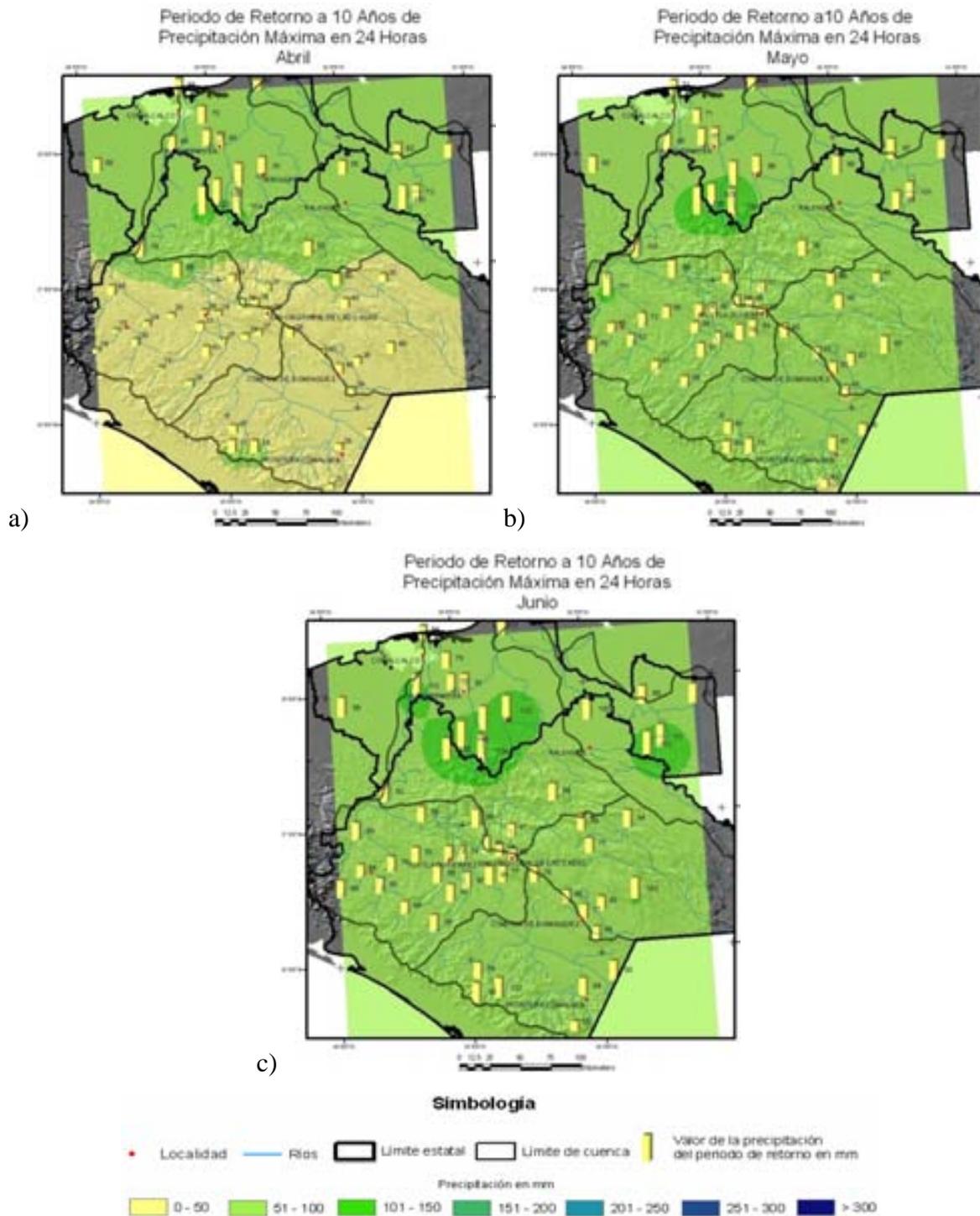


Figura 3.47. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) abril, b) mayo y c) junio.

Durante julio la precipitación es disminuye ligeramente haciendo más homogénea la región hidrológica Grijalva-Usumacinta, presentando valores entre 50 y 100 mm en la totalidad de

la región a excepción de la estación *Pichucalco (7128)* la cual registra un periodo de retorno a diez años de 124 mm mientras que un valor de precipitación extrema en 24 horas de 111 mm, el cual se ve superado. Respecto al resto de las estaciones al igual que los meses anteriores algunos casos igualan el valor del percentil 90 y otros tantos la superan, lo que indica que la periodicidad de un evento extremo en la región hidrológica oscila entre alrededor de los diez años (Figura 3.48a).

En agosto siguen aumentando ligeramente los valores de periodo de retorno a diez años en todas las cuencas de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta, principalmente en la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa donde se concentran valores mayores a 100 mm en el municipio de *Teapa (27044)* y sus alrededores, mientras que en el resto de la región son mayores a 50 mm. Todos los valores de periodo de retorno igualan o superan aunque sea por muy poco el valor del percentil 90 de precipitaciones máximas en 24 horas, lo que muestra que en agosto se pueden presentar eventos extremos con una periodicidad de 10 años (Figura 3.48b).

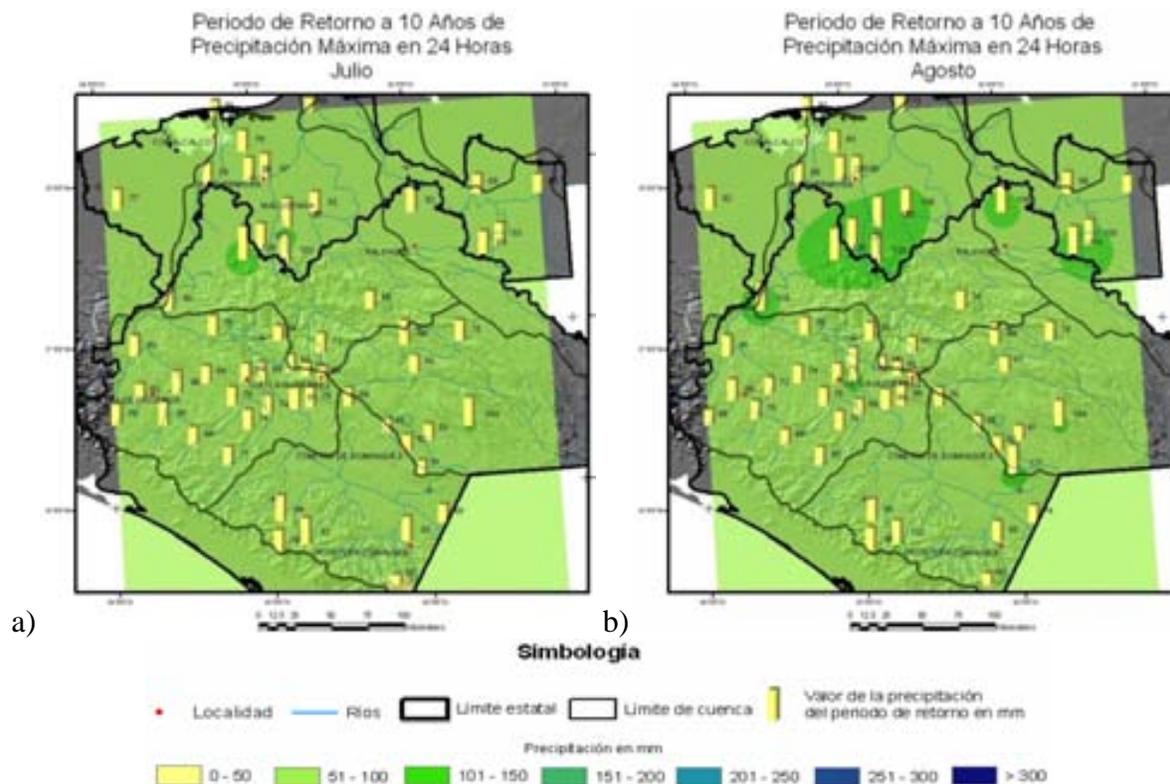


Figura 3.48. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) julio y b) agosto.

En septiembre y octubre la distribución espacial es similar entre sí (Figura 3.49), abarcando una mayor zona los valores elevados de periodo de retorno desde el norte de Chiapas y la totalidad de Tabasco, pero enfatízanosle en octubre, donde los valores son mayores a 100 mm, aunque en las estaciones aledañas a Villahermosa se calculan valores mayores de 150 mm y en el caso particular de la estación *Tapijulapa (27042)* se calcula un valor de periodo de retorno a diez años de 222 mm de precipitación máxima en 24 horas, mientras que el percentil 90 corresponde a 200 mm, con lo cual se ve superado por mucho, así como el resto de las estaciones que también igualan o superan los valores de eventos extremos aunque sea por algunos milímetros de lluvia.

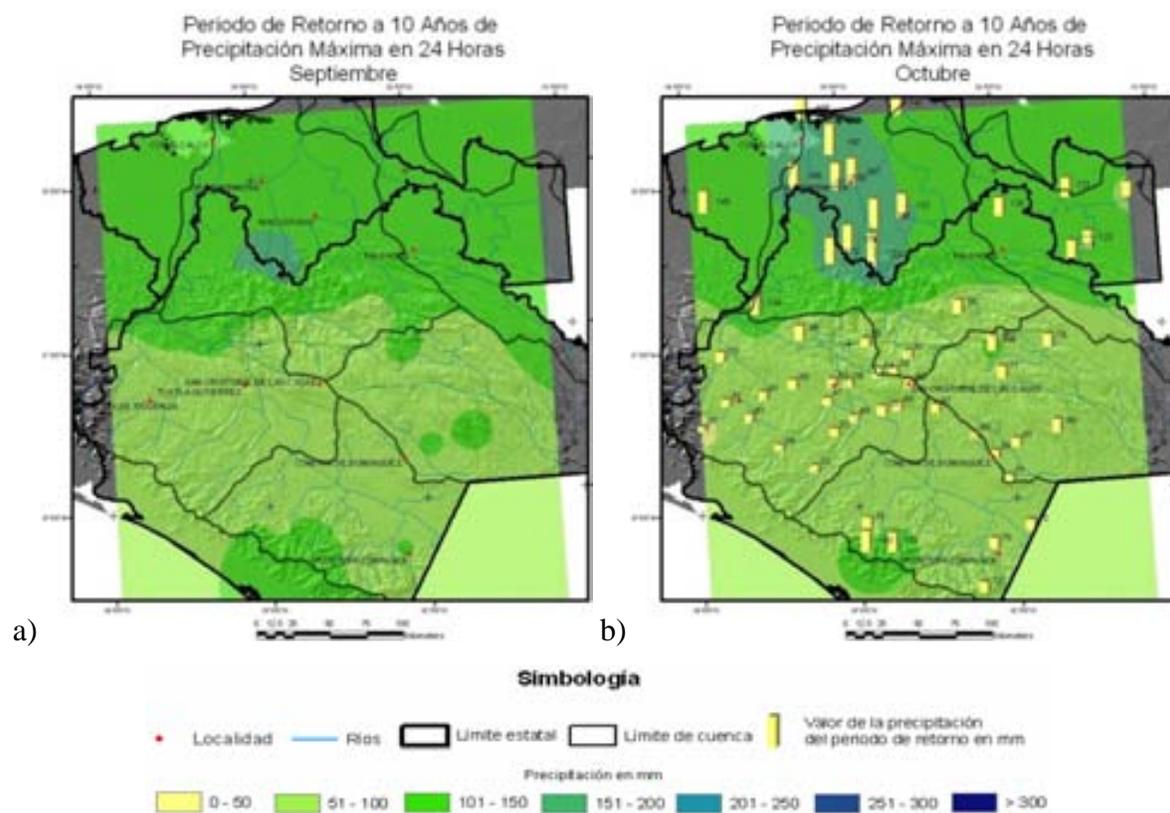


Figura 3.49. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) septiembre y b) octubre.

En noviembre y diciembre (Figura 3.50) el periodo de retorno a diez años se manifiesta de manera diferente ya que los mayores valores se concentran en el norte de la región, para Tabasco se calculan precipitaciones mayores a 100 mm, mientras que en el norte de Chiapas oscila entre los 50 y 100 mm de precipitación, en las cuencas ubicadas más al sur

de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (Lacantún y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez) los valores son inferiores a 50 mm, lo que concuerda con los sistemas invernales como los frentes fríos en la zona Norte de la región hidrológica. Ya hacia diciembre en el estado de Chiapas los valores son muy inferiores, cercanos a 0 mm. La relación entre los valores de periodo de retorno y percentil 90 es más homogénea, siendo iguales o menores las precipitaciones con periodo de retorno de diez años que los valores de eventos extremos, esto para Chiapas, mientras que en Tabasco se ven superados por algunos milímetros, lo que demuestra que en estos meses puede haber situaciones de eventos extremos en ciudades importantes como Villahermosa con una periodicidad de diez años.

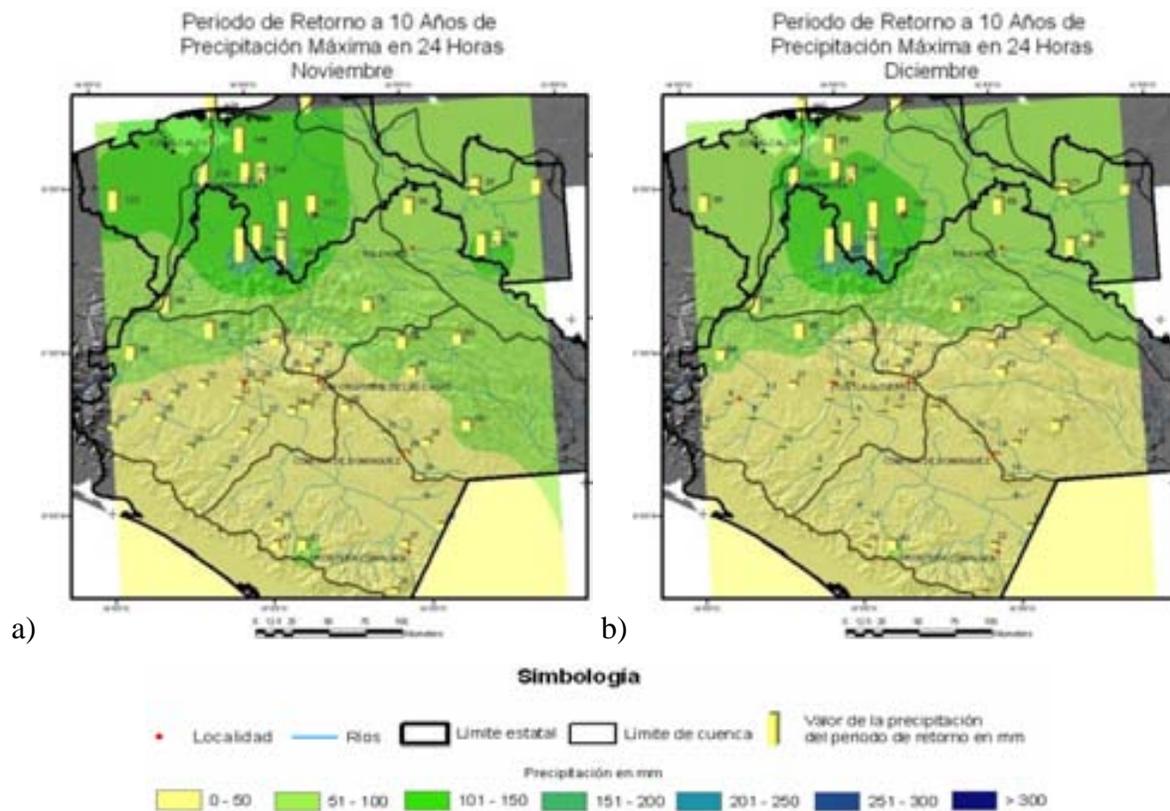


Figura 3.50. Valores de periodo de retorno de precipitación a 10 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre.

3.2.4 Análisis de periodo de retorno a 20 años

En el caso del periodo de retorno a veinte años el comportamiento es muy diferente puesto que todos los valores calculados se encuentran por encima de del percentil 90 de la precipitación máxima en 24 horas que representa los valores considerados como eventos de

precipitación extrema en el presente trabajo, sólo algunos casos aislados permanecen por debajo de este valor. Aunque son mayores en muchos casos es sólo por algunos milímetros. En cuanto a la distribución espacial de la precipitación se comporta de manera similar a los cálculos de periodo de retorno menor, pero en este caso los valores son mayores, y las áreas de mayor precipitación se amplían, siendo más marcada el área de influencia de las precipitaciones que pudieran considerarse como eventos extremos.

En el mes de enero (Figura 3.51) la región hidrológica Grijalva-Usumacinta se divide prácticamente en dos zonas, la del sur que mantiene niveles de precipitación menores a 50 mm como las cuencas de los Ríos Concordia, Lacantún y Grijalva Tuxtla Gutiérrez donde los valores de periodo de retorno van de 1 mm hasta 49 mm, estas precipitaciones aunque superan el periodo de retorno de veinte años no son considerables, en el caso de la zona norte que comprende todo el Estado de Tabasco y la llamada Sierra Norte de Chiapas los valores son mayores de 50 mm, los cuales son de consideración, pero en especial se acumulan fuertes precipitaciones como en la región central del Estado de Tabasco y la estación *Palenque (7126)* los valores calculados son mayores de 100 mm que también sobrepasan los valores calculados como extremos.

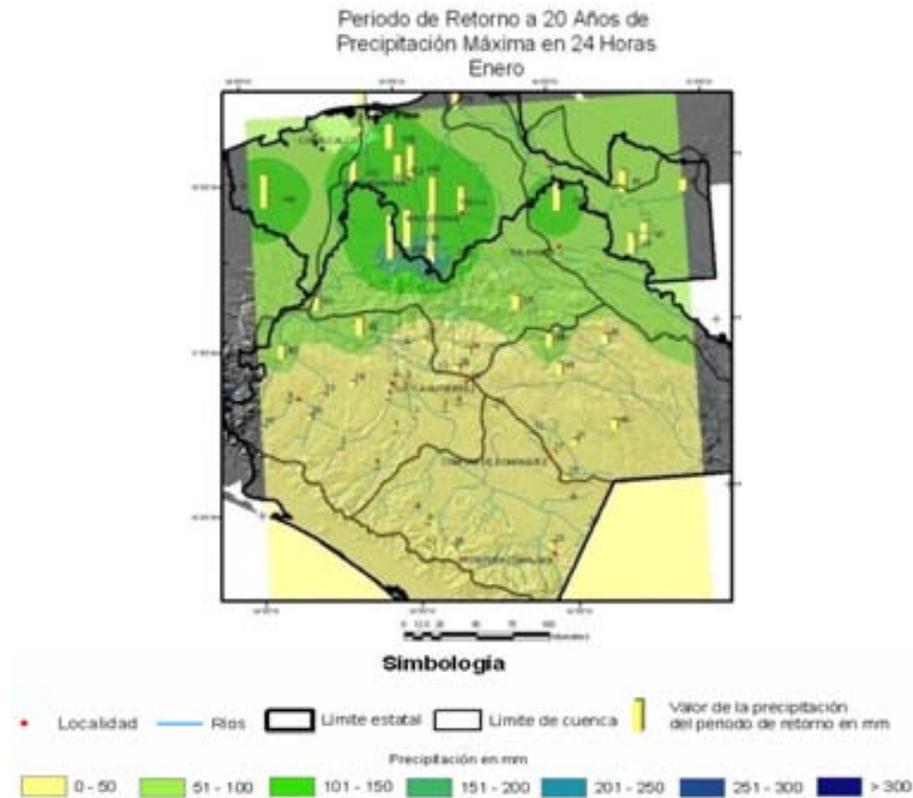


Figura 3.51. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para enero.

En febrero el comportamiento es el mismo, sólo se reduce el área de influencia de las mayores precipitaciones, en Chiapas los valores son menores de 50 mm, mientras que en Tabasco se mantienen mayores a 50 mm en la mayor parte y los valores mayores de 100 mm se concentran en una región más pequeña al sur de Villahermosa. En marzo el área de influencia de los valores mayores a 50 mm se amplía hacia el sur, abarcando una mayor parte de la cuenca del Río Lacantún en el estado de Chiapas, que aunque mantiene valores menores a 50 mm se percibe un incremento en los valores de periodo de retorno en las estaciones ubicadas en las cuencas Grijalva-Concordia y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez (Figura 3.52).

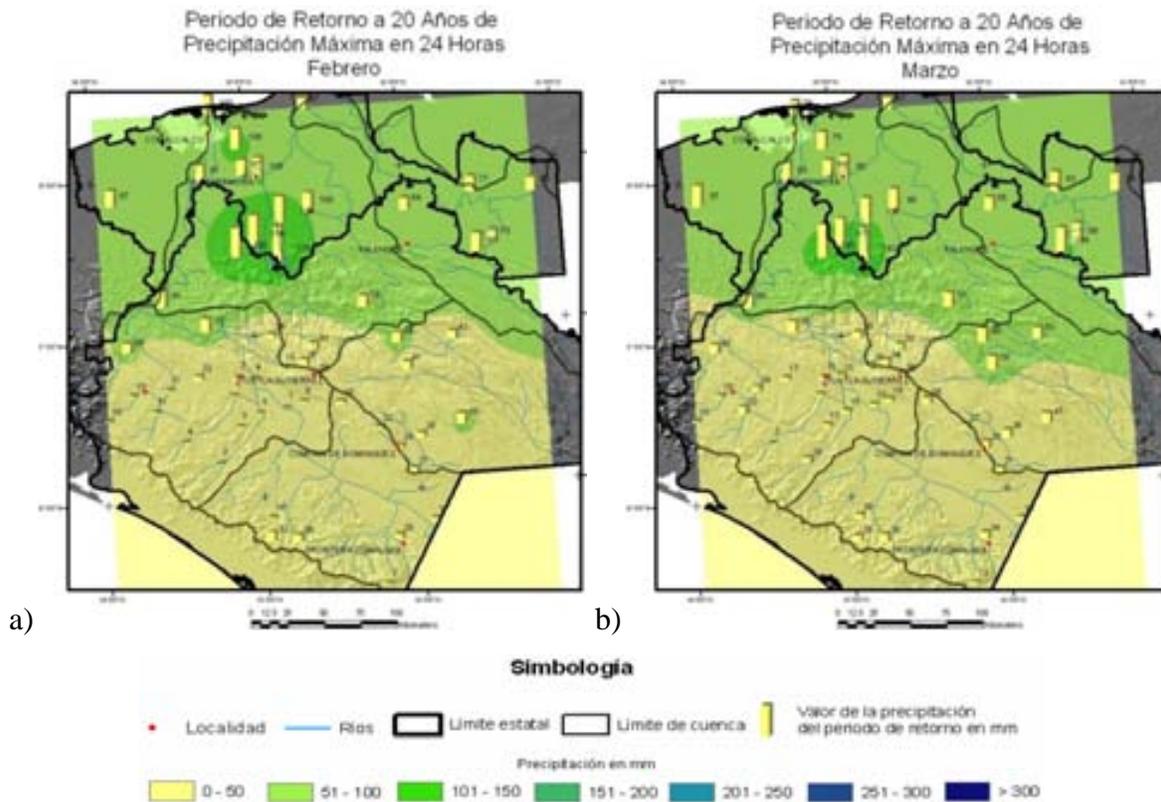


Figura 3.52. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) febrero y b) marzo.

El comportamiento cambia drásticamente en abril (Figura 3.53a), porque los valores de periodo de retorno aumentan en toda el área de estudio, en Chiapas un mayor número de estaciones se ve comprendida dentro del área con valores mayores de 50 mm, como la cuenca del Río Lacantún en su totalidad y parte de la cuenca del Río Grijalva-Concordia, que en meses anteriores se mantuvo con valores menores de 50 mm. Tabasco en su totalidad continúa con valores mayores de 50 mm, pero siendo mayor el área que abarca precipitaciones mayores de 100 mm, estos valores de periodo de retorno superan siempre los correspondientes a los eventos extremos, las precipitaciones calculadas que aunque son de consideración, son resultado del comienzo de la temporada lluviosa en Chiapas.

En mayo continúa la tendencia positiva de los valores de periodo de retorno (Figura 3.53b), siendo más marcada la temporada de lluvias en la región, para este mes en particular los valores de precipitación en toda la región hidrológica, en las cuencas que anteriormente se mostraban con precipitación menor a 50 mm para mayo se nota un incremento substancial

puesto que todas las estaciones indican precipitaciones superiores a los 50 mm, a su vez la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa también registra precipitaciones mayores a 100 mm, lo mismo con la cuenca del Río Chixoy. Los valores de periodo de retorno en este mes superan considerablemente los considerados como eventos extremos, un ejemplo de esto es la estación *Santa María (7156)* en la cuenca Grijalva-Tuxtla Gutiérrez en la que se considera un evento extremos una precipitación máxima en 24 horas mayor de 83 mm y se calcula un periodo de retorno de veinte años de 143 mm, lámina que supera por mucho una precipitación extrema.

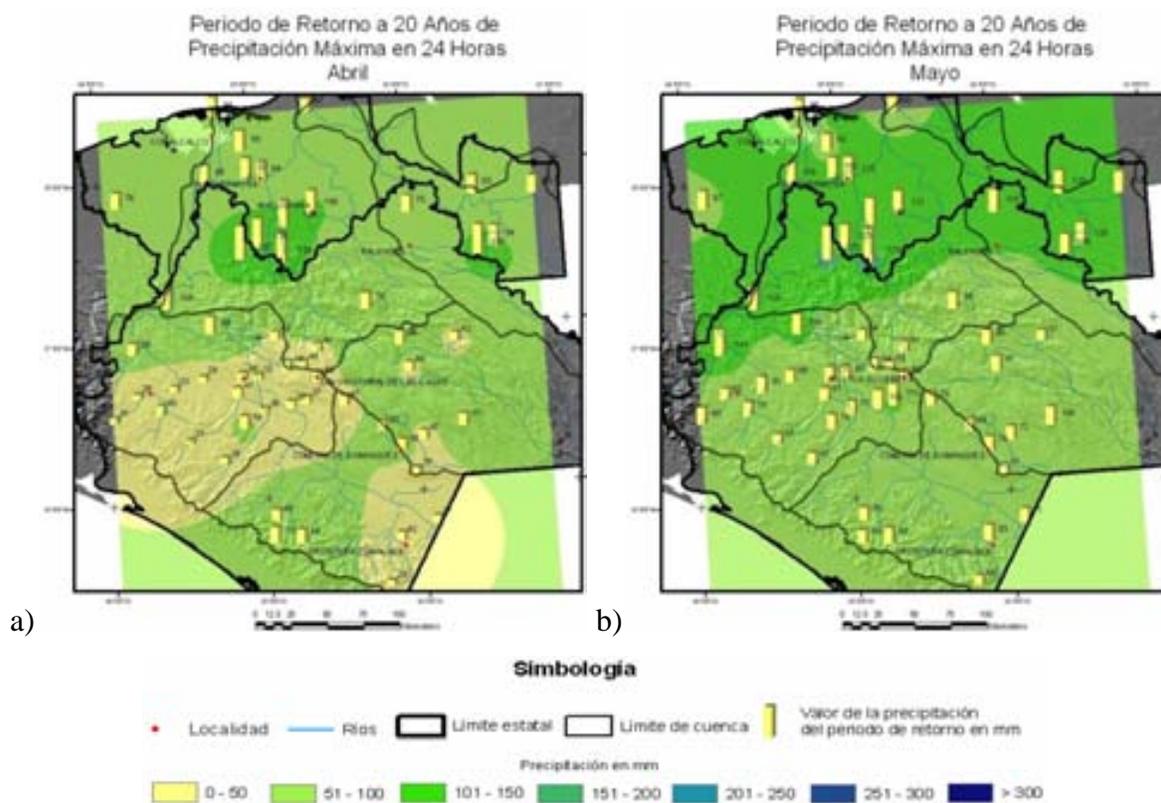


Figura 3.53. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) abril y b) mayo.

En junio siguen incrementando los valores calculados de periodo de retorno (Figura 3.54a), en la cuenca Grijalva-Tuxtla Gutiérrez todas las estaciones están por encima de los 50 mm y algunas como la estación *Acala (7003)* que sobrepasan los 100 mm, el cual también sobrepasa el valor considerado como evento extremo por 10 mm. En la cuenca Grijalva-Villahermosa y Chixoy todos los valores superan los 100 mm siendo superiores a los

valores de eventos extremos, esto refleja que en junio toda la región Grijalva-Usumacinta tiene fuertes precipitaciones, que proyectadas a un periodo de retorno de veinte años pueden traducirse en eventos extremos de precipitación máxima en 24 horas.

Durante julio los valores de periodo de retorno a veinte años disminuyen en toda la región hidrológica (Figura 3.54b), manteniéndose en niveles de entre 50 y 100 mm por lo general a excepción de pequeñas zonas del centro de Tabasco que superan los 100 mm, como en el resto del año se superan los valores de precipitación considerados como extremos, siendo alto el riesgo de que se presente algún fenómeno hidrometeorológico pero menor que el mes anterior donde los registros son más altos.

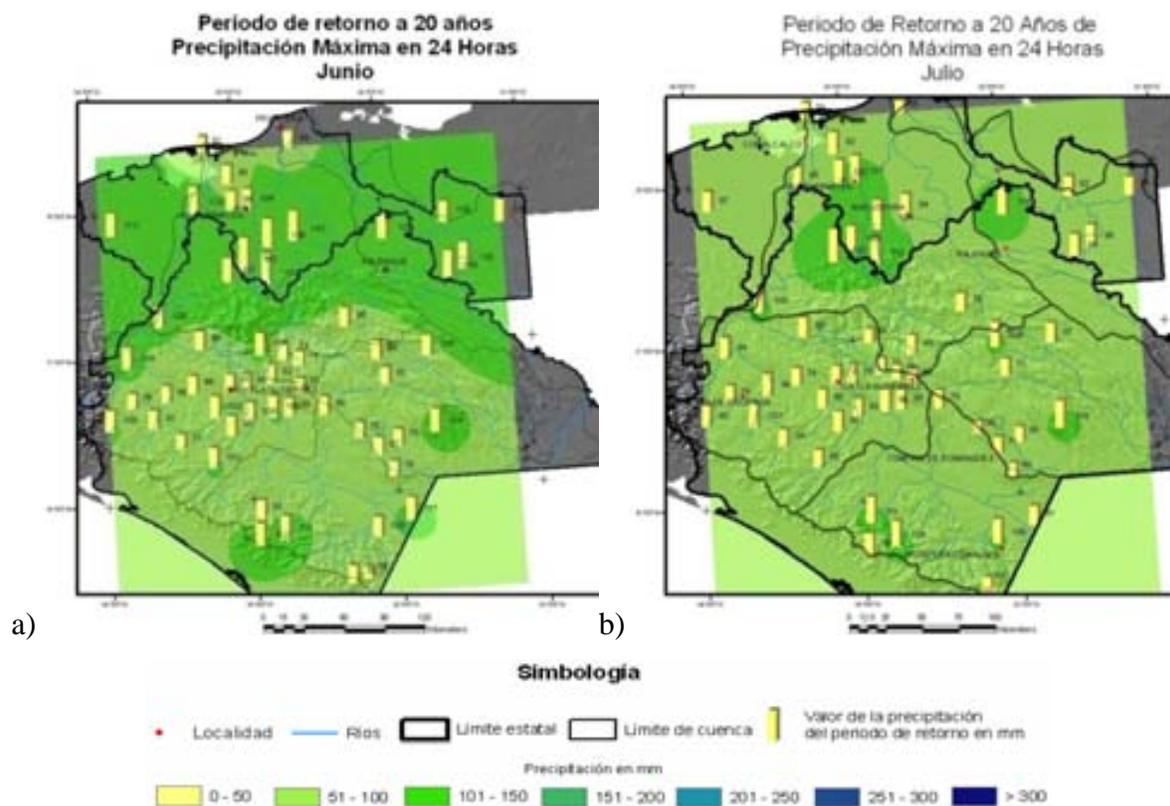


Figura 3.54. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) junio y b) julio.

En agosto y septiembre nuevamente se incrementan los valores (Figura 3.55) de periodo de retorno a veinte años en todas las cuencas de la región, todas las estaciones muy por encima de los 50 mm y reiteradamente el Estado de Tabasco es el que presenta mayores valores de precipitación, aunque en Chiapas también se pueden notar valores cercanos a los

100 mm como en la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Concordia, donde estaciones algunas estaciones de la Sierra del Sur de Chiapas superan los 100 mm al igual que todas las estaciones de las cuencas de Grijalva-Villahermosa y Chixoy. En septiembre la tendencia continúa, predominando el área de influencia de los valores de periodos de retorno superiores a 100 mm, promediando 122 mm en toda la región hidrológica Grijalva-Usumacinta, sólo en la parte central de Chipas se encuentran valores menores de 100 mm. Todos los registros superan cuantiosamente los valores considerados como extremos de precipitación, siendo estos meses de los más riesgosos en cuanto la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, puesto que toda la zona de estudio recibe aportaciones cuantiosas de precipitación, pudiendo llegar a saturar los ríos de la región, este escenario se plantea con una periodicidad de 20 años.

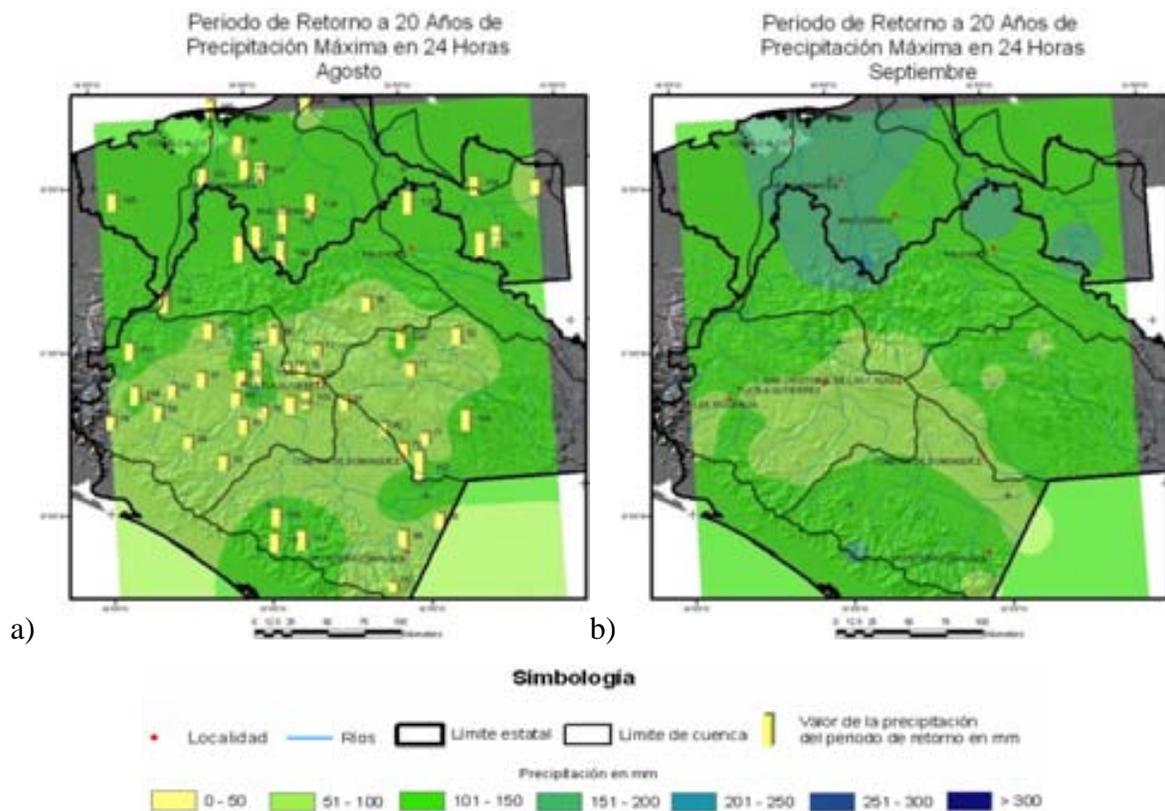


Figura 3.55. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) agosto y b) septiembre.

Durante octubre (Figura 3.56) la distribución espacial de la precipitación se modifica fuertemente debido a que hacia la parte norte de la región Grijalva-Usumacinta aumentan

considerablemente los valores de periodo de retorno específicamente en la cuenca Grijalva-Villahermosa y Chixoy, mientras que en el resto de las cuencas de la región se nota una disminución considerable a valores entre 50 y 100 mm de precipitación máxima en 24 horas. En la subprovincia fisiográfica llamada Llanura y Pantanos Tabasqueños se registran los mayores valores de periodo de retorno a veinte años con valores que superan fácilmente los 150 mm, llegando a una nueva categoría mayor de 200 mm, que no se había presentado en meses anteriores o cálculos de periodo de retorno inferiores a veinte años. Este contraste de precipitación es consecuencia de sistemas invernales como los frentes fríos que provoca mayores precipitaciones en el Estado de Tabasco, mientras que al sur de la región en Chiapas disminuye por el próximo término de las lluvias estacionales. Todos los valores de periodo de retorno superan ampliamente los del percentil 90, lo que indica que en octubre es muy probable la presencia de eventos extremos de precipitación máxima en 24 horas en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta con una periodicidad de veinte años.

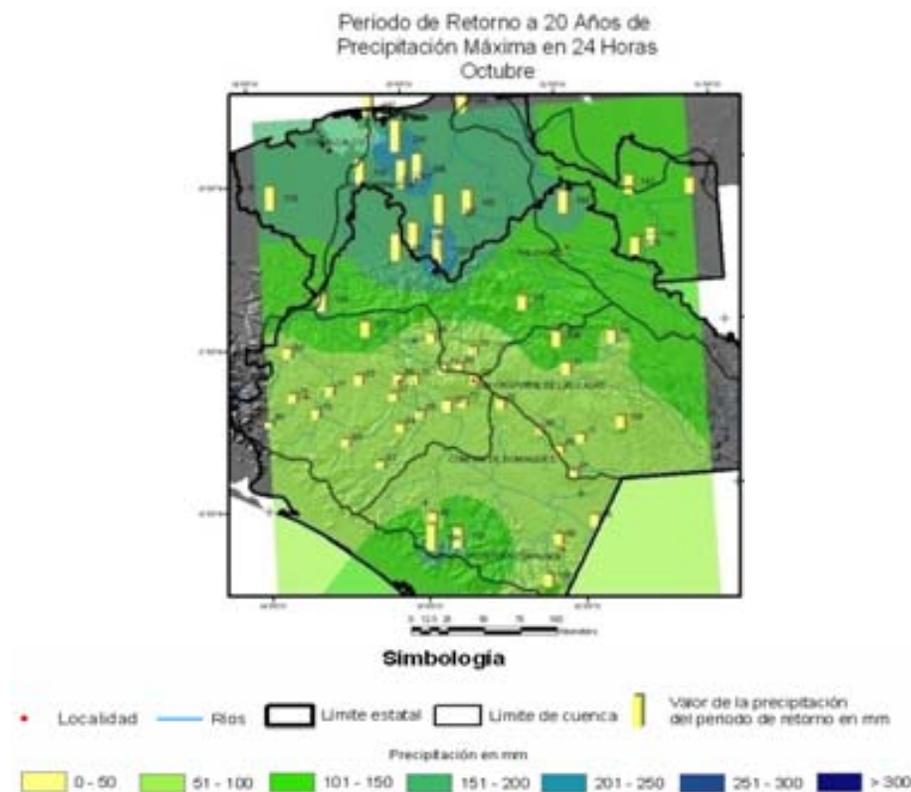


Figura 3.56. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para octubre.

Durante noviembre y diciembre (Figura 3.57) el valor del periodo de retorno de veinte años disminuye considerablemente en el estado de Chiapas, en las cuencas al sur de la región, los valores se encuentran por debajo de los 100 m, aunque en las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy se mantienen por encima de los 100 mm, con estaciones a las que se les calcula un valor mayor de 200 mm como las estaciones *Pichucalco (7128)* y *Tapijulapa (27042)*, hacia finales del año en diciembre nuevamente se encuentran valores bajos en las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Concordia alrededor de los 10 mm que aunque superan el percentil 90 no son de consideración, contrario a lo que pasa en las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy que también los superan pero en este caso los valores son de consideración.

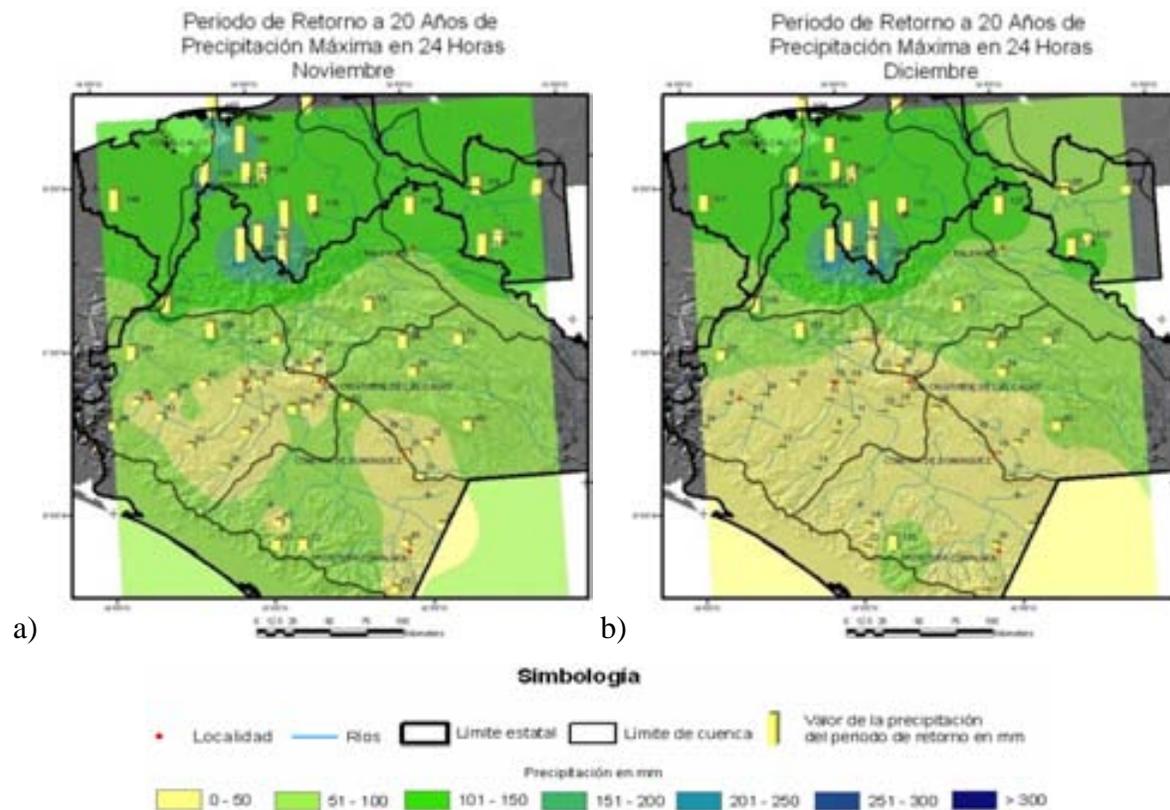


Figura 3.57. Valores de periodo de retorno de precipitación a 20 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre.

3.2.5 Análisis de periodo de retorno a 50 años

En el caso particular de los valores calculados para un periodo de retorno de cincuenta años el escenario es muy diferente, al considerarse todos los valores de la serie histórica de precipitaciones máximas en 24 horas da como resultado que precipitaciones con una periodicidad de cincuenta años son muy escasas, pero posibles dado que los registros máximos de precipitación superan una periodicidad de cincuenta años, esto significa de dentro de la serie de datos trabajada se han presentado en algún momento precipitaciones extremas que coinciden o superan las calculas a repetirse cada cincuenta años, con esto se entiende que absolutamente todos los valores calculados para este periodo de retorno en particular superan ampliamente los valores considerados como eventos extremos de precipitación, en cuanto a la distribución espacial y temporal de estas precipitaciones se hablara a continuación.

Durante los meses de enero y febrero (Figura 3.58) los máximos valores de periodo de retorno se concentran nuevamente en la cuenca del Grijalva-Villahermosa principalmente con valores superiores a los 200 mm y llegando a registrar 278 mm como la estación *Tapijulapa (7042)* que supera el percentil 90 (165 mm) pero no es tan alto como el valor máximo histórico de precipitación en 24 horas que es de 315 mm, este es sólo un ejemplo del comportamiento de la precipitación en este enero en particular, continuando con el análisis espacial se nota una vasta diferencia entre las precipitaciones del norte (Grijalva-Villahermosa y Chixoy) y el sur de la región Grijalva-Usumacinta (Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Concordia) donde están muy por debajo de los 50 mm que aunque superan los valores de eventos extremos no son de consideración dada la cantidad de lluvia en esos meses.

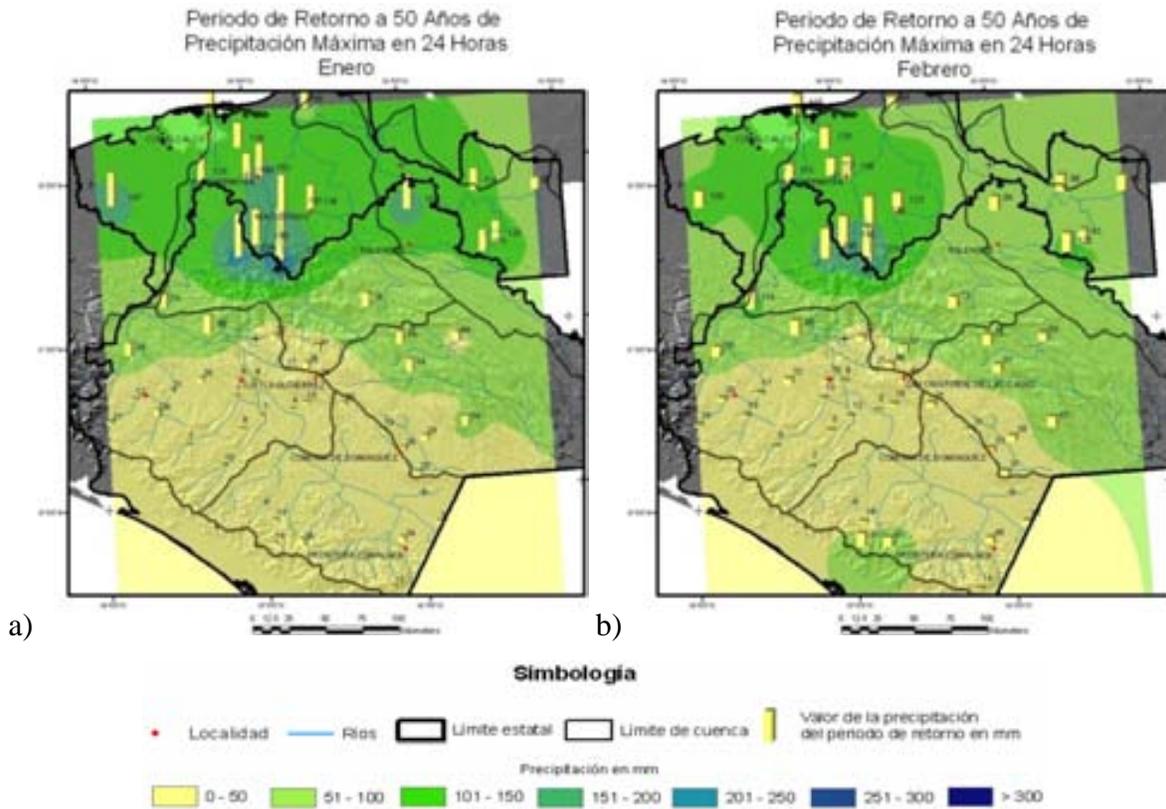


Figura 3.58. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) enero y b) febrero.

En marzo el comportamiento es similar a los meses anteriores (Figura 3.59a), sólo se percibe un ligero decremento en los valores de periodo de retorno en las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy a la par de un leve incremento en las cuencas al sur de la región pero siguen con valores menores a 50 mm.

Abril muestra un cambio radical al encontrarse valores de periodo de retorno por encima de los 50 mm en toda la región Grijalva-Villahermosa, en las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy sigue por encima de los 100 mm pero muestra una mayor homogeneidad, en el resto de la región los valores aumentan respecto a meses anteriores, pero sin ser de consideración. Todos los valores como es normal para un periodo de retorno de cincuenta años superan por mucho los calculados para el percentil 90, pero no supera los máximos históricos de la serie de datos trabajada (Figura 3.59b).

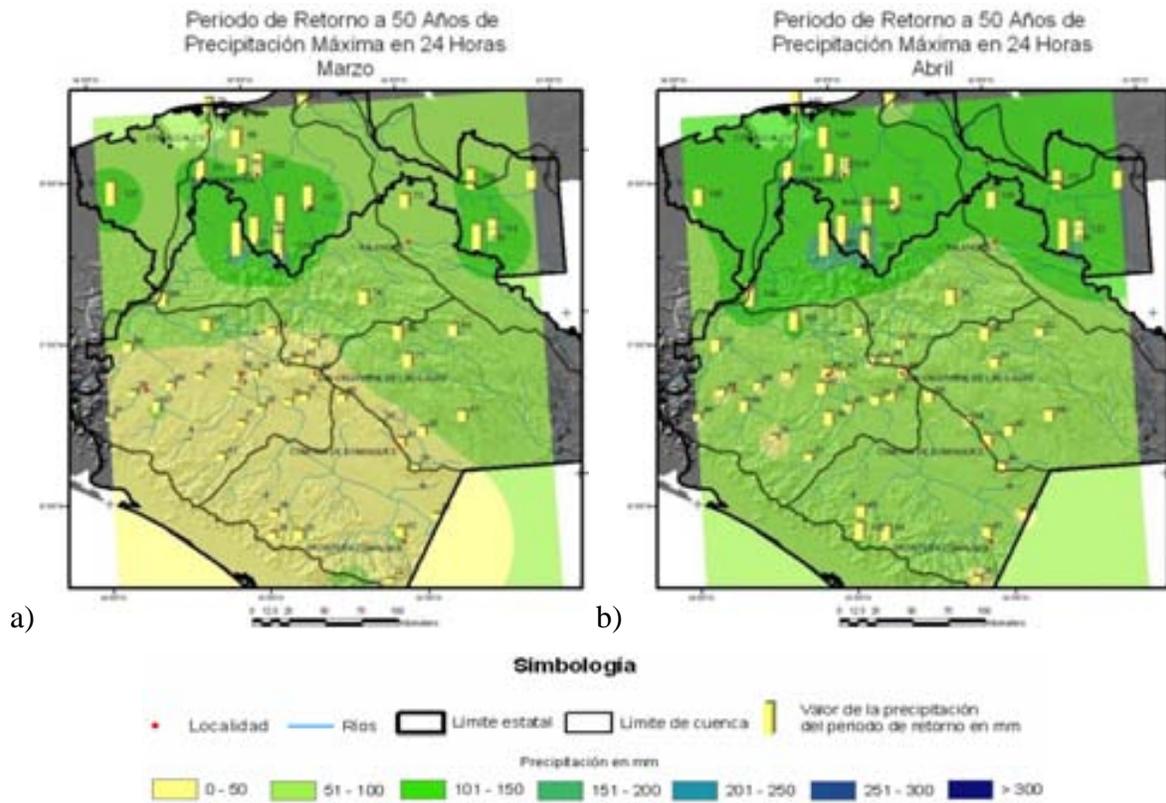


Figura 3.59. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) marzo y b) abril.

A partir de mayo nuevamente hay un repunte en los valores de periodo de retorno en toda la región Grijalva-Usumacinta superando los 50 mm y aumentando el área de influencia de los 100 mm abarcando la totalidad de las cuencas Grijalva-Villahermosa y Chixoy y parte de la cuenca Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Lacantún, ya para junio todas las estaciones registran valores de periodo de retorno superiores a los 100 mm a excepción de algunas en la parte media y sur de la región, en este caso se nota cierta uniformidad en los valores de toda la región hidrológica (Figura 3.60). Los valores considerados como extremos son superados ampliamente por los calculados para un periodo de retorno de cincuenta años, mientras que sólo algunas superan los máximos históricos de la serie histórica como la estación *Jalpa de Méndez* (27020).

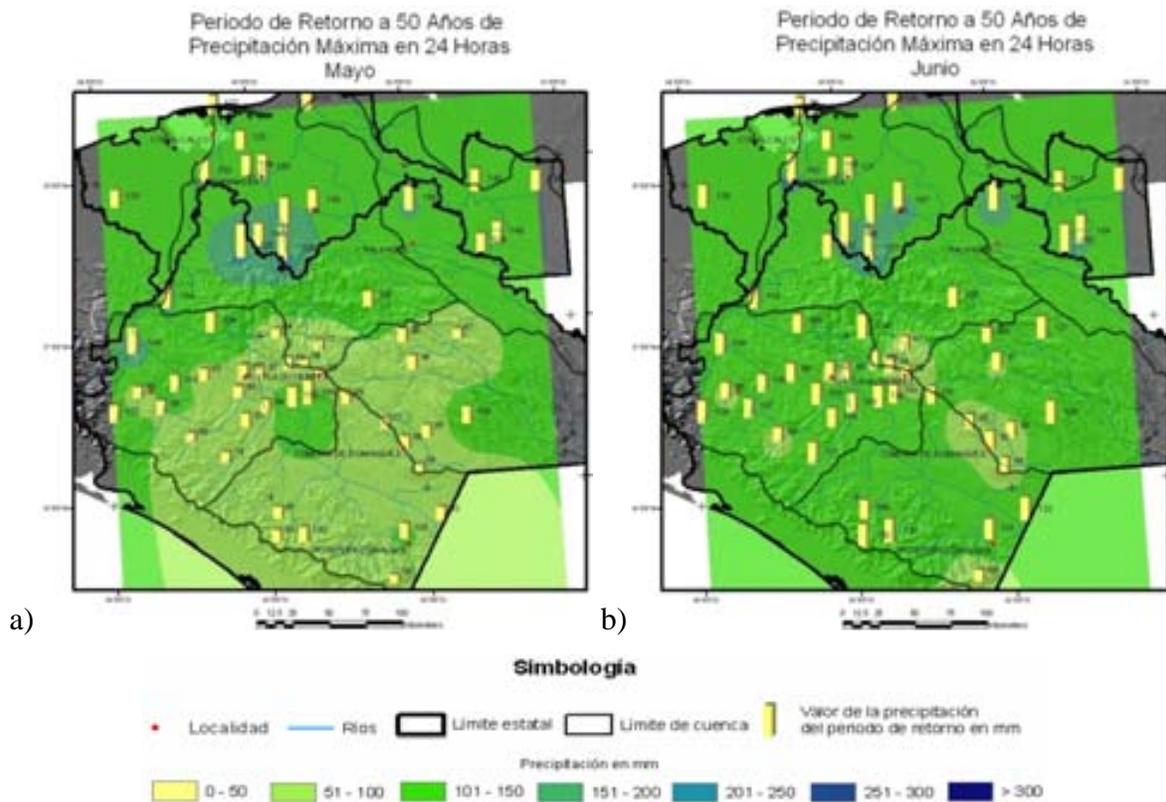


Figura 3.60. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) mayo y b) junio.

Durante julio una vez más cambia drásticamente la configuración espacial de la precipitación al disminuir en gran parte de la región, haciéndose más marcada el área de influencia de los valores de periodo de retorno menores de 100 mm en las cuencas del sur de la región Grijalva-Usumacinta, en general disminuye tanto la precipitación máxima histórica, periodo de retorno y valores extremos, por lo que los valores de periodo de retorno no superan los máximos históricos, lo que mantiene una calma relativa en julio, hablando de precipitaciones con una periodicidad de cincuenta años (Figura 3.61a).

En agosto hay un repunte en los valores de periodo de retorno, abarcando casi toda la región hidrológica los valores superiores a 100 mm, siendo similares en todas las estaciones climatológicas, debido al incremento de las precipitaciones en agosto los valores de periodo de retorno no superan los máximos históricos, pero obviamente si los considerados como extremos, esto significa que en todas las estaciones del área de estudio superan el percentil 90, pero se han presentado a lo largo de la serie histórica de datos precipitaciones máximas

en 24 horas mayores a las calculadas para una periodicidad de cincuenta años (Figura 3.61b).

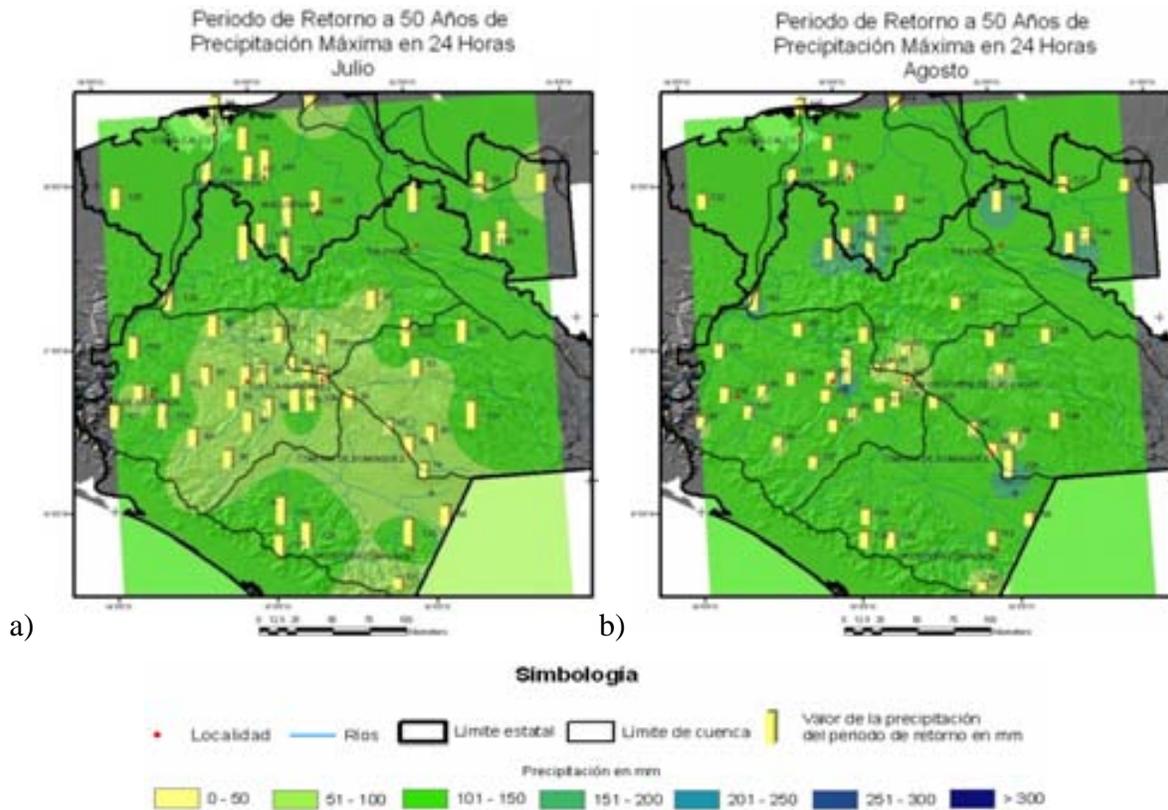


Figura 3.61. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) julio y b) agosto.

A partir de septiembre se presentan la mayores precipitaciones en Tabasco, esto se ve claramente al observar los valores de periodo de retorno de cincuenta años, puesto que se incrementan drásticamente los valores, superando los 150 mm y en casos aislados superan los 200 mm, mientras que en el resto de la región hidrológica se mantienen por encima de los 100 mm, lo que indica un importante aporte de precipitación en la totalidad de la región Grijalva-Usumacinta, haciéndola vulnerable a eventos extremos de precipitación, debido a que septiembre es el mes con más altos niveles de precipitación histórica también aumentan los valores considerados como extremos, pero estos no llegan a superar los valores de precipitación máxima en 24 horas (Figura 3.62a).

Durante octubre los máximos valores de periodo de retorno se concentran en la cuenca Grijalva-Villahermosa superando los 250 mm como la estación *Tapijulapa (27042)* que

registra un valor de periodo de retorno de 265 mm y un valor máximo de precipitación en 24 horas de 256 mm, lo que indica que una precipitación como la máxima registrada en la serie histórica de datos podría tener una periodicidad de cincuenta años, mientras que en Chiapas se mantiene valores inferiores al mes anterior notándose nuevamente el área de influencia de valores por debajo de 100 mm que no superan en a los máximos históricos (Figura 3.62b).

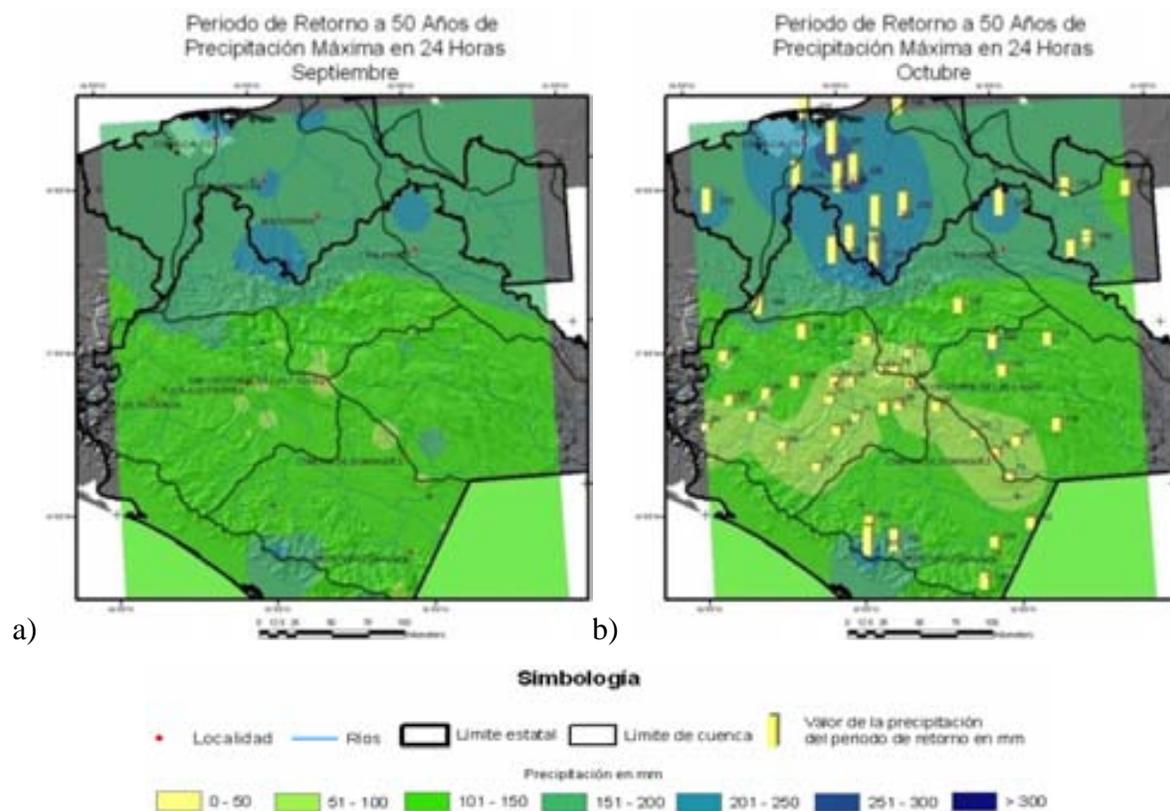


Figura 3.62. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) septiembre y b) octubre.

Hacia finales del año en durante noviembre y diciembre (Figura 3.63) disminuyen los valores de periodo de retorno, regresando las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Lacantún y Grijalva-Concordia a registros inferiores a 100 mm, en cuanto a Tabasco sigue manteniendo valores muy elevados pero ligeramente menores, ya en diciembre pueden percibirse valores inferiores de 50 mm en la Sierra Sur de Chiapas, Depresión Central y Altos de Chiapas, con una disminución gradual hacia el norte a excepción de la zona que mayores registros ha presentado, la de las estaciones de *Palenque (7126)*, *Tapijulapa*

(27042) y Teapa (27044) que siguen siendo superiores a 200 mm. Ninguno de los valores de periodo de retorno a cincuenta años supera los valores de precipitación máxima histórica, lo que muestra que heterogéneo comportamiento espacial de la precipitación en estos meses, pero su periodicidad se encuentra por debajo de los cincuenta años.

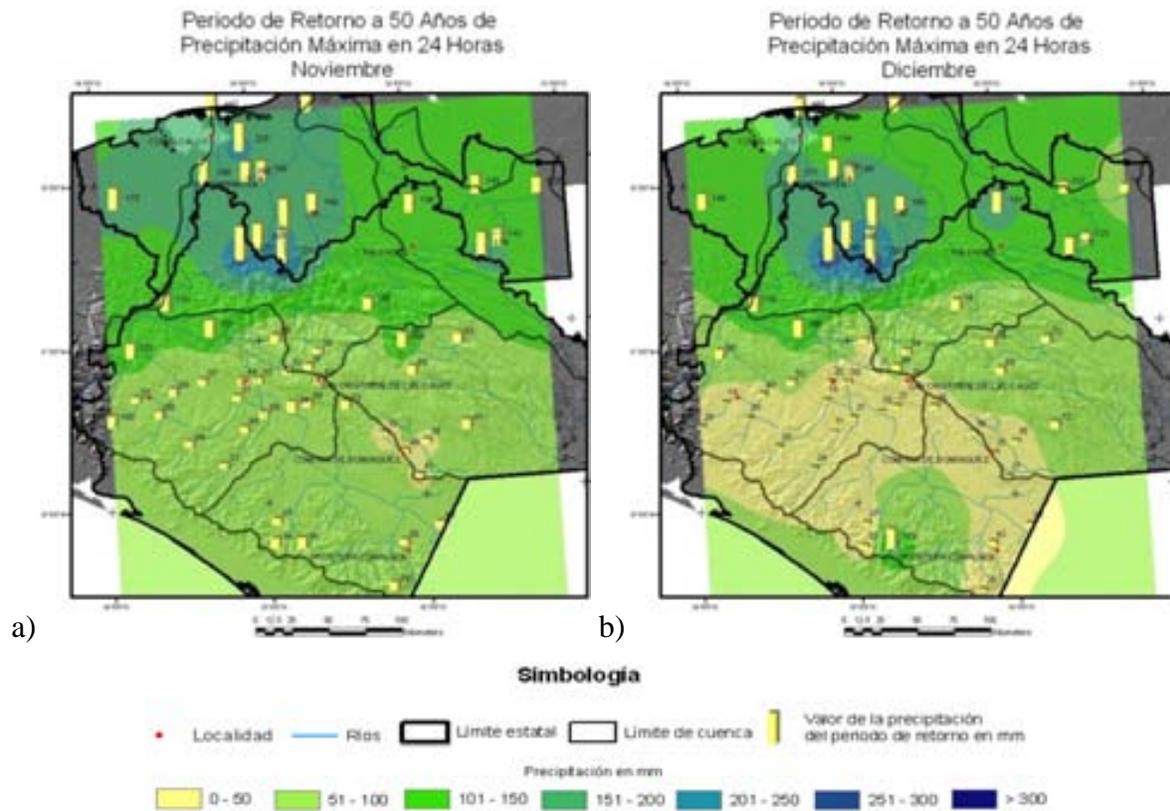


Figura 3.63. Valores de periodo de retorno de precipitación a 50 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre

3.2.6 Análisis de periodo de retorno a 100 años

En el caso del periodo de retorno a 100 años los valores proyectados son obviamente mayores que las precipitaciones consideradas como evento extremo debido a que son valores de precipitación que tendrán una periodicidad muy prorrogada, estos valores también coinciden en muchos de los casos con los valores de precipitación máxima histórica en 24 horas registrados, con lo cual se entiende que se han presentado a lo largo de la serie de datos histórica precipitaciones que se verán igualadas en un periodo de 100 años, aunque también se presenta el caso que las precipitaciones históricas superan ampliamente el valor de periodo de retorno de 100 años, por lo que se asume que se tienen registros de precipitaciones extremas que superan este periodo de retorno en particular y han sido tan intensas que pudieran llegar a tener una periodicidad de 500 años aproximadamente.

La distribución espacial y temporal del periodo de retorno a 100 años es similar a los anteriores, sólo que los valores se incrementan bastante, en el caso de enero (Figura 3.64a) se identifican valores muy elevados en el estado de Tabasco, superando en algunas regiones los 200 mm, mientras que sucede lo contrario en Chiapas en las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Concordia específicamente, en las cuales todas las estaciones registran valores inferiores a 50 mm, en febrero (Figura 3.64b) disminuyen un poco los valores en la parte norte de la región Grijalva-Usumacinta y en la parte sur muestran un ligero incremento como la cuenca Grijalva-Concordia donde ya se encuentran valores de periodo de retorno superiores a 50 mm. Estos valores en su totalidad superan los calculados como eventos extremos, aunque son superados, no son de consideración en Chiapas dado las bajas cuantías de precipitación, a su vez en Tabasco la situación es diferente dado que algunos de los meses con menor precipitación en el Estado presentan precipitaciones de consideración, que pudieran dar lugar a diferentes desastres.

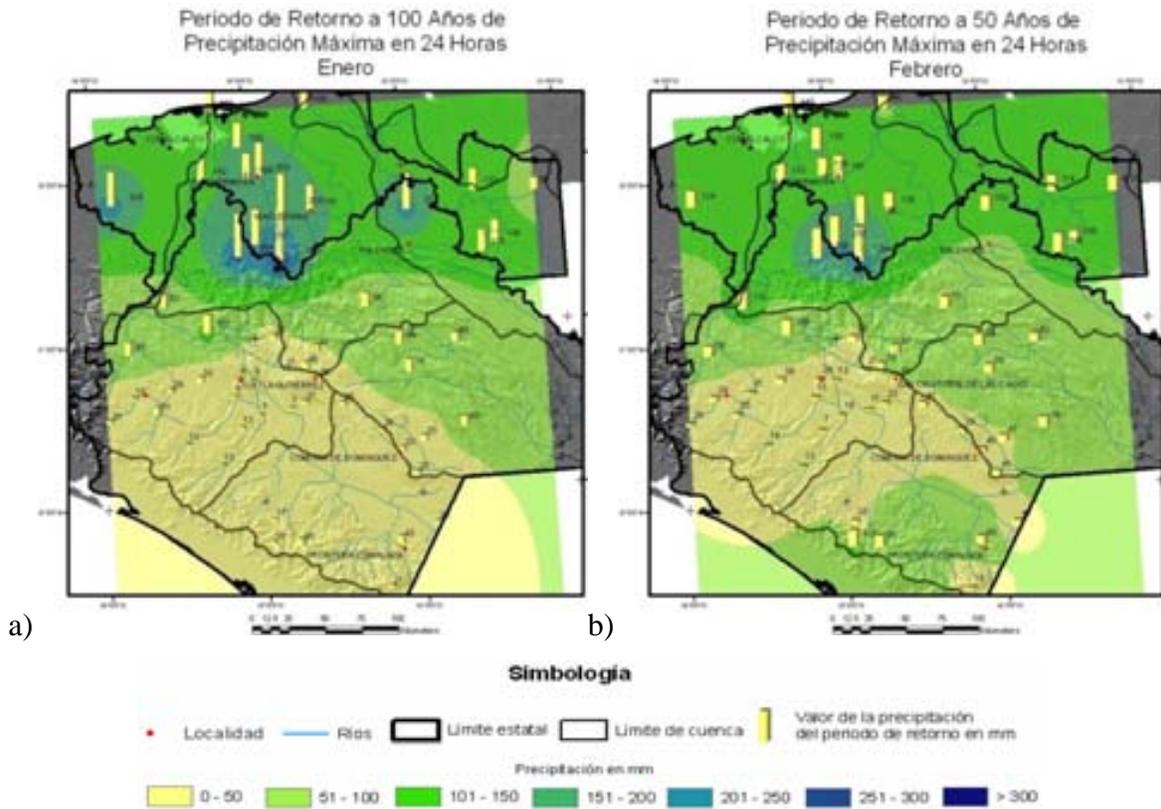


Figura 3.64. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) enero y b) febrero.

Durante marzo (Figura 3.65a) la tendencia es la misma que los meses anteriores, ampliándose la zona de influencia de los valores superiores a 50 mm y abarcando casi la totalidad del Estado de Chiapas, en cuanto a los valores en Tabasco siguen disminuyendo ligeramente, lo que indica una mayor estabilidad en la región hidrológica, esto también es advertido porque los valores de periodo de retorno son similares a los máximos históricos lo que indica que las mayores precipitaciones que han tenido lugar en los meses de marzo dentro de la serie histórica pudieran presentarse cada cien años, sólo algunas estaciones aisladas presentarían precipitaciones con una periodicidad mayor.

En abril (Figura 3.65b) comienzan a repuntar los valores de periodo de retorno en toda la región Grijalva-Usumacinta, puesto que superan los 50 mm todas las estaciones y a partir de la Sierra Norte de Chiapas son mayores a 100 mm y valores muy altos como en la estación *Pichucalco* (7128) donde se calcula un periodo de retorno a 100 años de 239 mm cuando en esa estación en este mes en particular se ha llegado a presentar una precipitación

máxima en 24 horas de 221 mm, lo que indica que en la estación climatológica de *Pichucalco* no se ha presentado una precipitación mayor a la calculada para una periodicidad de cien años.

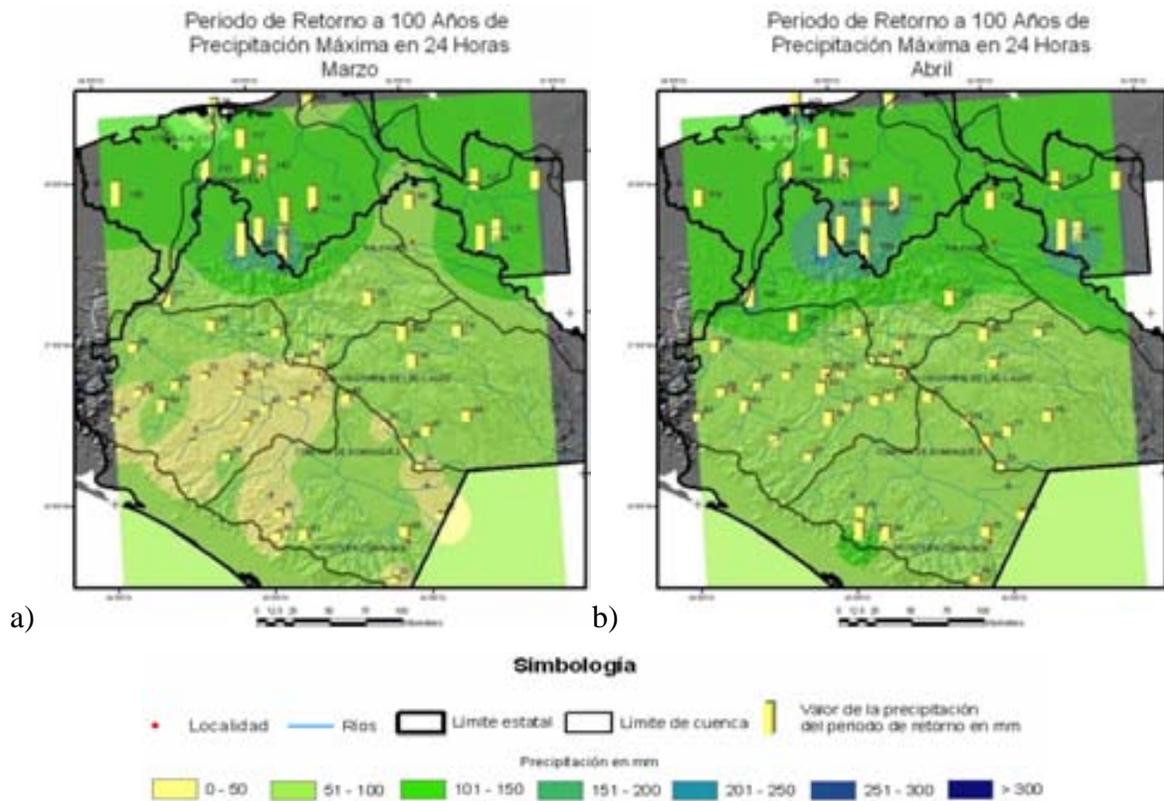


Figura 3.65. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) marzo y b) abril.

En mayo (Figura 3.66) el periodo de retorno continúa a la alza, con valores mayores a 100 mm en Chiapas y superiores a 150 mm en Tabasco, al incrementarse las lluvias en mayo el valor de periodo de retorno también aumenta, pero se mantiene a la par que los valores máximos históricos de precipitación en 24 horas, con lo que se entiende que durante mayo las precipitaciones máximas de la serie histórica tienen una periodicidad de 100 años aproximadamente, aunque existen casos como la estación *Villa de Chiapilla (7034)* que tiene un valor de periodo de retorno de 196 mm, mientras que la precipitación máxima de la serie histórica corresponde a 320 mm, la cual tendría una periodicidad mayor de cien años, se calcula que una precipitación igual podría presentarse cada 500 años.

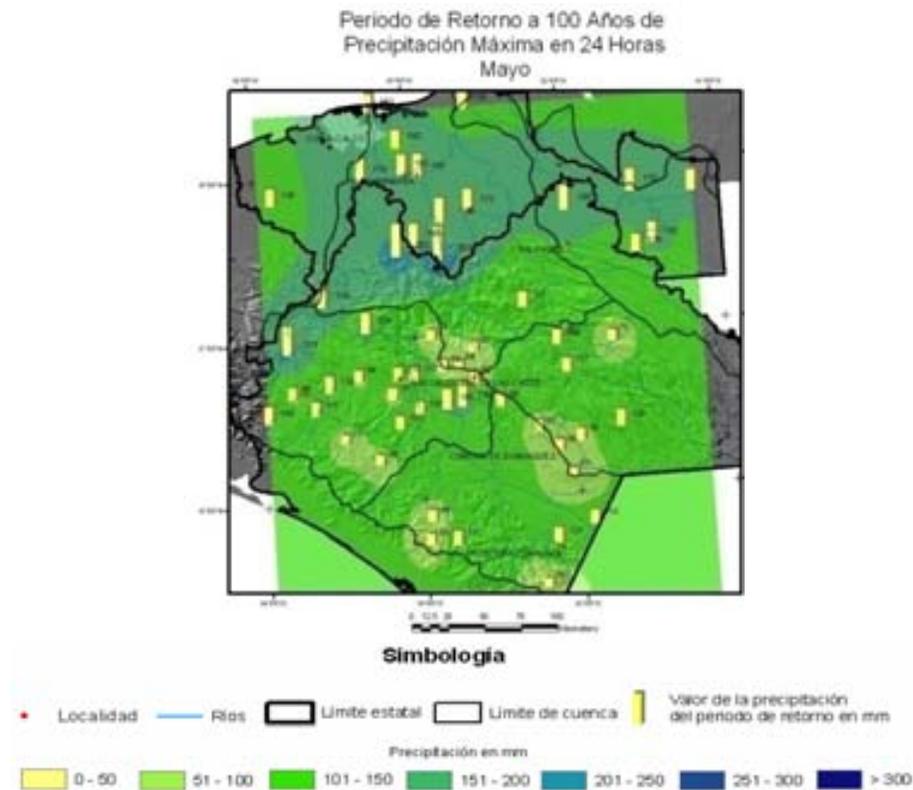


Figura 3.66. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para mayo.

En junio y julio los valores de periodo de retorno son más homogéneos (Figura 3.67) en la región hidrológica superando los 100 mm en las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-Concordia y Lacantún y algunas estaciones climatológicas de la cuenca Grijalva-Villahermosa y Chixoy superan los 150 mm que en julio bajan ligeramente al igual que pequeñas zonas de centro de Chiapas donde son menores de 100 mm

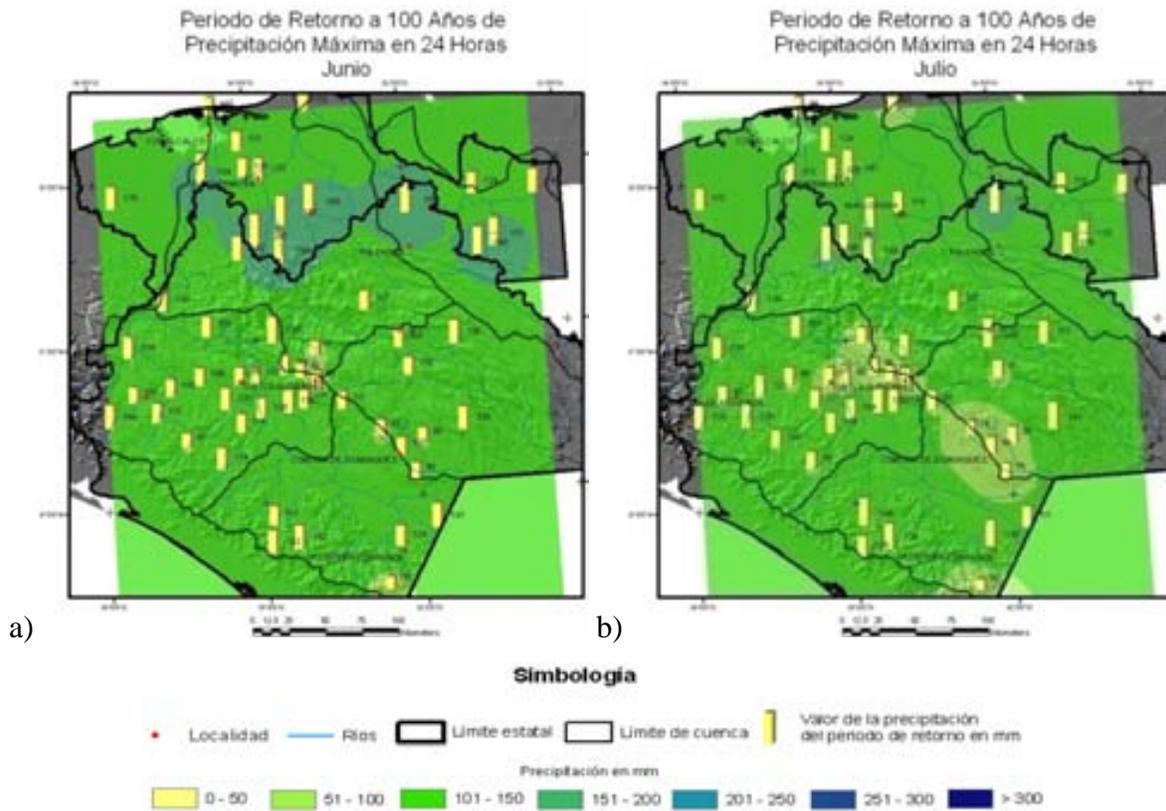


Figura 3.67. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) junio y b) julio.

En agosto (Figura 3.68a) se modifica nuevamente la distribución de las precipitaciones en la región hidrológica, dado que se incrementan considerablemente en todas las estaciones climatológicas, acentuándose en Tabasco con niveles superiores a los 150 mm en el periodo de retorno a cien años, en cuanto a Chiapas también se identifican incrementos en todo el Estado. En general las precipitaciones máximas históricas superan el valor de periodo de retorno, lo que indica que en agosto es muy probable que una precipitación como las más altas registradas se presenten con una periodicidad mayor a cien años, un caso en concreto es el de la estación *Puente Colgante (7134)* en Chiapa de Corso se registró en agosto de 2001 una precipitación máxima histórica de 560 mm que en comparación de el valor de periodo de retorno de cien años (340 mm) es mucho mayor y esta se pudiera presentar con una periodicidad de 500 años.

En septiembre (Figura 3.68b) continua el incremento en las estaciones del estado de Tabasco con una gran área de influencia de valores mayores de 200 mm, lo que muestra la

alta probabilidad de que se presenten precipitaciones extremas en la región, casi todos los valores máximos históricos son mayores que los calculados para un periodo de retorno de cien años, a su vez el Estado de Chiapas continúa con valores superiores a 100 mm, esto da una idea de la cantidad de agua pluvial que recibe la región Grijalva-Usumacinta en este mes en particular.

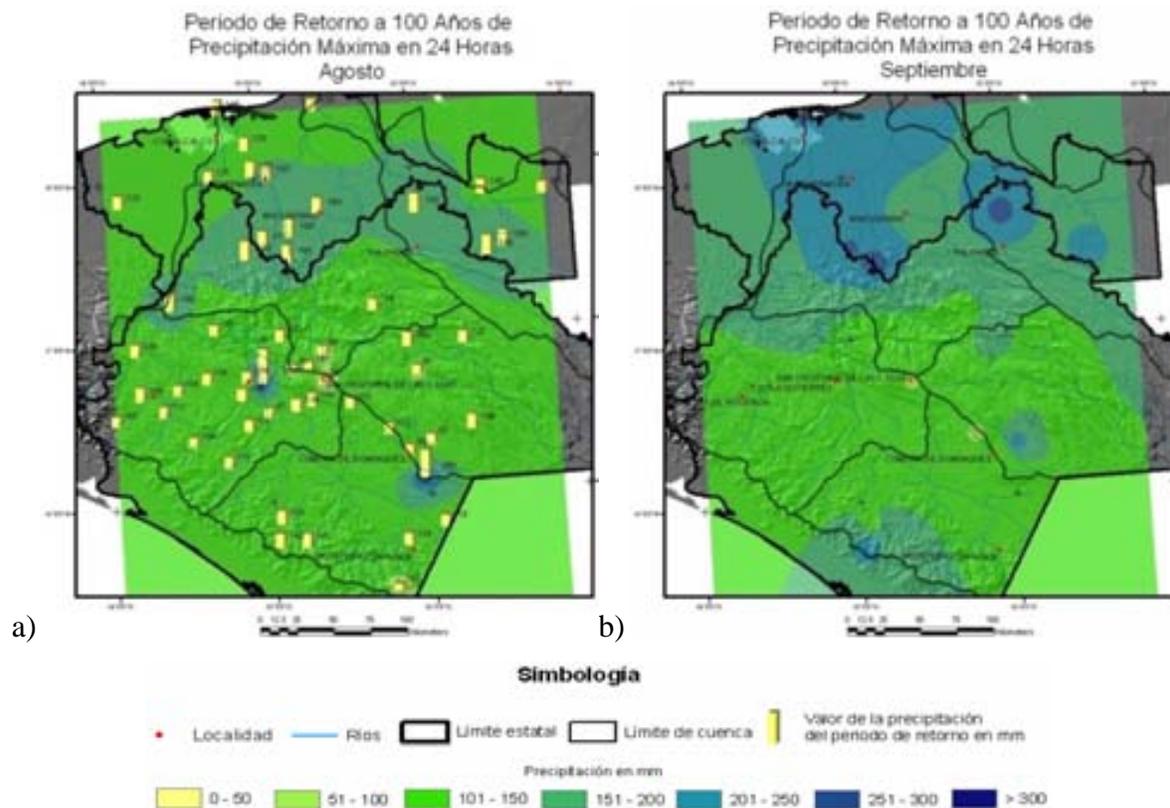


Figura 3.68. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) agosto y b) septiembre.

Durante octubre (Figura 3.69) se acentúa aún más el área con valores de periodo de retorno superiores a 200 mm y especialmente en el centro del Estado de Tabasco, donde se concentran valores superiores a los 250 mm, En las cuencas al sur de la región se distingue un ligero decremento en los valores de periodo de retorno encontrando pequeñas islas con valores menores de 100 mm, por lo general en el mes de octubre es cuando se han registrado los valores máximos históricos de precipitación en 24 horas y supera las precipitaciones calculadas con una periodicidad de 100 años en Tabasco.

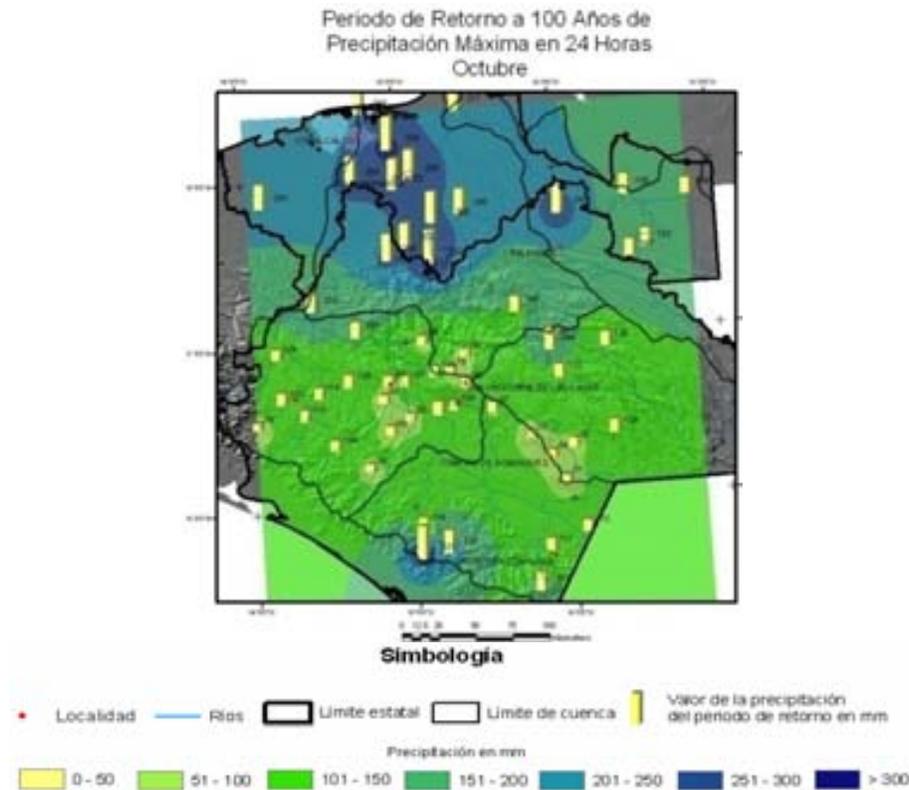


Figura 3.69. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para octubre.

Hacia finales del año, en noviembre y diciembre disminuyen los valores de periodo de retorno (Figura 3.70), en especial en las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-Concordia y Lacantún donde son menores a 100 mm y ya en diciembre inferiores a 50 mm algunas zonas, la cuenca Grijalva-Villahermosa también muestra un retroceso de las precipitaciones aunque mantiene zonas con valores de periodo de retorno mayores a 200 mm, por su parte la cuenca del Río Chixoy también registra valores mayores de 200 mm. En estos meses es fácil distinguir la diferencia de las lluvias estacionales en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta, en el norte, específicamente en Tabasco los valores son elevados por los sistemas invernales que inciden en la cuenca, mientras que al sur en el estado de Chiapas son mínimos como la estación *Acala (7003)* que en diciembre registra un valor de periodo de retorno a cien años de 20 mm, que aunque mínimo es superior al valor de precipitación máxima histórica registrada que es de 16 mm.

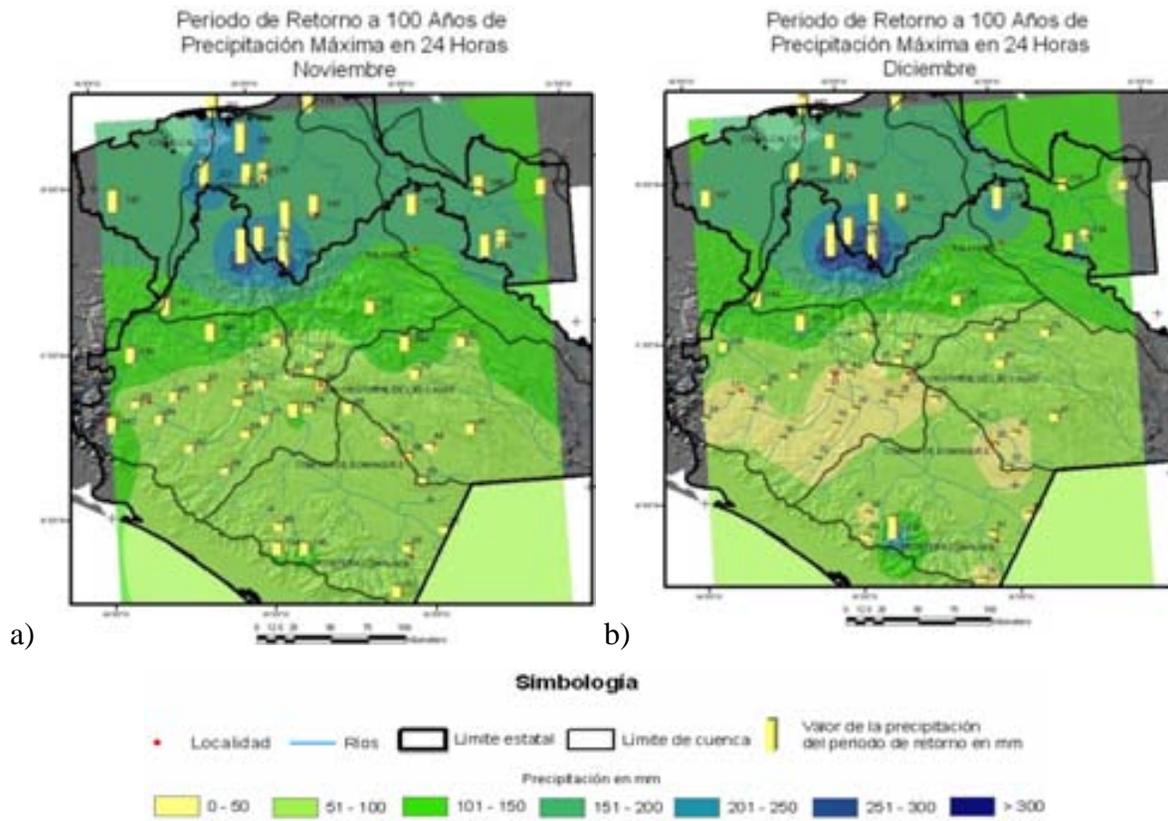


Figura 3.70. Valores de periodo de retorno de precipitación a 100 años en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta para a) noviembre y b) diciembre.

3.3. Trabajo de campo

Las inundaciones de 2007 en Chiapas y Tabasco afectaron las zonas aledañas al Río Usumacinta a lo largo de casi todo su trayecto por el territorio tabasqueño, mientras que el Grijalva se desbordó en zonas bajas, principalmente hacia el centro de Villahermosa. Por lo anterior en junio de 2008 se realizó una visita a la ciudad de Villahermosa, Tabasco, con la finalidad de recabar información y hacer un recorrido por las zonas de mayor afectación a causa de las inundaciones de 2007. En esta salida a campo se identificó la percepción de la población en general, tanto de las zonas afectadas como de los sectores con una mayor altitud, donde las afectaciones fueron mínimas. Se entrevistó a las autoridades locales, tales como representantes de de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) con sede en la capital del Estado para conocer la versión oficial de las acciones tomadas ante tal contingencia, así como los planes de prevención que se implementaron a partir de este fenómeno.

Se realizó un reconocimiento visual de los daños en las zonas marginadas, así como por el Centro Histórico de la ciudad, donde al momento del trabajo de campo se encontraban en marcha acciones preventivas como la colocación de costales de arena, así como de restauración con el fin de proteger la franja turística.

Del mismo modo se visitaron las colonias *Reforma* y *El Águila* principalmente (Figura 3.71), que al encontrarse ubicadas sobre lomeríos, las inundaciones de finales de octubre y principios de noviembre de 2007 no presentaron problemas graves, a excepción de la falta de servicios básicos de forma temporal.



Figura 3.71. Área libre de inundaciones identificada en el levantamiento de campo.

En los reportes oficiales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se indica que las inundaciones se debieron a las intensas precipitaciones generadas principalmente por la presencia del frente frío No. 4 de ese año, aunado a otros factores antrópicos como la alta deforestación en la cuenca. Las personas entrevistadas en los diversos sitios de muestreo denuncian que esa no fue la razón principal de las inundaciones, puesto que una precipitación de esa intensidad es típica de la región en esa época del año.

Los habitantes de las colonias *Reforma* y *El Águila* comentaron que tanto en la ciudad como en el Estado en general llueve mucho en los meses de septiembre, octubre y noviembre, en ocasiones prolongándose hasta finales de diciembre. Los entrevistados hicieron mención de las constantes inundaciones que se presentan en la ciudad a lo largo de toda la época lluviosa, variando en intensidad cada año de acuerdo con los testimonios de los habitantes. Las afectaciones más graves que recuerdan los entrevistados en tiempos recientes, es la inundación de 1999, dónde gran parte de la ciudad quedó bajo el agua, pero comentan que la inundación de 2007 fue mucho más intensa.

Entre las causas que originaron las inundaciones destaca la falta de aplicación de programas de prevención por parte del gobierno estatal y el mal manejo de las presas a lo largo de los ríos de la región.

Una de las colonias más afectadas fue *Las Gaviotas Norte*, ubicada al en la margen oriental del Río Grijalva que atraviesa la ciudad (Figura 3.72). Los pobladores argumentaron que las autoridades locales de Conagua permitieron la salida de agua de las presas río arriba para inundar esa zona “a propósito”. De acuerdo con la percepción de los encuestados, el gobierno tiene planes de desalojarlos para posteriormente construir zonas comerciales en el espacio que estos ocupan actualmente. De igual forma explicaron que la inundación de 2007 no lo causó un evento natural, dado que no es posible que el nivel del agua subiera tan repentinamente.



Figura 3.72. Áreas de inundación identificadas en el levantamiento de campo.

La zona centro de Villahermosa, también afectada, incluyendo el núcleo turístico de la capital, en esta zona la rehabilitación de los servicios se realizó inmediatamente al dirigir la ayuda humanitaria y económica disponible. En contraste, en las zonas relegadas la ayuda no se hizo llegar tan pronto o en su defecto nunca recibieron, este fue el caso de las colonias al sureste de la ciudad, donde se concentraron los mayores daños.

Durante el trabajo de campo se pudo observar que los trabajos de reconstrucción estaban activos en la zona centro de la ciudad, con la colocación de costales rellenos de arena en el margen poniente del Río Grijalva (Figura 3.73), para la contención de una posible elevación del nivel del río, estos trabajos no sucedían en zonas alejadas del núcleo turístico que mantenían el mismo nivel de amenaza.



Figura 3.73. Trabajos de contención realizados en la zona centro de Villahermosa.

Fotografías: Edgar L. Saavedra

En la zona afectada son visibles las marcas dejadas por la inundación (Figura 3.74), las cuales llegan hasta los seis metros de altura en algunas casas de la colonia *Las Gaviotas*. Los testimonios de los habitantes afectados indican que a ocho meses de la inundación no podían reponerse de los estragos que causó el fenómeno, perdieron lo poco que tenían y siguen en espera de algún apoyo económico, al momento de la entrevista en junio de 2008.



Figura 3.74. Marcas de las inundaciones de 2007 en casas afectadas.

Fotografías: Raquel Pérez Neri

La ayuda para los habitantes de estas zonas provino de lancheros locales, en donde los precios por una lancha llegaron hasta los dos mil pesos, mientras que otras versiones dicen que el servicio fue gratuito y bajo la vigilancia de miembros de la Secretaría de Marina y Armada de México.

Dentro de la realización del trabajo de campo también se visitó la ciudad de Frontera en el municipio de Centla, Tabasco (Figura 3.75), en el cual la principal actividad económica es la pesca, es por eso que gran parte de la ayuda hacía los habitantes de la ciudad de Villahermosa provino de esta ciudad costera, dado su gran numero de lanchas disponibles.



Figura 3.75. Área de trabajo Frontera, Tabasco.

La población entrevistada en el lugar explicó, que en la ciudad de Frontera no se elevó el nivel del río ni su caudal. Al preguntar si hubo algún factor que impidiera al río descargar sus aguas en el Golfo de México (e.g. marea alta), lo contradijeron, diciendo que de ser así, ellos también se hubieran visto afectados, lo cual no sucedió

En conclusión la percepción de los habitantes de Villahermosa es que no existen programas de prevención adecuados y los pocos que hay, se encuentran inconclusos. Mientras que el desastre no se debió a causas naturales cien por ciento, existió el error humano respecto al manejo de las presas y la ayuda no llegó rápida y efectivamente.

Como es frecuente en estos casos la población más vulnerable se encuentra asentada en zonas de alto riesgo, además de no contar con la infraestructura necesaria para evitar afectaciones como las ocurridas en 2007.

Por su parte las autoridades refirieron que los trabajos de reconstrucción se encuentran al máximo además de contar con el Plan Hídrico Integral de Tabasco de la Conagua, el cual tiene como objetivo principal trabajar coordinadamente con el Gobierno del Estado y los Gobiernos Municipales para que, a través de los trabajos de previsión, prevención y mitigación que el Gobierno Federal lleva a cabo en el proceso de recuperación y reconstrucción de la región. Se estima la construcción de condiciones que garanticen la continuidad funcional de los gobiernos estatales y municipales y de los sectores productivos en el Estado.

Las causas de las inundaciones de 2007 pueden resumirse en la conjunción de varios factores como las lluvias extraordinarias que se presentaron en Tabasco y Chiapas originadas por el frente frío No.4 , la sucesión de avenidas en las presas, en especial Peñitas, falta de infraestructura para el control de avenidas, carencia de sistemas de pronóstico y alertamiento adecuado, el Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI) inconcluso (Diagnóstico Preliminar del Senado de la República, 2008) y principalmente una mayor vulnerabilidad a las inundaciones por asentamientos humanos en zonas de alto riesgo.

4. Discusión

Después de analizar el comportamiento de la precipitación de cada una de las estaciones climatológicas de la región Grijalva-Usumacinta, así como el periodo de retorno de los eventos extremos, resalta el hecho de que la distribución espacial y temporal de los mismos es muy heterogéneo debido a diferentes elementos y factores climatológicos. Además esta región se localiza entre el Golfo de México y el Océano Pacífico, por lo que se encuentra expuesto tanto a los sistemas de tiempo de latitudes tropicales como son los ciclones del Golfo de México en el verano, así como los frentes fríos en invierno. Por otra parte los ciclones tropicales del Pacífico ocasionan lluvias en la Sierra del Sur de Chiapas, que es la parte alta de la cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta.

Por ser una de las regiones hidrológicas más grandes del país cuenta con una vasta diversidad de climas y variedad orográfica, lo que hace más compleja aún la distribución de las precipitaciones. En general la precipitación mensual acumulada se concentra durante el invierno en la parte norte de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta, en la subprovincia fisiográfica “Llanuras y Pantanos Tabasqueños”, a finales del invierno y principio de la primavera la precipitación es mínima en todas las cuencas de la región, manteniendo cierta homogeneidad con valores que van de los 0 a 50 mm generalmente, a partir de mayo se incrementan considerablemente los valores en toda la región, superando los 50 mm en casi la totalidad de estaciones climatológicas de Chiapas mientras que en Tabasco se superan los fácilmente los 100 mm, para junio el incremento de los valores son importantes, debido al comienzo de la temporada de los sistemas tropicales, las cuales se prolongan hasta finales de noviembre. En las estaciones climatológicas analizadas se advierten incrementos de precipitación importantes en aquellas ubicadas cerca a una barrera orográfica.

Durante el mes de julio los mayores registros se concentran tanto en la Sierra Norte de Chiapas con precipitaciones que van de los 200 a 300 mm, como en La Sierra Sur con valores similares debido a las llamadas lluvias de verano, hacia finales del mismo, la precipitación se concentra hacia el norte en tres cuencas principalmente, que son las de los Ríos Lacantún (Chiapas), Grijalva-Villahermosa y Chixoy (Tabasco).

En octubre comienzan a disminuir las precipitaciones en el Estado de Chiapas, contrario a lo que se presenta en Tabasco que conserva niveles elevados (mayores a 200 mm). En la cuenca del Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) es donde se concentran los menores registros (inferiores a 100 mm).

Durante noviembre y diciembre la precipitación continúa en la región Grijalva-Usumacinta, pero con una diferente distribución espacial, concentrándose en la parte norte, en la totalidad del Estado de Tabasco y parte de Chiapas, específicamente en la Sierra Norte, en tanto la parte sur de Chiapas y la región en general se encuentran registros, inferiores a 100 mm. Este comportamiento está determinado principalmente por los sistemas invernales de latitudes medias que afectan la región. El paso de los frentes fríos o Nortes provenientes del Golfo de México ocasiona perturbaciones en la atmósfera que originan fuertes precipitaciones estacionales, por lo que en la parte sur de la región las precipitaciones son escasas. Este comportamiento de la precipitación continúa pero en menor medida en los meses posteriores.

Un ejemplo de eventos hidrometeorológicos extremos que afectan la región es el paso de huracanes como Stan en 2005 que dejó devastación en Chiapas, o la entrada de una masa de aire frío, ejemplificado con las inundaciones ocurridas en Tabasco y Chiapas en octubre y noviembre de 2007.

Dentro de la serie histórica de datos obtenidos de las 54 estaciones climatológicas analizadas en el presente estudio se obtuvo información muy variada, debido a la ubicación de cada una de ellas. Considerando como evento extremos de precipitación el valor del percentil 90 de precipitación máxima en 24 horas de la serie histórica y calculando el periodo de retorno de los mismos, se destaca, que en general durante los meses lluviosos dentro de la región Grijalva-Usumacinta el valor del percentil 90 coincide con un periodo de retorno de 10 años.

Con estos resultados se deduce que un evento extremo de precipitación máxima en 24 horas (superior a una lámina de 20 mm entre abril y diciembre) tiene una periodicidad estimada de 10 años, con lo que se debe tener en consideración las afectaciones que esto conlleva.

En cuanto a los meses con escasa precipitación (diciembre-marzo) en algunas cuencas de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta, como las localizadas al sur del Estado de Chiapas, el percentil 90 de precipitación máxima en 24 horas coincide principalmente con un periodo de retorno de 2 a 5 años, por lo que un evento extremo de precipitación en estas estaciones en particular son más recurrentes. Lo anterior no significa que se presenten catástrofes continuamente, dado que al referirnos a las estaciones climatológicas ubicadas al sur de Chiapas, en los meses de invierno los valores registrados van de los 0 mm a los 30 mm en promedio, lo que no representa una precipitación de importancia.

En el Estado de Tabasco el menor registro de precipitación en 24 horas corresponde a 30 mm con lo que se manifiesta que a lo largo de todo el año se presentan precipitaciones de consideración que se pueden estimar como eventos extremos con afectaciones directas a la población.

También se consideró la precipitación máxima histórica en 24 horas dentro de la serie de datos existente, en otras palabras es el dato de precipitación más alto registrado en la base de datos de CLICOM para cada estación climatológica analizada. Se destacó que dentro de la serie histórica de datos se encuentran valores muy elevados en comparación del resto de la serie, estos son resultado de la presencia de eventos extremos de precipitación por diferentes motivos como la presencia de huracanes, los cuales en un solo día pueden descargar grandes cantidades de lluvia sobre una región como el caso del huracán Stan que afectó la estación *Motozintla (7119)*, la cual registro 320 mm en sólo 24 horas el 5 de octubre de 2005, coincidiendo con el paso del mismo en la región. También se tienen registros de precipitaciones extremas en el Estado de Tabasco, pero estas son originadas por sistemas invernales de latitudes medias como los frentes fríos o nortes.

Para estos valores máximos se estima que tengan una periodicidad superior a 50 años en general, aunque se han registrado láminas que se presentarían cada 100 años, lo que indica que los eventos extremos registrados han sido de importancia para la región Grijalva-Usumacinta. Sin embargo, en casos concretos como las estaciones climatológicas de Tabasco, donde se presentan los mayores valores, los eventos extremos registrados superan fácilmente un periodo de retorno de 100 años, por lo que es indispensable contar con esta

información para la implementación de programas de prevención, mitigación y reacción ante desastres por fenómenos hidrometeorológicos.

En base a la serie histórica de datos, se infiere que los eventos extremos de precipitación se han presentado en el pasado, con lo cual se puede concluir que estos continuarán ocurriendo en el futuro. Esto quiere decir que la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de precipitación es ligeramente mayor, debido a los valores dentro de la serie histórica que se han registrado con eventos relativamente recientes.

Para el periodo de retorno de 10 años, que son los valores que generalmente coinciden con el valor de percentil 90 considerado como evento extremo, se identifica claramente el área de influencia de las mayores precipitaciones en la región Grijalva-Usumacinta, donde los valores de la precipitación son mayores. Lo anterior, se presenta en la parte norte con valores mayores a 50 mm al comienzo del año, pero hacia finales del año los valores sobrepasan fácilmente los 100 mm, manifestando que las precipitaciones calculadas para una periodicidad de 10 años son de consideración.

Así mismo, al analizar el resto de los cálculos de los diferentes periodos de retorno se observa que dichos valores aumentan ligeramente, reforzando la necesidad de diversos estudios referentes a la protección civil. Dado el incremento de los valores de precipitación máxima en 24 horas determinada por cierta periodicidad, aunado al incremento de la población asentada en áreas de riesgo de inundación, aumenta la vulnerabilidad de la población ante desastres naturales como en la ciudad de Villahermosa, Tabasco en 2007, se hace imperante la necesidad de contar con estudios que aporten a la mitigación del riesgo por eventos hidrometeorológicos extremos en la región Grijalva-Usumacinta.

A la fecha de término del presente trabajo se han registrado inundaciones tanto en 2008 como en 2009, lo que enfatiza la necesidad de nuevos estudios referentes a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos en México, específicamente en zonas de alto riesgo como lo es el sureste mexicano.

5. Conclusiones y recomendaciones

Con el presente trabajo se concluye que la frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta es ligeramente mayor que en el pasado, mientras que la intensidad de los mismos se ha incrementado considerablemente de acuerdo a la serie histórica de datos de precipitación máxima en 24 horas, ejemplificándose con eventos recientes como el caso del huracán Stan en 2005 y el paso del frente frío número 4 en 2007 por mencionar algunos. Lo anterior debe tomarse en consideración dado el efecto que estos fenómenos, que se pronostican de mayor intensidad, pudieran tener un impacto importante en la región.

La precipitación en la región de estudio se distribuye de diferente forma, tanto espacial como temporalmente, en los meses de verano los máximos valores se registran en el Estado de Chiapas y hacia el invierno en el Estado de Tabasco. Sólo en los primeros meses del año los valores son relativamente bajos pero constantes, lo que indica que a lo largo de todo el año la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta recibe aportaciones importantes de precipitación en todo el sistema hidrológico, lo que hace latente la presencia de eventos extremos en la región.

Los valores de precipitación considerados como extremos dentro de la serie histórica de datos, en general coinciden con un periodo de retorno de 10 años en los meses de abril a noviembre, que se consideran los más húmedos en la región, mientras que los meses con menor precipitación que son de diciembre a marzo el periodo de retorno es menor, entre 2 y 5 años, los cuales no reflejan gran diferencia en los valores de precipitación, por lo que se considera que podrían ser descartados del análisis. Al tomar los valores máximos históricos de precipitación en 24 horas registrados dentro de la base de datos, se identifica que estos superan una periodicidad de 50 años, así mismo algunos valores como los que concuerdan con la presencia de algún sistema meteorológico de importancia puede tener una periodicidad superior a los 100 años.

La distribución espacial y temporal de las precipitaciones y diferentes periodos de retorno se deben a la gran cantidad de sistemas meteorológicos que inciden en la región, principalmente los ciclones tropicales y frentes fríos.

El percentil 90 se ajusta a la identificación de eventos extremos de precipitación puesto que representa los valores que están por arriba del 90% del total de la muestra, reduciendo la información de tal forma que se conserven sólo los valores representativos de la misma y se trabaje con los valores de precipitación que pudiesen ocasionar graves afectaciones.

Es necesario realizar estudios de vulnerabilidad, dado que los asentamientos humanos se presentan en mayor número en zonas de alto riesgo, lo anterior, aunado al incremento en la intensidad de eventos extremos en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta, hace que ésta presente un alto índice de contingencias por fenómenos hidrometeorológicos. Con el trabajo de campo realizado, se identificaron zonas de alto riesgo que no cuentan con planes de prevención o mitigación de desastres, lo que hace necesaria la implementación urgente de programas de protección civil y ordenamiento territorial en los múltiples asentamientos humanos vulnerables a la recurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Para la realización del presente trabajo una de las dificultades que se presentaron fue la falta de información continua en la base de datos de CLICOM, así como una red de estaciones climatológicas en funcionamiento mayor. Por lo anterior se recomienda la creación de un sistema único y completo de consulta de información climatológica, así como la creación de un proceso automatizado de búsqueda de valores extremos confiables. Así mismo es necesaria la validación de la información existente para el descarte de los datos no verídicos o confiables.

Es indispensable utilizar diferentes herramientas como hojas de cálculo, Sistemas de Información Geográfica, etc. para la producción de resultados como los presentados en este trabajo, mediante la interpolación de la información se logró obtener la distribución espacial de los diferentes valores de periodo de retorno.

Con este trabajo se espera una mejor comprensión del comportamiento de la precipitación en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta así como la periodicidad de los eventos hidrometeorológicos extremos para la creación de diferentes programas de protección civil, mapas de riesgos, ordenamiento territorial, infraestructura y protección hidráulica entre otros con la finalidad de mejorar las condiciones humanas en la región y estar preparados para próximos eventos extremos que se pronostica serán de mayor intensidad.

Referencias bibliográficas

- Ayala-Carcedo F. y Olcina J. (2002) *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel. Barcelona, España.
- Barry, R (1999) *Atmósfera, tiempo y clima*. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Cambranis M. y Humberto, R. (2007) *Impacto socioeconómico de los desastres: el caso de las intensas lluvias ocurridas en el estado de Durango en septiembre del 2004*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. México.
- Delgadillo, J. (1996) *Desastres Naturales: aspectos sociales para su prevención y tratamiento en México*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. México.
- Echegaray, Luis (1955) *La cuenca del Grijalva-Usumacinta a escala nacional y mundial*. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Garnica, R. y Alcántara, I. (2001) *Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del Río Tecolutla, Veracruz*. Investigaciones Geográficas, Boletín Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- Maderey, L. (2005) *Principios de hidrogeografía*. Estudio del ciclo hidrológico, serie de textos universitarios núm. 1, UNAM. México, D.F.
- Magaña, et.al. (2004) *Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Con apoyo de la Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- Mendoza, M. (2001) *Factores de regionalización de lluvias máximas en la República Mexicana*. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica., Facultad de Ingeniería UNAM. México, D.F.
- Nott, Jonathan (2006) *Extreme Events*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Prieto, C. (2004) *El Agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Editorial Ecoe. Bogotá, Colombia.
- Ríos, R (1954) *Apuntes para una historia de las inundaciones de la ciudad de México*. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México, D.F.

- Rodríguez, R (1999) *Análisis de series temporales en climatología: modelización y homogeneidad*. Universidad de Barcelona. España.
- Rosa de la, N. (2001) *Esquema de diagnostico-pronostico de situaciones de riesgo de inundación en Villahermosa, Tabasco*. Tesis de Licenciatura en Geofísica. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.
- Salas, M y Jiménez, M (2004) *Serie Fascículos Inundaciones. CENAPRED Secretaría de Gobernación*. México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1980). *Evaluación de daños causados por inundación y perturbaciones atmosféricas en la República Mexicana en 1980*.
- Velázquez, J (1990) *Glosario de términos climáticos*. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. México.
- Vidal, R. (2001) *Las regiones climáticas de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México D.F.
- Internet 1. Comisión Nacional del Agua
www.conagua.gob.mx
- Internet 2. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
www.conabio.gob.mx
- Internet 3. Instituto Nacional de Ecología
www.ine.gob.mx
- Internet 4. Diario La Jornada
www.jornada.unam.mx
- Internet 5. Diario El Universal
www.eluniversal.com.mx
- Internet 6. Servicio Meteorológico Nacional
smn.cna.gob.mx