



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA**

## **Eventos extremos de precipitación en el noroeste de México**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PRESENTA**

**Lic. ORLANDO PEÑA AURQUIA**

**TUTOR**

**Dr. CARLOS ABRAHAM OCHOA MOYA  
[CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM]**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR**

**Dr. IGNACIO ARTURO QUINTANAR ISAÍAS  
[CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM]**

**Dra. CHRISTIAN DOMÍNGUEZ SARMIENTO  
[CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM]**

**Dr. ADRIÁN PEDROZO ACUÑA  
[INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA]**

**Dr. CARLOS LIZÁRRAGA CELAYA  
[UNIVERSIDAD DE SONORA]**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, ENERO DE 2020**



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.



# Dedicatoria

*A mi familia y a Tlaloc*



# Agradecimientos

A mi tutor, Dr. Carlos Abraham Ochoa Moya mi eterna gratitud por confiar en mí desde el primer momento y asumir la responsabilidad de guiarme. Gracias por toda la ayuda, por tu preocupación constante; gracias por sobre todas las cosas hacerme sentir bien en el equipo que conformamos y brindarme tu sincera amistad.

Agradezco a la Coordinación del Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM por la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría; al Centro de Ciencias de la Atmósfera por la preparación académica recibida y al CONACyT por el otorgamiento de la beca de manutención para poder llevar a cabo estos estudios.

Mi agradecimiento a mis revisores de tesis por sus oportunos comentarios que enriquecieron el trabajo. Ellos son: Dr. Arturo Quintanar Isaías, Dra. Christian Domínguez Sarmiento y al Dr. Carlos Lizárraga Celaya. Para el Dr. Diego Alfaro Berea un agradecimiento especial por haber sido parte de mi Comité Tutor durante la maestría, siempre muy acertados sus comentarios, gracias también por haberme dado la oportunidad de participar y colaborar en el Seminario “Qué onda con el tiempo”.

A mi familia, ese núcleo central que es parte importante de mí. Gracias Mabel (mami), Katy, Adri, Reinier, Héctor, tía Rosi, tío Chong y Daniel Pretelín.

Mi gratitud a la familia Pretelín Ramos por su preocupación y atenciones, sobre todo por permitirme ser parte de ellos.

A los amigos del Centro de Ciencias de la Atmósfera: Mafe, Caro, Javier J., Camila, Montse, Sandrita, Joshua, Fabi, Diego, Javier R., Juan, Ana E, Carlos y Julio. Y a ti Bere, por hacer que mis días en el posgrado fueran bonitos, porque recuerdo que me entristecía cuando no estabas, por confiar en mí desde el inicio y abrirme las puertas de tu casa y familia.

A la familia de Yanet, Sabás y Mercedes.

A mis vecinos Karla, Rubén y Josefina, gracias por dejarme ser parte de ustedes.

A mis amigos, a todos, gracias por estar.

## Resumen

En el noroeste de México así como en el suroeste de Estados Unidos de América se presenta durante el verano boreal un régimen tipo monzónico en la circulación del viento, este sistema de circulación constituye el Monzón de Norteamérica (NAM, por sus siglas en inglés). La llegada del NAM significa un cambio drástico en el ciclo anual de la precipitación en la región. Existen evidencias que la precipitación del NAM se ha tornado extrema. Específicamente hacia la región que corresponde a México, los trabajos encaminados a abordar el comportamiento extremo de la precipitación se han auxiliado de percentiles para determinar el umbral extremo. Sin embargo, las condiciones de circulación que favorecen tales eventos no están completamente claros. En la actualidad, el estudio de los eventos extremos de precipitación ha cobrado gran interés por las repercusiones que implica tanto en pérdidas humanas como económicas. El presente trabajo analiza el comportamiento en cuanto a frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación en el noroeste de México a partir del uso de las bases de datos Livneh y CHIRPS durante el trimestre julio-septiembre en el período 1981-2013. En otra parte de este estudio se hace un análisis sinóptico para determinar las configuraciones que favorecen los casos más extremos. El comportamiento espacial de los eventos extremos de precipitación mostró que los mayores valores del umbral se localizan entre la franja costera y la Sierra Madre Occidental. El análisis del total de casos extremos mostró que no hay diferencias relevantes en el trimestre analizado. Sin embargo, al hacer el estudio de casos se apreció que los eventos más extremos asociados a ciclones tropicales ocurren con mayor frecuencia en el mes de septiembre. Finalmente, las configuraciones sinópticas que favorecen los casos más extremos no asociados a ciclones tropicales están forzados por bajas presiones en superficie con una vaguada que se estructura en los niveles 500 hPa y 200 hPa.

## Abstract

In northwestern Mexico as well as in the southwestern United States of America, during the summer monsoon type regime is present in the circulation of the wind, this system of circulation constitutes the North America Monsoon (NAM). The arrival of the NAM produces important changes in the annual cycle of precipitation in the region. Evidence show that the precipitation of the NAM has become more extreme. Specifically, the region that corresponds to Mexico, studies aimed to address extreme precipitation events behavior have used percentiles to determine the extreme threshold. However, there is not a clear understanding about the synoptic circulation conditions that favor such events. Currently, the study of precipitation extremes has received a lot of attention due to its impact on human and economic activities. The aim of this study is to analyze extreme precipitation events behavior in terms of frequency and intensity over northwestern Mexico, using two gridded daily precipitation databases: Livneh and CHIRPS; during the July-September quarter for 1981- 2013, as well as analyze the synoptic configurations that favor the most extreme cases. Spatial behavior of extreme precipitation events showed that the highest threshold values are located between the coastal strip and the Western Sierra Madre. The analysis of total extreme cases did not show relevant differences in the quarter. However, during the extremes case study he most extreme events are more frequent on September. The synoptic configurations favoring the most extreme cases not associated with tropical cyclones show low surface pressures with a structured trough at 500 hPa and 200 hPa levels.

# Tabla de Contenidos

**Resumen**

**Abstract**

**Capítulo I: Introducción. Aspectos metodológicos de la investigación.**

<b>Estructura del documento</b> .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Aspectos metodológicos de la investigación.....	3
• Problema científico	
• Objetivos	
• Preguntas de investigación	
1.3 Estructura del documento.....	4

**Capítulo II: Fundamentación teórica y antecedentes. Estado del arte**.....6

2.1 Eventos extremos. Definición.....	6
2.2 Eventos extremos en la precipitación.....	7
2.2.1 Importancia del estudio de los eventos extremos en la precipitación.....	8
2.3 Extremos y cambio climático.....	10
2.4 Uso de modelos numéricos para el estudio de eventos extremos de precipitación.....	1
2.5 La precipitación en el noroeste de México. El monzón de norteamérica.....	13

**Capítulo III: Materiales y Métodos**.....14

3.1 Región de estudio.....	14
3.2 Bases de datos utilizadas: Livneh y CHIRPS.....	15
3.3 Teoría de valores extremos.....	17

**Capítulo IV: Análisis y discusión de los resultados**.....19

4.1 Análisis de las bases de datos Livne y CHIRPS.....	19
4.1.2 Distribución espacial de los parámetros $\alpha$ (forma) y $\beta$ (escala) de la función de distribución Gamma.....	19
4.1.3 Análisis del patrón espacial y acumulado de la precipitación en las bases de datos.....	21
4.1.4 Análisis puntual de las bases de datos.....	26
4.2 Climatología de la precipitación en la región del noroeste.....	29

4.5 Análisis del comportamiento espacial del umbral para determinar los eventos extremos .....	31
4.6 Análisis del comportamiento de los eventos extremos en relación con su frecuencia.....	33
4.7 Estudio de casos.....	40
4.7.1 Análisis del comportamiento en cuanto a frecuencia de los casos de estudio.....	41
4.7.2 Casos asociados a ciclones tropicales.....	42
4.7.3 Casos no asociados a ciclones tropicales.....	47
4.7.3.1 Livneh.....	47
4.7.3.2 CHIRPS.....	55
4.7.3.3 Casos observados en ambas bases de datos.....	61
4.7.3.2 Análisis de la frecuencia de afectación por sistema.....	67
<b>Conclusiones.....</b>	<b>69</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>78</b>

## **Capítulo I: Introducción. Aspectos metodológicos de la investigación.**

### **Estructura del documento**

#### **1.1 Introducción.**

Sin lugar a dudas, la precipitación en cualquier región es un elemento climático de gran importancia debido a las implicaciones que provoca el déficit de la misma o su ocurrencia en exceso.

Una generalidad en el comportamiento del clima en el territorio mexicano es que la estacionalidad del régimen de precipitación exhibe dos períodos bien diferenciados, uno húmedo de mayo a octubre, y otro seco de noviembre a abril. Mosiño y García (1966, 1974) detallaron las características climáticas más importantes en relación al comportamiento de la precipitación en México. Plantearon que la mayor parte del país presenta un período de lluvias tipo monzónicas, mientras que hacia la península de Baja California domina un régimen climático del tipo mediterráneo, con inviernos húmedos y veranos secos.

Una particularidad del régimen de precipitación en el noroeste de México, así como en el suroeste de Estados Unidos de América (EE.UU), lo constituye el Monzón de Norteamérica (NAM, por sus siglas en inglés). La llegada del monzón a esta región significa un incremento en la precipitación, el acumulado de esta variable durante el período del NAM puede representar entre el 60 % y el 80 % de la lámina anual (Stensrud et al., 1995).

Varias investigaciones manifiestan que el régimen de precipitación en la región del NAM se ha tornado más extremo (Anderson et al. 2010; Petrie et al. 2014; Chang et al. 2015; Luong et al. 2017). En este sentido, Petrie et al. (2014) encontró que la lámina de lluvia durante la temporada monzónica se distribuye en un número pequeño de grandes eventos de precipitación. Calcularon que el 65 % de los eventos tienen un efecto menor en el acumulado de precipitación durante el período monzónico. Por otra parte, Chang et al. (2015) mostraron que existen incrementos en el total de precipitación en los meses del verano boreal durante la temporada monzónica.

A continuación, se mencionan en mayor detalle los resultados de Anderson et al. (2010) y Luong et al. (2017), quienes abordan los eventos extremos de precipitación a partir de la teoría de valores extremos. En un primer paso, calcularon la función de densidad de probabilidad (PDF, por sus siglas en inglés) de la precipitación. Luong et al. (2017) seleccionaron los eventos extremos al utilizar solamente aquellos que se encontraron en la cola derecha de la PDF, para determinar dónde comienza la misma se utilizó la técnica de picos sobre umbrales (Peak Over Threshold). En el segundo paso, asumieron que dicha cola sigue una distribución de Pareto y que los eventos extremos de precipitación son aquellos que superan el 90 % de dicha distribución. De forma similar, en la presente investigación se utiliza esta técnica estadística para tratar los extremos en la precipitación.

Por su parte, Anderson et al. (2010) dirigieron su trabajo a determinar el comportamiento temporal y espacial de la precipitación durante el monzón en el suroeste de EE.UU. Para ello, evaluaron las tendencias multi-decadales significativas de la precipitación. Emplearon datos observados de estaciones en superficie los cuales ya habían sido validados por Eischeid et al. (1995), el período utilizado es 1931-2000. Los autores definieron que el núcleo del monzón está situado al suroeste de EE.UU (Arizona y el oeste de Nuevo México). Encontraron incrementos en la lámina de precipitación y en el total de eventos en las regiones al norte de este núcleo. Es de destacar que hacia la región del núcleo no encontraron tendencias similares como sucedió al norte del mismo. Anderson et al. (2010), observaron que a diferencia de la precipitación media anual, las tendencias de la lluvia durante el monzón muestran un aumento en la precipitación estacional. Además, encontraron tendencias crecientes en relación a la intensidad de las tormentas. Destacaron que las tendencias del comportamiento climatológico de la precipitación durante el monzón pueden diferir respecto a la tendencia de esta variable en otras épocas del año.

Luong et al. (2017) abordaron los cambios a largo plazo en la intensidad de la precipitación del NAM en el suroeste de EE.UU. A través de simulaciones usando un modelo climático regional, identificaron eventos extremos de precipitación en dos

períodos, 1950-1970 y 1991-2010. En cuanto a datos observados, utilizaron la base de datos Livneh, la cual se generó mediante un algoritmo que toma datos puntuales en superficie y los interpola a una malla regular (Livneh et al. 2013). Seleccionaron los días con capacidad para generar tiempo severo a partir de métricas termodinámicas de inestabilidad en la atmósfera. Para esto, utilizaron los índices MUCAPE (Most Unstable Convective Available Potential Energy) y PW (Precipitable Water) respectivamente. A consideración de los autores, estos índices constituyen importantes indicadores para que se produzcan eventos extremos de precipitación en la región del NAM que corresponde a EE.UU. Para el manejo estadístico de los eventos extremos de precipitación, utilizaron la teoría de valores extremos. Encontraron que dichos eventos se generan en un ambiente de alta inestabilidad y humedad en la atmósfera. A partir del análisis con datos observados y los resultados de las simulaciones, encontraron incrementos en los eventos extremos de precipitación en el centro y suroeste de Arizona, estos eventos ocurrieron principalmente en horas de la tarde y la noche. Además, precisaron que la lluvia debido a los sistemas convectivos de mesoescala representa la mayor proporción respecto a la lámina de la precipitación monzónica en Arizona. Concluyen planteando que desde el punto de vista termodinámico se presentan condiciones más favorables en la región que estudiaron, lo que se traduce en una mejor organización de la convección.

## **1.2 Aspectos metodológicos de la investigación.**

En la revisión bibliográfica llamó la atención el uso de diferentes bases de datos para abordar los eventos extremos de precipitación, ello conduce a una heterogeneidad que dificulta la comparación entre los estudios debido a las consideraciones y algoritmos utilizados para el control de calidad de los datos y en su caso, los métodos de interpolación utilizados para llevar datos puntuales a una malla regular. Teniendo en consideración lo mencionado, así como los antecedentes que muestran que la precipitación se ha tornado extrema en la región del noroeste de México, se plantea el siguiente **problema**: ¿cómo se comportan los eventos

extremos de precipitación en el noroeste de México durante el trimestre julio-septiembre a partir del uso de las bases de datos Livneh y CHIRPS?

Paralelo a dicha pregunta rectora del proyecto, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Con qué frecuencia ocurren los eventos más extremos?
- ¿Cuánto representa la precipitación asociada a los eventos más extremos respecto a la lámina de precipitación acumulada en el trimestre?
- ¿Cuáles son las condiciones a escala sinóptica que condicionan el ambiente para que ocurran los eventos más extremos?

**Objetivo General:** Analizar el comportamiento de los eventos extremos de precipitación en el noroeste de México en el trimestre julio-septiembre a partir del uso de las bases de datos Livneh y CHIRPS durante el período 1981-2013.

**Objetivos específicos:**

1. Identificar los eventos extremos de precipitación en las bases de datos Livneh y CHIRPS.
2. Analizar el comportamiento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación en las bases de datos Livneh y CHIRPS.
3. Análisis de casos de estudio a partir del uso de mapas de presión en superficie y de geopotencial en los niveles 850 hPa, 500 hPa y 200 hPa.

**1.3 Estructura del documento.**

La presente investigación consta de 4 capítulos. **Capítulo 1:** Introducción. Aspectos metodológicos de la investigación, muestra una primera aproximación de la problemática en cuestión y de las bases metodológicas que dan sostén a la tesis. **Capítulo 2:** Fundamentación teórica y antecedentes. Estado del arte, se detallan los antecedentes del estudio a partir de la revisión bibliográfica. **Capítulo 3:** Materiales y Métodos, se describen los datos empleados para este estudio así como la

metodología desarrollada e implementada. **Capítulo 4:** Análisis y discusión de los resultados, está enfocado en responder a la pregunta científica planteada. Finaliza el trabajo presentando las conclusiones de la investigación, así como las referencias bibliográficas.

## **Capítulo II: Fundamentación teórica y antecedentes. Estado del arte**

### **2.1 Eventos extremos. Definición.**

Todo suceso que se aleja del promedio se puede definir como raro y la probabilidad de que ocurra es menor. Un extremo se refiere a un evento raro basado en un modelo estadístico de cierto elemento particular del tiempo. En términos de percentiles, son eventos que ocurren entre el 1 % y 10 % del tiempo en una localidad particular y en un periodo particular de tiempo (generalmente entre 1961 a 1990), esta definición fue dada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su cuarto reporte del grupo de trabajo I (IPCC, 2007). Esta definición muestra aspectos que pueden dejar dudas sobre lo que es en sí un evento extremo; por ejemplo, ¿ los sucesos con probabilidad menor a 1 % no se consideran extremos ? Algo que sí queda claro es que considerar extremo a un evento significa que este debe rebasar cierto umbral.

Los sucesos extremos, en particular los concernientes a la precipitación, han recibido una atención creciente durante los últimos años debido a las pérdidas humanas que han provocado y el incremento exponencial del valor de la destrucción de los bienes asociados a ellos (Easterling et al., 2000). Dichos estudios no solo han sido de interés para las ciencias atmosféricas, sino también en otras áreas como la ingeniería, ciencias económicas, o hasta en la vida cotidiana se escucha hablar de extremos para considerar alternativas en las decisiones que tomamos.

Considerar extremo a un evento es un tema que puede enlazarse con la subjetividad, el cual puede tornarse cuestionable si no se utilizan herramientas robustas que prueben que un evento es realmente extremo. No necesariamente un valor que es extremo para un evento o región debe serlo también para otro suceso o región. González-Hidalgo et, al. (2005) mostró cómo un mismo evento hidrometeorológico que afectó el sureste de España en octubre del año 2000 produjo un escenario diferente de afectación en dos localidades de esta región del país.

Para tratar los eventos extremos, en particular aquéllos que suceden en la precipitación, que es el interés de la investigación, serán analizados a través de la Teoría de Valores Extremos, la cual es una herramienta estadística para tratar tales eventos, la misma ha sido utilizada en otras investigaciones (Anderson et al. 2010; Luong et al. 2017) que se interesaron por los extremos.

## **2.2 Eventos extremos en la precipitación.**

Antes de continuar, es correcto plantear la definición de precipitación, la misma constituye toda partícula acuosa en fase sólida o líquida que se origina en la atmósfera y cae hacia la superficie terrestre. Vale aclarar que este concepto involucra a la precipitación que ocurre en forma sólida como es la nieve o el granizo, pero estos no son de interés en el trabajo, por lo tanto, el uso del término precipitación en la presente tesis será para referirse exclusivamente a la que ocurre en forma líquida.

Los estudios que involucran la precipitación tienen gran importancia dadas las implicaciones que tiene esta variable en el desarrollo adecuado de cualquier sociedad. Precisamente, el comportamiento extremo de la misma puede desencadenar sequías si ocurre un déficit por un tiempo prolongado en una región, o inundaciones si se excede determinado umbral. Como se ha reiterado, el comportamiento extremo de la precipitación es el interés de la investigación, pero solo cuando se refiere a los casos donde se rebasan determinado valor

El estudio de los eventos extremos de la precipitación es un tópico muy popular en áreas como la geomorfología e hidrología, para identificar su frecuencia y su magnitud a través de los períodos de retorno (Ahnert, 1987; De Ploey et al., 1991; Lewis, 1992). En particular, son muy abundantes los trabajos sobre la precipitación extrema diaria por sus implicaciones directas en los procesos geomorfológicos (Gallart, 1995; Pagliara et al., 1998; Puigdefábregas y Mendizábal, 1998; Nyberg y Rapp, 1998).

Planos en el 2013 mostró la importancia del estudio de los extremos en la precipitación con fines de diseño de obras tránsito de caudales máximos, la prevención de inundaciones y la mecánica de suelos, así como para la valoración de peligro, vulnerabilidad y riesgo. En su trabajo definió los eventos extremos como grandes precipitaciones, siendo aquellas que presentan un acumulado igual o mayor a 100 mm en 24 h, este umbral es el utilizado en Cuba. En un posterior trabajo, el propio autor cuestionó esta definición (Planos, 2015) debido a la falta de rigor físico a la hora de ponderar dicho umbral como el indicado para determinar si una lluvia es intensa.

Por otro lado, México es vulnerable a condiciones extremas, principalmente a aquellas relacionadas con la disponibilidad (exceso o falta) de agua. Varios de los eventos de precipitación extrema que ocurren en el país están generalmente relacionados con la actividad de sistemas tropicales (Vázquez, 2007). Vale destacar que por su ubicación geográfica la república mexicana puede ser afectada también por sistemas que provienen de zonas extratropicales, como frentes fríos, los cuales por sí solos pueden tener la capacidad de provocar eventos extremos de precipitación al interactuar con la compleja orografía del país, sobre todo hacia la región este y sureste donde se localizan los estados de Veracruz y Tabasco. Varios han sido los trabajos en el país encaminados a abordar extremos en la precipitación bajo diferentes enfoques e intereses (Prieto et al, 2007; Saavedra, 2009; Cavazos et al., 2008; Torres, 2011; Ochoa et al, 2015; Mendoza, 2019).

### **2.2.1 Importancia del estudio de los eventos extremos en la precipitación.**

Las aplicaciones que tiene el estudio de los eventos extremos de la precipitación son disímiles. El análisis de cambios observados en la escala temporal y en la cantidad de eventos superiores a  $20 \text{ mm h}^{-1}$  que se presentaron en el área de la Ciudad de México durante el período 1993-2007, fueron relacionados con cambios en el aerosol atmosférico emitido así como en el uso de suelo en la región de estudio (Ochoa et al, 2015). Esta investigación permitió mostrar a los cambios observados en los eventos extremos de precipitación como trazadores de las

consecuencias de la modificación de las condiciones microfísicas y de la circulación atmosférica en la región del Valle de México.

Estudiar los extremos en la precipitación dentro del campo de la hidrología son de suma importancia, específicamente el uso de funciones de distribución de valores extremos están orientadas principalmente a predecir grandes avenidas en ríos, el diseño de la infraestructura hidráulica para frenar dichas avenidas y evitar así inundaciones. En este sentido, Ávila et al. (2013) realizaron un análisis estadístico de los eventos extremos de la precipitación en la zona centro y sur de Chile continental con el objetivo de contribuir al conocimiento de la precipitación en la región, siendo su finalidad aportar una base de datos pluviométricos estimados probabilísticamente sobre el territorio de estudio. Utilizaron una herramienta integrada, que constituye la vinculación de un Sistema de Información Geográfica y técnicas estadísticas, con lo cual evalúan riesgos y vulnerabilidad de las poblaciones ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Hasta el momento, se han mostrado los efectos negativos de los extremos de precipitación, principalmente asociados con inundaciones. Sin embargo, estos eventos pueden tener repercusiones positivas, como puede ser para contrarrestar los efectos de las sequías o vinculados con la garantía de agua para el desarrollo de las sociedades. Planos (2015) mostró que el acumulado pluvial de las grandes precipitaciones en Cuba representan un porcentaje importante respecto a la lámina anual de precipitaciones del país. Destacó que de no ser por dichos eventos, la garantía anual de agua en el país se vería afectada. Detalló el cuidado que se debe tener al mezclar datos de precipitación de diferente naturaleza al momento de construir la lámina anual y contabilizar volúmenes de agua con los cuales el país no cuenta de forma anual. Manifestó la capacidad que tienen los ciclones tropicales de provocar precipitaciones extremas a su paso por el archipiélago cubano, y que dada la frecuencia de afectación de estos sistemas, una vez cada dos años, representan un aporte muy importante para el almacenamiento de agua en los embalses de Cuba.

### **2.3 Extremos y cambio climático.**

Los sucesos extremos, y en particular los asociados con la precipitación han sido centro de atención por las pérdidas económicas y humanas. Visto de esta manera, y a partir de información que se muestra en los medios de comunicación da la sensación que vivimos un mundo de catástrofes. Pero ¿realmente están aumentando los extremos en la precipitación producto de los cambios observados en el sistema climático del planeta, o son los sucesos extremos parte de la variabilidad del clima? ¿Pueden brindar los extremos información sobre nuevas condiciones nunca antes experimentadas por el sistema climático, pudiendo ser estos indicadores que el clima está cambiando?

A partir del informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (IPCC,2012), se plantea que la probabilidad que durante el siglo XXI la frecuencia de precipitaciones intensas o la proporción del acumulado de lluvia derivado de precipitaciones intensas aumente en varias regiones del planeta, este fenómeno será acentuado en regiones situadas en latitudes altas y las tropicales; mientras que para las latitudes medias del hemisferio norte el incremento de los extremos en la precipitación serán durante el invierno. Plantean que un posible incremento de la temperatura esté relacionado con un incremento en la actividad ciclónica tropical, y en las precipitaciones dejadas por estos sistemas. En relación a lo previsto por los escenarios climáticos, existe un nivel de confianza medio en que aumenten las precipitaciones intensas en algunas regiones, a pesar de que en ellas se proyecte una disminución en el total de las precipitaciones de dichas regiones. Otra cuestión está dada en la disminución de los períodos de retorno de la cantidad de precipitación máxima diaria.

Hay varias cuestiones que llaman la atención de la comunidad interesada en los extremos en la precipitación. Por una parte está vinculada con las relaciones entre tales eventos extremos y la lámina de precipitación, relación como el porcentaje que representan los extremos respecto a una lámina, las tendencias similares (crecientes o decrecientes) u opuestas que pueden mostrar. Groisman et al. (1999)

demonstraron que manteniendo la distribución de frecuencias de las precipitaciones, un cambio del 10% en la media anual enmascara un incremento de sucesos extremos. La detección de ligeras modificaciones en las precipitaciones suele venir acompañada por lo general de un aumento de precipitaciones extremas. También se han observado incrementos en los eventos extremos; sin embargo, las tendencias de la precipitación anual se muestran negativas (Nicholson, 1993; Groisman et al., 1999). En cuanto a tendencias negativas mostradas tanto por los extremos como por el régimen de precipitación, fueron encontradas por De Luis (2000). Estos resultados muestran que no hay conclusiones definitivas en relación a los extremos, aunque sí existe una tendencia en el aumento de los sucesos extremos como indicadores del Cambio del Clima (Esteban-Parra et al., 1998).

Una cuestión ya mencionada y que dio pie al planteamiento del problema de la tesis, es que la definición de evento extremo no es homogénea entre los trabajos. Hay heterogeneidad en la metodología para la selección del umbral que delimita lo que se considera extremo. Otro aspecto que afecta estos resultados es la resolución temporal de los datos, por lo general diaria, este tipo de información puede enmascarar más de un evento dentro del mismo día o sus diferentes intensidades. A pesar de ello, no deja de ser valioso trabajar con la lámina diaria de precipitación para estudiar el comportamiento extremo de la precipitación y determinar el umbral para este período.

Conocer el comportamiento futuro de los extremos en la precipitación muestra diferentes implicaciones. Entre ellas destacan dos de modo directo: sus efectos en la evolución de las tendencias generales de precipitación y sus efectos sobre las variaciones de la escorrentía superficial.

## **2.4 Uso de modelos numéricos para el estudio de eventos extremos de precipitación.**

La mejoras en la capacidad de cómputo ha significado un despegue apreciable de las ciencias, y en particular de las atmosféricas. Hay disímiles procesos que por las complejidades de las interacciones dentro del sistema atmósfera es imposible

tratarlos sin la ayuda de métodos numéricos para llegar a una solución de las ecuaciones que los describe. El uso de modelos numéricos ha permitido estudiar fenómenos sin necesidad de ir a medir in situ. Las aplicaciones de estos medios avanzados no han quedado fuera en el estudio de los eventos extremos de precipitación.

Torres (2011) estudió los eventos de precipitación extrema en la costa del estado de Oaxaca durante el período 2000 - 2008. Utilizó la base de datos del sistema CLIma COMputarizado (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional. Esta base de datos cuenta con información de precipitación diaria registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales. En el estudio se menciona que no se tomaron en cuenta los datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), expuso que las mismas no cuentan con un registro lo suficientemente largo. Otro aspecto que destacó de las EMAs, es que en análisis previos se detectó que en los eventos de precipitación extrema, estos datos indicaban en su mayoría 0.0 mm. En su investigación, siguió como objetivo determinar el origen sinóptico de los eventos extremos, y a través del modelo WRF (Weather Research and Forecasting, por sus siglas en inglés). Simuló casos para evaluar las parametrizaciones microfísicas. Constató la importancia de los sistemas meteorológicos tropicales para la zona del Pacífico Oriental Mexicano y Golfo de Tehuantepec. Respecto a los resultados de las simulaciones, observó que en los casos analizados de eventos de precipitación extrema en Oaxaca no fueron capaces de capturar y simular la convección local de forma adecuada.

También se han realizado trabajos con fines de pronóstico, tal es el caso de Jiménez (2014), quien analizó la capacidad del modelo WRF para simular precipitaciones intensas en regiones de Colombia que presentan cierta complejidad en el terreno. Su investigación la realiza con el propósito de pronosticar lluvias intensas. El estudio fue realizado durante cinco estaciones lluviosas entre los años 2009 y 2013; se recopilaron 393 datos, que sirvieron para la medición de los eventos máximos de precipitación. Mostró que en zonas bajas se generan

resultados satisfactorios, mientras que en regiones elevadas hay menos precisión generalmente por falta de información.

## **2.5 La precipitación en el noroeste de México. El monzón de norteamérica.**

Una particularidad del clima en la región del noroeste de México es la existencia del Monzón de Norteamérica (NAM, por sus siglas en inglés). Este sistema ha sido estudiado por varios autores, el mismo se define como la precipitación que ocurren durante el verano en el noroeste de México y en el suroeste de EE.UU (Douglas et al. 1993; Adams and Comrie, 1997; Higgins and Gochis, 2007). Durante el período que se establece el NAM abundantes precipitaciones ocurren en la región, Douglas et al. (1993) definieron un índice monzónico, el cual constituye la proporción de la precipitación durante julio-agosto-septiembre respecto a la lámina anual, encontraron que la precipitación en el trimestre mencionado pueden representar hasta el 80 % de la lámina anual.

Se observó en la literatura gran interés por este sistema; las investigaciones lo han abordado desde varios aspectos, entender los mecanismo que sustentan al mismo (Adams y Comrie, 1997; Shoemaker y Davis, 2008;) y las fuentes que le proveen humedad (Hales, 1972; Adams y Comrie, 1997; Dominguez et al. 2016; Ordoñez et al. 2018). Aún hay cuestiones que no están precisas sobre este sistema monzónico e incluso ha dado pie a cuestionar si realmente es un monzón. Una razón es que este sistema no reproduce de forma clara las características mostradas por Ramage (1971), sobre todo respecto a la inversión de la dirección del viento en el año.

## Capítulo III: Materiales y Métodos

### 3.1 Región de estudio.

En esta investigación se definió como el área de estudio la región comprendida entre los 20 ° y 35 ° de latitud norte, y los 115 ° y 100 ° de longitud oeste (Figura 1). La selección no solo abarca el noroeste de México, sino que se decidió tomar un área mayor para ver otras cuestiones como es el efecto del relieve en esa zona del país, el cual está accidentado por la presencia de la Sierra Madre Occidental.

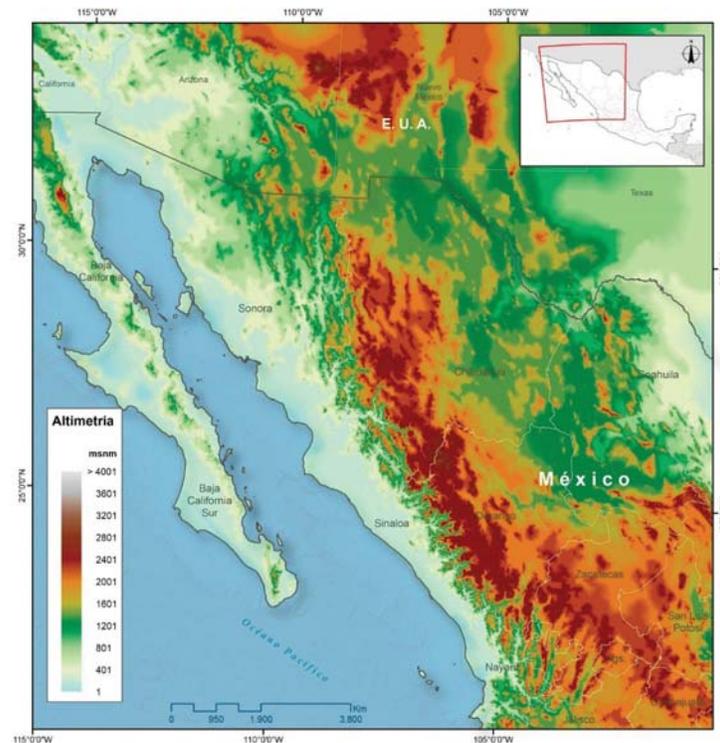


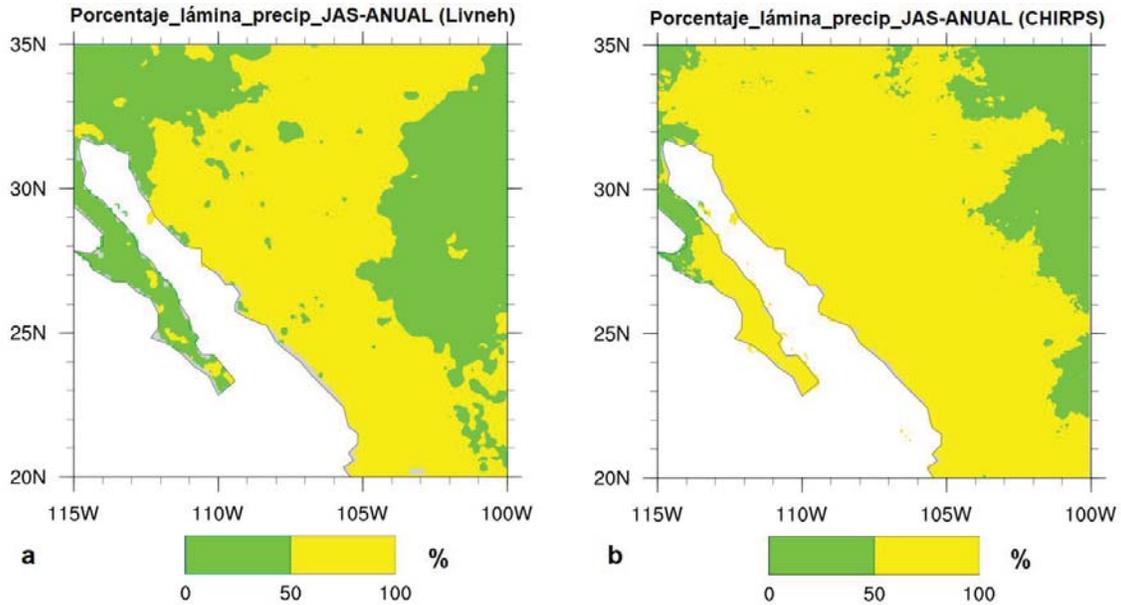
Figura 1: Área utilizada en la investigación, el rectángulo es el comprendido entre las latitudes 20 ° y 35 ° norte y las longitudes 115 ° y 100 ° oeste (Cortesía: Lic. Diego Gallardo Báez, mapa generado en ArcMap v.10.3 con datos de <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/581d051de4b08da350d523c3>).

### **3.2 Bases de datos utilizadas: Livneh y CHIRPS.**

Se utilizaron las bases de datos Livneh y CHIRPS las cuales cuentan con información de precipitación acumulada diaria. Dichas bases de datos ya han sido utilizadas en otras investigaciones. A continuación se mostrará en detalle las características de las bases de datos.

- ❖ Livneh: este producto cuenta con datos de precipitación diaria observada, temperatura máxima y mínima, cuadrículada a una resolución de 0.06 °, que abarca México, los Estados Unidos (solo para la parte continental) y las regiones de Canadá al sur del paralelo 53° N para el período 1950-2013. Mejora el ajuste de la precipitación orográfica en México y partes de Canadá respecto a otros productos. Hay que destacar que para generarla se tomaron datos observados en superficie; a través de la interpolación se logró alcanzar la resolución espacial que presenta (Livneh et al. 2015).
  
- ❖ CHIRPS (Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations): muestra datos diarios, pentadal y de precipitación mensual en una franja de latitud comprendida entre los 50 ° S - 50 ° N. Presenta una resolución espacial de 0.05°. Este conjunto de datos se basa en los enfoques utilizados en otros productos de precipitación generados a partir de la temperatura del tope de la nube y ajustado con datos en superficie (Funk et al., 2015).

Los meses de estudio fueron julio, agosto, septiembre para el período 1981 - 2013. Como se observa en la figura 2, dichos meses corresponden al período donde se acumula más del 50 % de la precipitación respecto a la lámina anual en la mayor parte del área de estudio, de manera puntual se observó que excede el 70 %, similar resultado fue mostrado por Douglas et al. (1993). Se calculó la climatología mensual, haciendo énfasis en el trimestre de interés.



**Figura 2: Porcentaje que representa la precipitación del trimestre julio-septiembre respecto a la lámina anual de precipitación. Livneh (a) y CHIRPS (b).**

Se calcularon los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  para el ajuste a una distribución Gamma de la serie de tiempo en cada punto de malla. Debido a que esta distribución es adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva como la precipitación, dichos parámetros dan información de la función de distribución de la variable. El primer parámetro,  $\alpha$ , sitúa el máximo valor de probabilidad y por este motivo es denominado parámetro de forma de la distribución. Cuando  $\alpha$  toma valores próximos a cero, la función de distribución Gamma se aproxima a la distribución exponencial. Por el contrario, para valores grandes de  $\alpha$ , el centro de la distribución se desplaza a la derecha y se aproxima a una función de distribución normal con asimetría positiva. El segundo parámetro,  $\beta$ , es el que determina la forma o alcance de la asimetría positiva, desplazando la densidad de probabilidad en la cola de la derecha, se denomina parámetro de escala. Para valores elevados de este parámetro, la cola de la distribución se alarga, mientras que para valores más pequeños la distribución es más simétrica y concentrada, con un pico de densidad de probabilidad más elevado.

### 3.3 Teoría de valores extremos.

La teoría de valores extremos tomó importancia en la década de 1920 a partir de los estudios de Fréchet (1927) para resolver problemas que se presentan en el área de la hidrología. Estos resultados sentaron las bases de la teoría probabilística de valores extremos unidimensional. En la actualidad, los avances en esta teoría se está centrando principalmente en el desarrollo de modelos y métodos para valores extremos de fenómenos espaciales y otras estructuras más complejas (Medialdea, 2019).

La teoría de valores extremos es una rama de la teoría de la probabilidad que se centra en explicar valores extremos a través de modelos de distribución. Ampliamente usada no solo en las ciencias atmosféricas, sino también en el campo de la ingeniería y la economía.

Para explicar en detalle cómo se aplicó la técnica se divide la misma en tres pasos:

1. **Cálculo de la función de densidad de probabilidad:** en el presente trabajo se utilizó la función de densidad de distribución Gamma. La selección de esta función está dada porque la misma es adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva como la precipitación.
2. **Selección del umbral:** este punto ha sido el de mayor complejidad debido a que no hay una metodología única para determinar cuál es el umbral idóneo. Por esta razón, se consultó a la técnica más adecuada en la bibliografía para hacer esta selección. Varios trabajos se apoyan en la teoría de valores extremos, y para la selección del umbral, utilizan percentiles (Anderson et al. 2010; Luong et al. 2017), de igual manera se trabajó en el actual trabajo de tesis.
3. **Distribución de Pareto:** Después de separar la cola de la distribución gamma, se asume que la misma se ajusta a la distribución de Pareto. Se

hace una segunda selección de un umbral, el cual se cita en la literatura que está enmarcado en el 90 % de la distribución (Katz et al. 2002; Luong et al. 2017). Los eventos que sobrepasen este segundo umbral serán considerados extremos.

## Capítulo IV: Análisis y discusión de los resultados.

### 4.1 Análisis de las bases de datos Livneh y CHIRPS.

#### 4.1.2 Distribución espacial de los parámetros $\alpha$ (forma) y $\beta$ (escala) de la función de distribución Gamma.

En el capítulo tres se destacó la información que arroja el análisis de los parámetros de forma ( $\alpha$ ) y escala ( $\beta$ ) de la función de distribución Gamma. En la figura 3 se muestra la distribución espacial del parámetro  $\alpha$ , el mismo indica la ubicación del valor de máxima probabilidad en la función de distribución, los valores más distantes de cero indican que la distribución de los datos tienden a aproximarse a una distribución normal. El patrón espacial de  $\alpha$  es similar en ambas bases de datos, este detalle es más pronunciado en la región ubicada entre la Sierra Madre Occidental y la costa, los mayores valores oscilan entre 0.6 y 1.2, y están localizados justo donde ocurre el máximo de precipitación durante el trimestre.

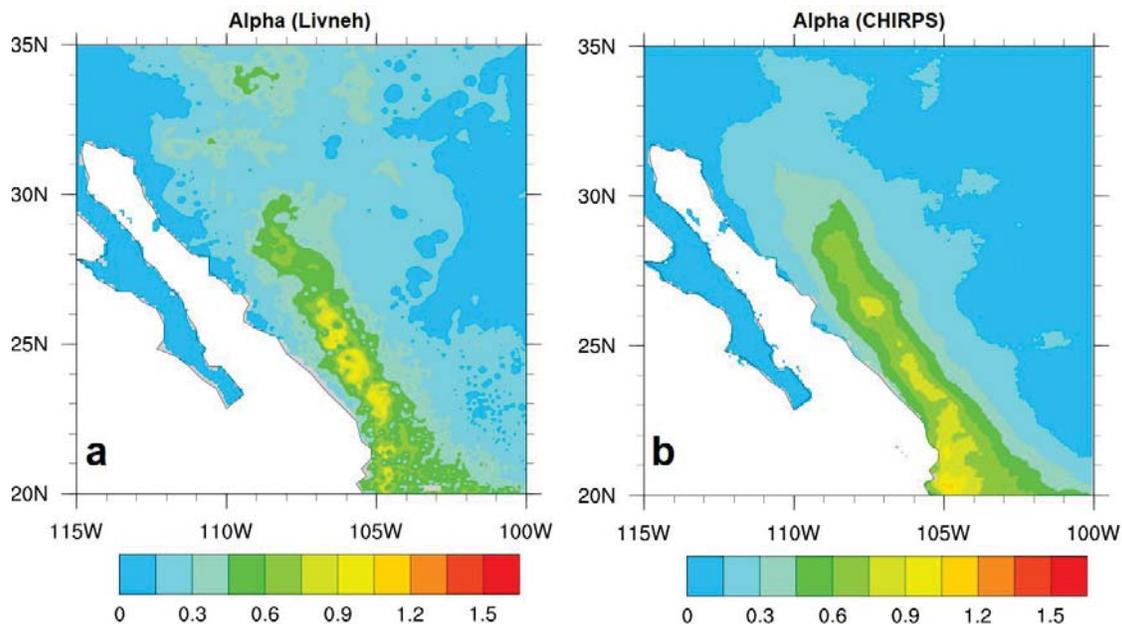


Figura 3 : Parámetros de forma ( $\alpha$ ) de la función de distribución Gamma de la precipitación para el período 1981-2013. Livneh (a) y CHIRPS (b).

Al analizar el comportamiento del parámetro de escala ( $\beta$ ), el cual indica cuán extendida o retraída es la cola de la distribución, se observa (figura 4) similitud en el patrón espacial de  $\beta$  a partir de los datos que muestran ambas bases, este aspecto fue destacado también en el patrón espacial de  $\alpha$ . A pesar de este comportamiento de  $\beta$ , se reconocen diferencias entre Livneh y CHIRPS sobre todo en el valor del parámetro, por ejemplo, en la península de Baja California, así como en la costa de los estados de Sonora y Sinaloa esta diferencia llega a alcanzar valores entre 10 y 40. En la península de Baja California se resalta este resultado observado en  $\beta$ , porque esta región presenta una lámina de precipitación en el trimestre inferior a 100 mm por encima de la latitud 25 ° y superior a 100 mm e incluso a 160 mm en latitudes inferiores a 25 ° (Figura 11), una hipótesis del porqué de este alargamiento de la cola de distribución para los puntos sobre la península está dado por el paso de los ciclones tropicales en este período (Dominguez y Magaña, 2018), hay que destacar que estos sistemas poseen una alta capacidad pluvial, otro aspecto es que la península recibe mayor precipitación durante el invierno debido al paso de sistemas extratropicales como los frentes atmosféricos.

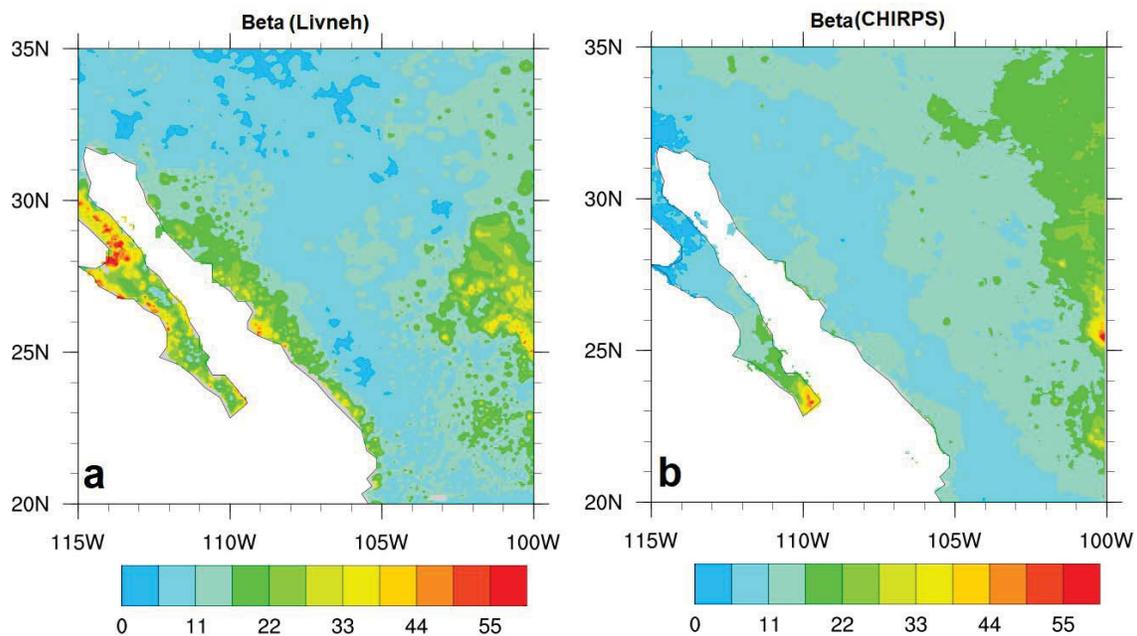


Figura 4 : Parámetros de escala ( $\beta$ ) de la función de distribución Gamma de la precipitación para el período 1981-2013. Livneh (a) y CHIRPS (b).

Estas diferencias observadas indican una mayor variabilidad de la precipitación hacia la península. Esta situación puede estar dada por la afectación de ciclones tropicales en una región árida, como lo es la península. Las diferencias entre las bases de datos están dadas a partir del algoritmo de cómo se generaron. Livneh utiliza solo datos en superficie y a través de técnicas de interpolación obtienen la malla, mientras que para CHRIPS además de datos en superficie, utiliza información satelital. Se observa además que los valores más bajos están localizados justo entre la costa y la Sierra Madre Occidental justo donde ocurre el máximo acumulado de la precipitación en el área de estudio, esto indica un comportamiento aproximándose a la distribución normal para esta región, ello coincide con los resultados mostrados a partir del análisis del parámetro de forma.

#### **4.1.3 Análisis del patrón espacial y acumulado de la precipitación en las bases de datos.**

Antes de iniciar este punto, vale aclarar algunos términos que se utilizarán en el siguiente análisis. Se consideran dos aspectos para hacer la comparación entre las bases de datos: 1) la configuración espacial que muestra el patrón de la precipitación y 2) el valor de la misma. Respecto al primero se hace énfasis en la localización de los valores máximos de la variable, mientras que en cuanto al acumulado se mencionan las diferencias relevantes, resaltando las diferencias entre las dos bases de datos que superan los 100 mm.

Se calculó la climatología mensual de la precipitación para el período 1981 - 2013. La decisión de trabajar con todos los meses es con el objetivo de visualizar el ciclo anual que tiene la precipitación en el noroeste del país. Las imágenes se agruparon por trimestres (enero - marzo, abril - junio, julio - septiembre, octubre - diciembre) y bases de datos para apoyar lo que se expone del análisis de las diferencias que se pueden esperar.

Durante el primer trimestre (enero - marzo), figura 5, el patrón espacial es similar en ambas bases de datos. Sin embargo, respecto al valor de la variable se aprecian

notables diferencias al oeste de la Sierra Madre Occidental en el inicio y fin del período. En el siguiente trimestre (abril - junio) se mantiene la concordancia en cuanto al patrón espacial, siendo más notable en el mes de junio (figura 6c y figura 6f). Los puntos donde las diferencias sobrepasan los 100 mm también aparecen en los meses de abril (figura 6a y figura 6d) y mayo (figura 6b y figura 6e), siendo abril donde se presentan las mayores diferencias.

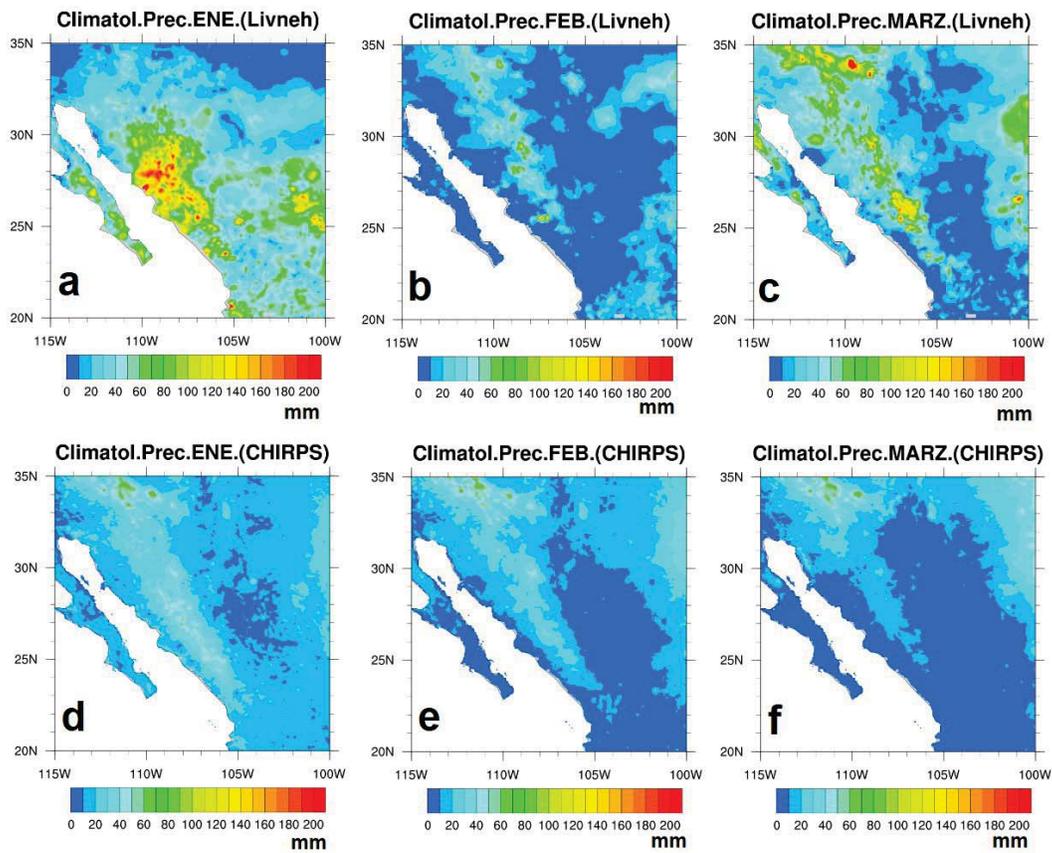
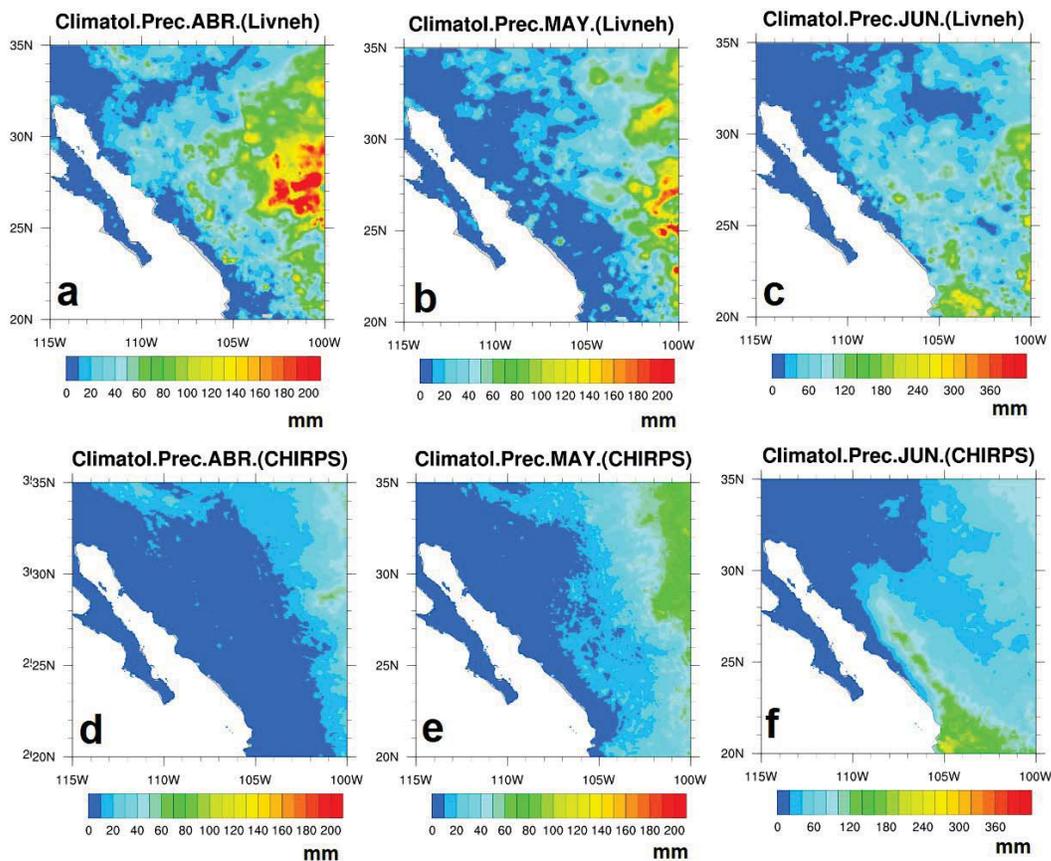


Figura 5: Climatología mensual de la precipitación para el período 1981-2013. a) enero (Livneh), b) febrero (Livneh), c) marzo (Livneh), d) enero (CHIRPS), e) febrero (CHIRPS), f) marzo (CHIRPS).



**Figura 6: Climatología mensual de la precipitación para el período 1981-2013. a) abril (Livneh), b) mayo (Livneh), c) junio (Livneh), d) abril (CHIRPS), e) mayo (CHIRPS), f) junio (CHIRPS).**

El período julio - septiembre (figura 7) es de sumo interés por ser el que se va a analizar con más detalle en la investigación. En este período, se observa un patrón espacial muy similar al observar ambas bases de datos, la evolución temporal y espacial de dicho patrón concuerda con la dependencia latitudinal que presenta la precipitación hacia la costa mexicana del océano Pacífico, tal como se muestra en la literatura (Mosiño y García, 1974; Higgins et al., 1999; De Carvalho, 2016). Respecto a las diferencias entre bases de datos, estas persisten pero hay una mayor concordancia respecto a los trimestres que anteceden. Sin embargo, el último trimestre (octubre - diciembre) es el que muestra las mayores diferencias en cuanto al patrón espacial, de manera particular, octubre (figura 8a y figura 8d) es donde se presentan las diferencias más notables.

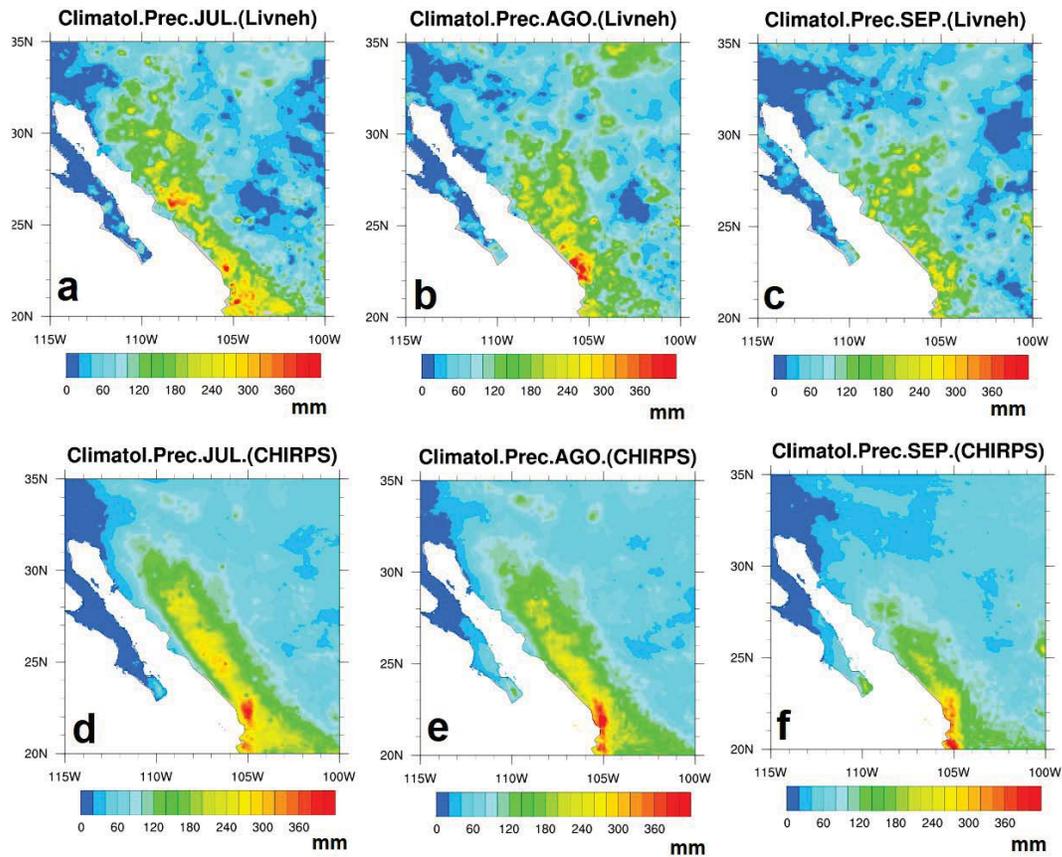
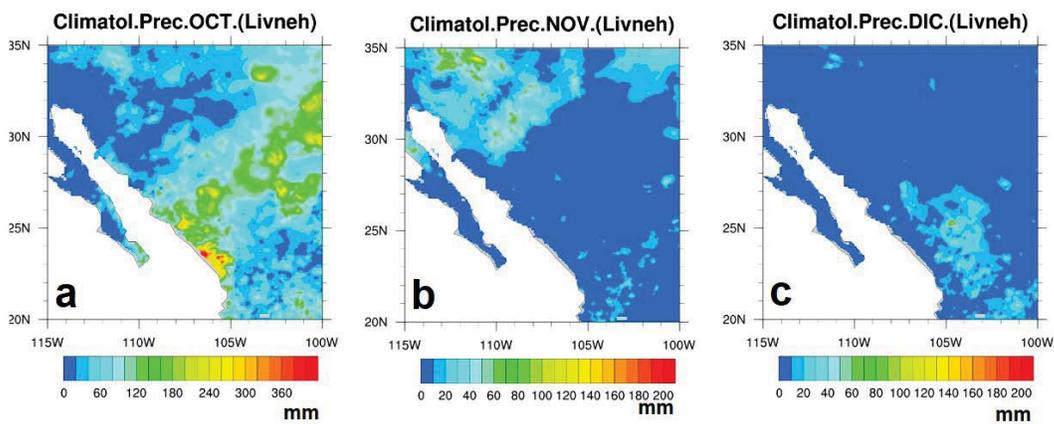
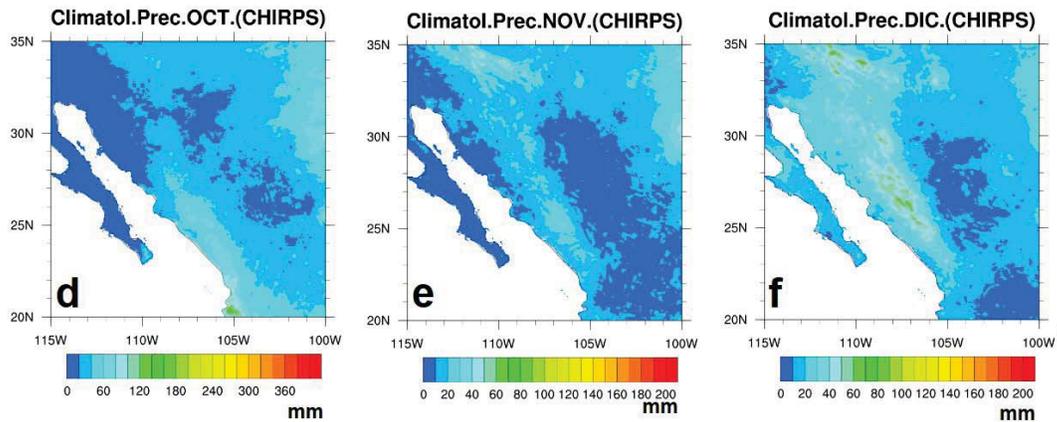


Figura 7: Climatología mensual de la precipitación para el período 1981-2013. a) julio (Livneh), b) agosto (Livneh), c) septiembre (Livneh), d) julio (CHIRPS), e) agosto (CHIRPS), f) septiembre (CHIRPS).





**Figura 8: Climatología mensual de la precipitación para el período 1981-2013. a) octubre (Livneh), b) noviembre (Livneh), c) diciembre (Livneh), d) octubre (CHIRPS), e) noviembre (CHIRPS), f) diciembre (CHIRPS).**

Hasta este momento, se destaca que las mayores diferencias observadas respecto a los dos aspectos analizados se localizan en los meses del período seco. Es de resaltar que la base de datos Livneh se generó a partir de datos en superficie, mientras que CHIRPS combina información de superficie y satelital. Llama la atención este comportamiento tan distinto durante el periodo seco. Para mostrar una posible causa del mismo, se resalta que el territorio mexicano durante el período seco es afectado por sistemas extratropicales como frentes atmosféricos, en los mismos se combina nubosidad estratiforme y cumuliforme; sin embargo, durante el período lluvioso domina la circulación propia de la zona tropical y se favorece el desarrollo de nubosidad de tipo convectiva. Es de esperar una mayor homogeneidad en cuanto al tipo de nube que da origen a la precipitación en el país durante el período lluvioso respecto al seco. Pudiendo estar relacionado con la observación anterior, se destaca también que el período de interés (julio - septiembre) constituye el más homogéneo respecto al resto, ello a partir de las dos aspectos que se utilizaron para comparar.

#### 4.1.4 Análisis puntual de las bases de datos.

En este punto de la investigación se seleccionaron 4 áreas (Fig. 9) con dimensiones de 1 ° por lado. La selección de dichos puntos está dada en zonas homogéneas en cuanto a la lámina de precipitación en el trimestre y el valor de desviación estándar que se presenta en el período estudiado.

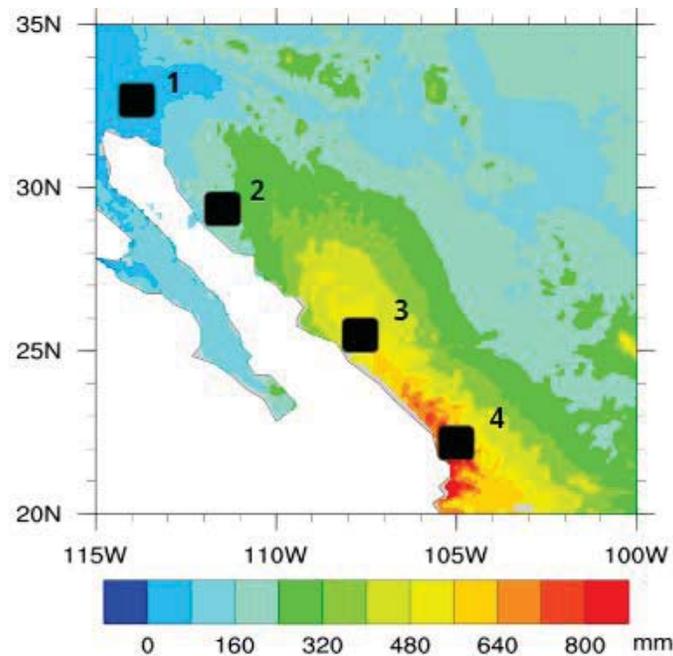
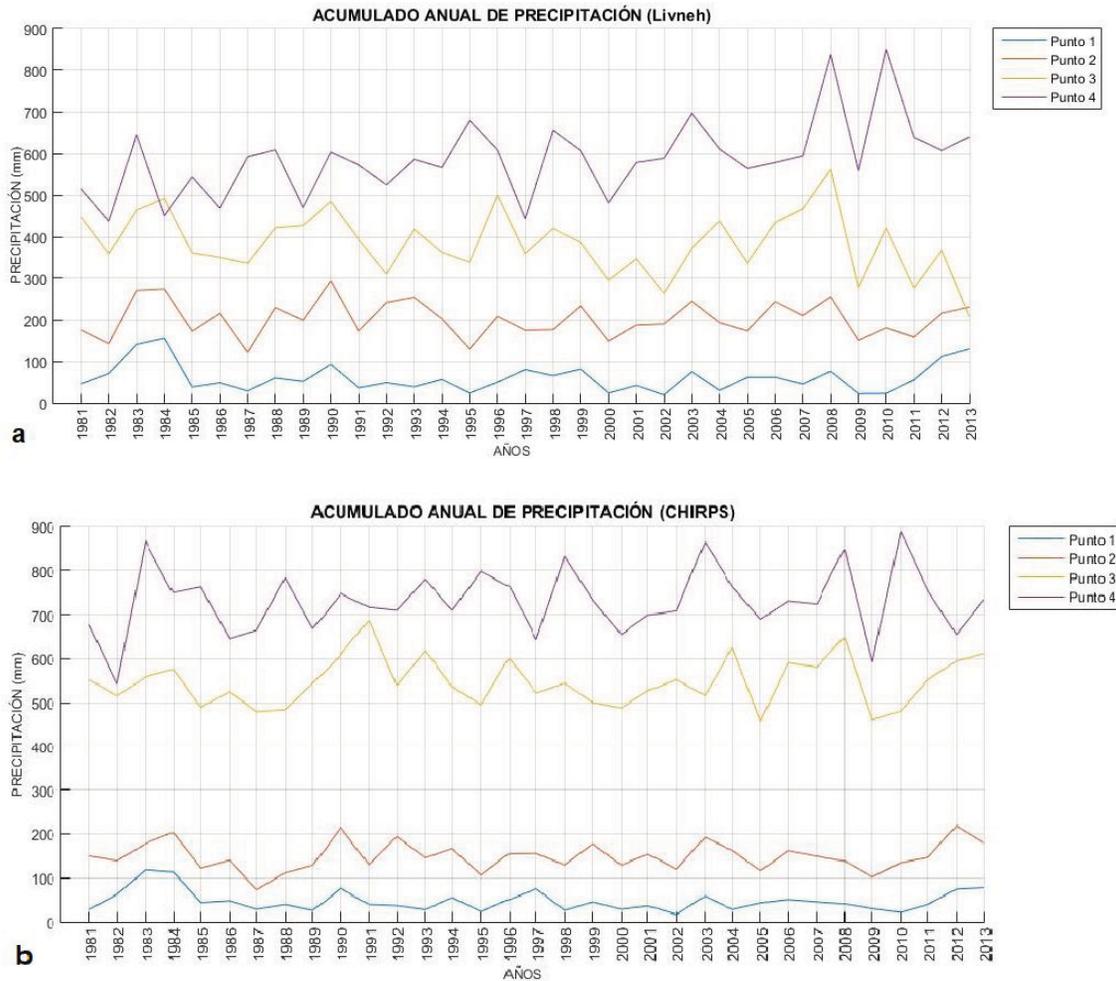


Figura 9: Localización de los puntos para el estudio puntual de las bases de datos.

Vale señalar que del punto 1 al 4 hay una reducción de la lámina de precipitación, ya que el punto 1 está localizado sobre áreas del desierto de Sonora, mientras que el punto 4 está centrado en el área de mayor pluviosidad de la región de estudio.

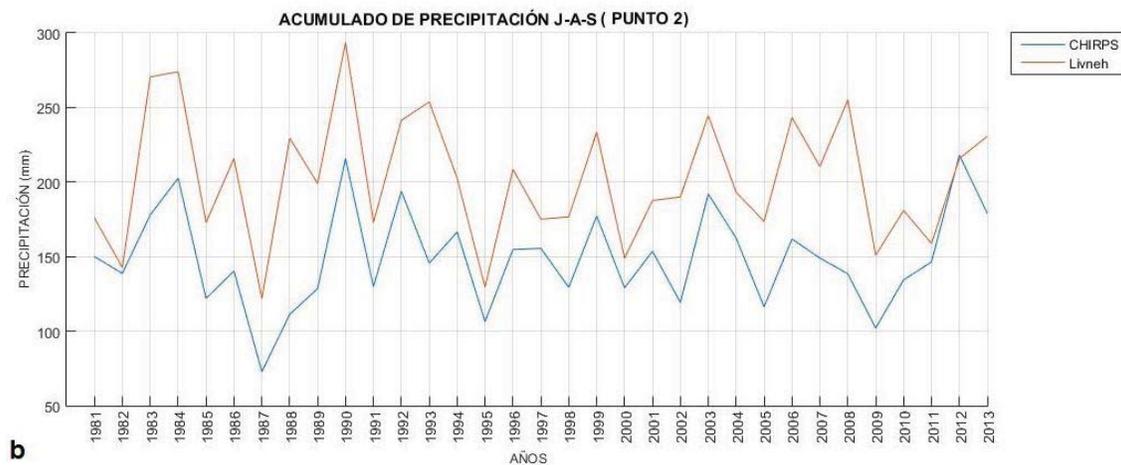
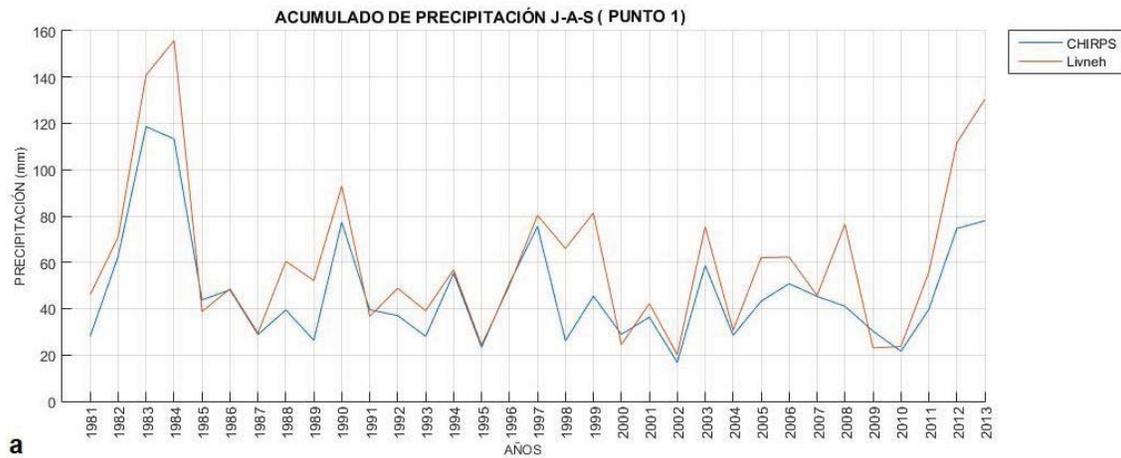
En la figura 9, se muestra el comportamiento temporal para cada uno de los puntos y en cada base de datos. Resaltan los umbrales de precipitación entre los que oscilan los puntos 3 y 4, en CHIRPS este intervalo está entre 500 mm y 900 mm de precipitación acumulado en el trimestre, mientras que en Livneh los valores oscilan entre 300 mm y 800 mm, la diferencia en el acumulado oscila los 200 mm para este período, ello contrasta con el similar comportamiento de la serie de datos.

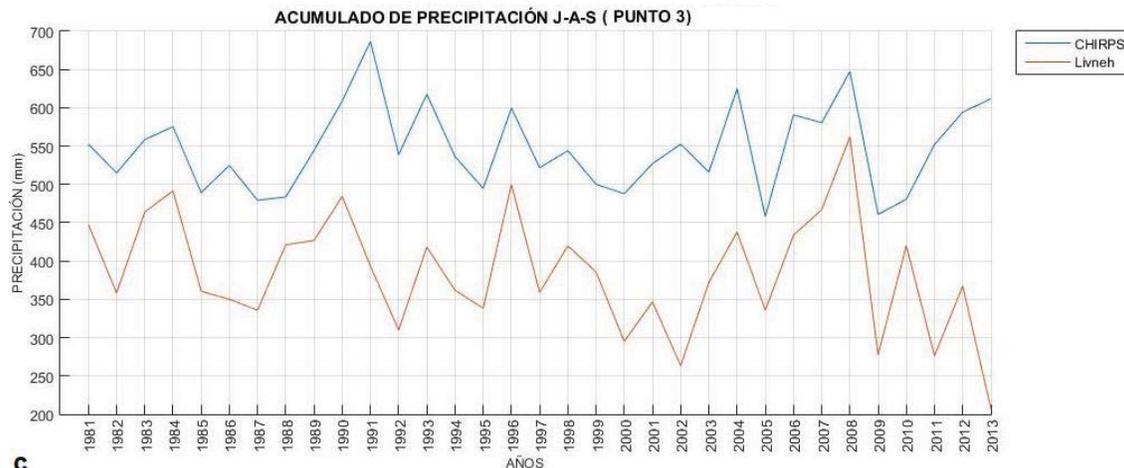


**Figura 9: Serie de tiempo del acumulado anual de precipitación para cada punto. Livneh (a) y CHIRPS (b).**

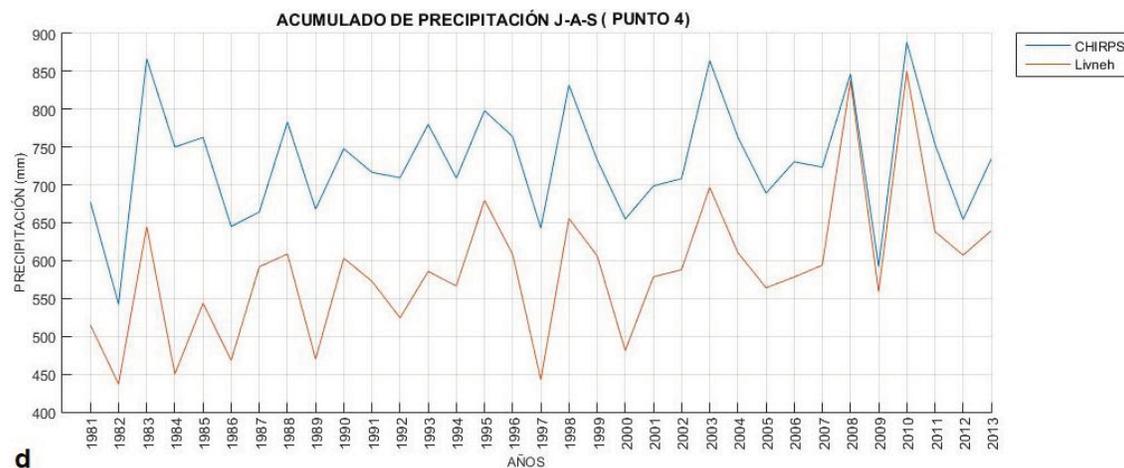
En relación con los valores mostrados por los puntos 1 y 2 se invierte la situación respecto a lo expuesto con anterioridad, la base de Livneh muestra mayor precipitación con un intervalo entre 50 mm y 300 mm, mientras que CHIRPS muestra valores entre 50 mm y 250 mm. Estas variaciones muestran cierta sensibilidad de la base de datos CHIRPS para representar la precipitación en regiones donde la lámina anual es baja respecto al resto del área de estudio, pero no es así en los puntos donde ocurre el máximo de precipitación.

En la figura 10 se continúa con el análisis puntual, se observa que para el punto 1 la base de datos Livneh muestra más precipitación respecto a CHIRPS, este aspecto solo se aprecia para dicho punto, en el resto de los puntos existe un sesgo entre ambas bases de datos que puede rebasar los 100 mm de precipitación. A pesar del sesgo mencionado, se destaca que, tanto Livneh como CHIRPS muestran similar comportamiento en la serie de tiempo de la precipitación en la región de estudio.





c



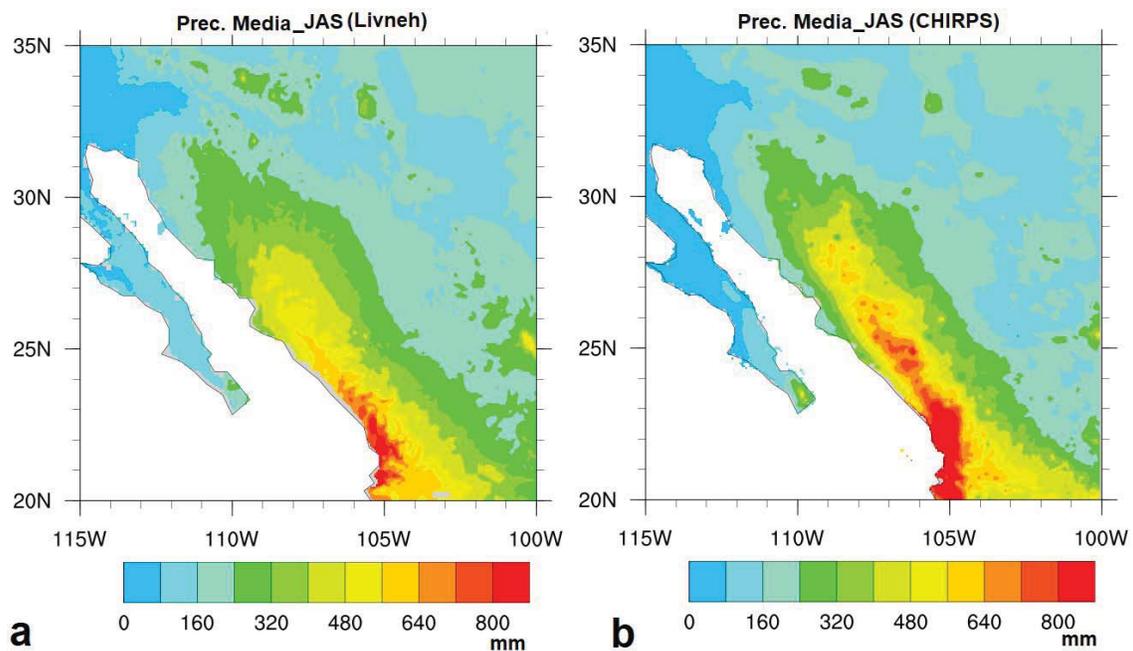
d

Figura 10: Serie de tiempo del acumulado anual de precipitación. a) Punto 1, b) Punto 2, c) Punto 3, d) Punto 4.

## 4.2 Climatología de la precipitación en la región del noroeste.

En la figura 11, se muestran los valores acumulados de precipitación en el trimestre que corresponde al período julio - septiembre. Se observa que el patrón espacial de la precipitación muestra similitud, aunque no coinciden en el valor de la variable. Ambas bases de datos coinciden en la localización de los máximos de precipitación y se destaca que, en la base de datos CHIRPS, el valor acumulado de la variable es mayor, así como su extensión espacial. Estas diferencias pueden estar dadas por las consideraciones y algoritmos a partir de los cuales se generaron los datos.

Una idea que surge cuando se analizan los mapas de precipitación acumulada (Figura 11), es que la base de datos Livneh utiliza datos observados en superficie, la resolución espacial que tiene un pluviómetro queda restringida al área donde colecta la precipitación. Esta cuestión puede verse positiva respecto a CHIRPS que usa información satelital, ya que un pluviómetro es capaz de registrar la precipitación de un evento pluvial que por sus dimensiones espaciales pueda quedar fuera del alcance del satélite.



**Figura 11: Acumulado de precipitación en el trimestre julio, agosto y septiembre para el período 1981-2013. a) Livneh y b) CHIRPS.**

Al analizar la desviación estándar para el trimestre (figura 12), se observa que las áreas donde se localizan los máximos de precipitación acumulada (figura 11) corresponden con las de mayor desviación estándar, ello se traduce en una mayor variabilidad del valor de la precipitación en esas regiones en el trimestre de estudio.

Por su parte, los valores más bajos de desviación estándar corresponden con las áreas donde se produce la lámina más baja de precipitación, esta región se localiza en la porción noroeste del área de estudio. Se destaca que, en el sur de la península de Baja California, se observan valores altos de desviación estándar. Esto es más pronunciado en la base de datos CHIRPS, aunque también se aprecia en Livneh. La situación descrita al sur de Baja California contrasta con la lámina climatológica de precipitación, la cual es inferior a los 500 mm, y aún más en la base de datos Livneh. En la literatura se destacó la afectación de los ciclones tropicales y la capacidad de estos de aportar altos valores de precipitación en el sur de la península (Dominguez y Magaña, 2018). El paso de estos sistemas puede verse como responsable de estos altos valores de desviación estándar.

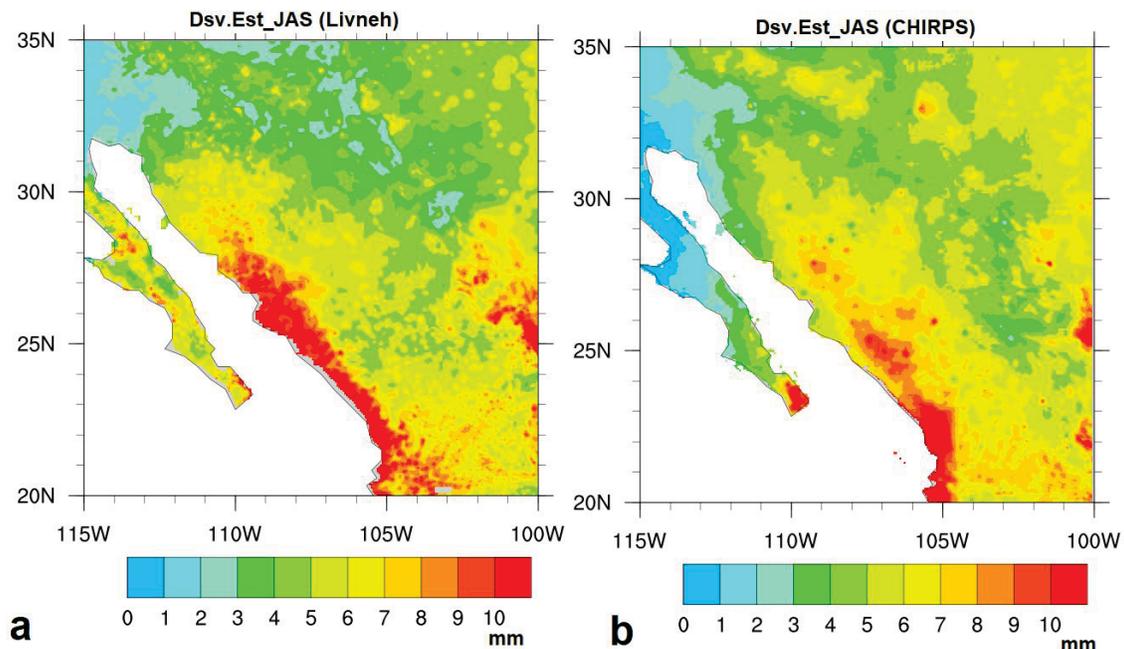


Figura 12: Desviación estándar de la precipitación en el trimestre julio, agosto y septiembre para el período 1981-2013. a) Livneh y b) CHIRPS.

#### 4.5 Análisis del comportamiento espacial del umbral para determinar los eventos extremos.

Establecer un umbral da una idea de cómo se comportan espacialmente los eventos extremos de precipitación. En el caso de esta variable, son disímiles las aplicaciones de contar con mapas donde se reflejen los valores que indican lo que es extremo o no. Un ejemplo de su aplicación es para la reducción de vulnerabilidades ante inundaciones en áreas urbanas o para el diseño de obras hidráulicas. En la investigación se calculó un umbral fijo para cada punto de malla durante el período de estudio, a través de la técnica estadística teoría de valores extremos, mediante el uso de percentiles.

La distribución espacial del umbral muestra que en ambas bases de datos el patrón espacial coincide (Figura 13). Se destaca que los umbrales más altos se ubican justo entre la franja costera y la Sierra Madre Occidental, sobrepasan los 35 mm, ello coincide con resultados obtenidos por Mendoza (2019). En la región que corresponde al desierto de Sonora el umbral se sitúa por debajo de los 10 mm, incluso menor a los 5 mm a partir de los datos de CHIRPS, ello era de esperar por ser esta región una zona árida.

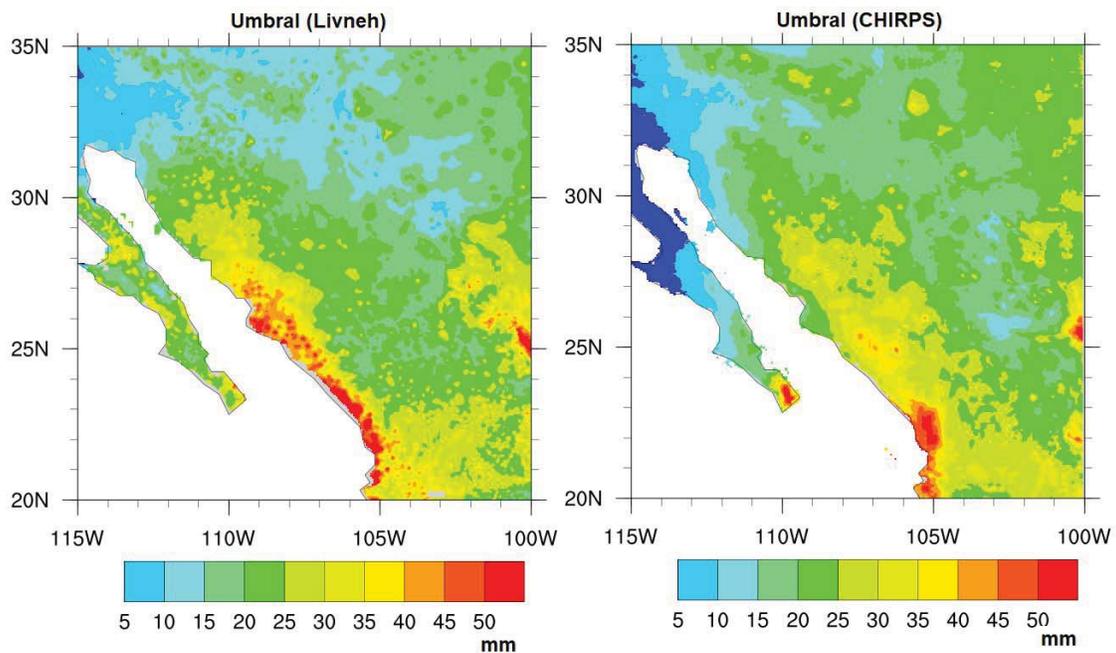


Figura 13: Umbral para determinar los eventos extremos de precipitación.

#### **4.6 Análisis del comportamiento de los eventos extremos en relación con su frecuencia.**

En el análisis del comportamiento climatológico de los eventos extremos (figura 14), se destaca que en ambas bases de datos en el mes de septiembre ocurre un incremento en el número de eventos extremos que se presentan respecto a los meses de julio y agosto. Para este mes, el área que corresponde con la ocurrencia de un número de eventos por temporada mayor a dos es superior al resto de los meses analizados. Un comportamiento general, por temporada, es la presencia de al menos un evento extremo en cada punto de malla; de manera aislada, sobre todo al noroeste y noreste del mapa, existen áreas donde se llegan a alcanzar más de dos eventos por temporada.

Con anterioridad, se destacó que septiembre es el mes que reporta un mayor número de eventos extremos; sin embargo, justo este mes es el de menor lámina de precipitación. En el análisis de la lámina de precipitación trimestral (figuras 7c y 7f), se encontró que en el mes de septiembre hay una reducción de la misma respecto a los meses de julio y agosto. Esta situación se contrapone con el hecho que en septiembre hay un incremento del número de eventos extremos respecto al resto del trimestre.

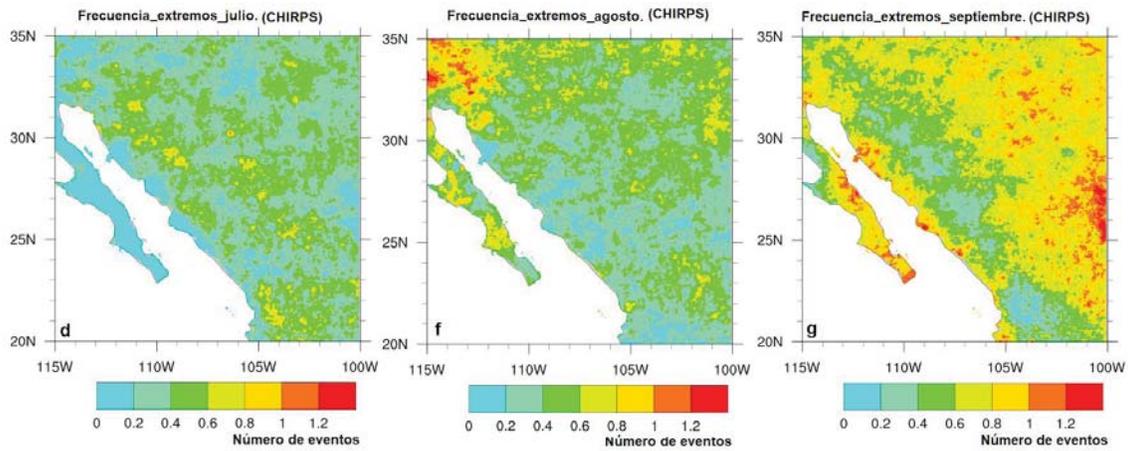
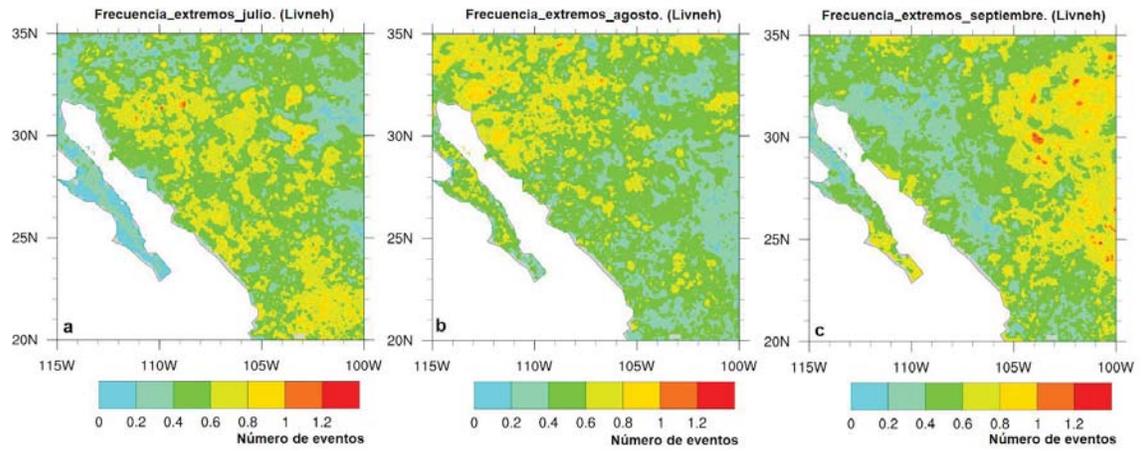
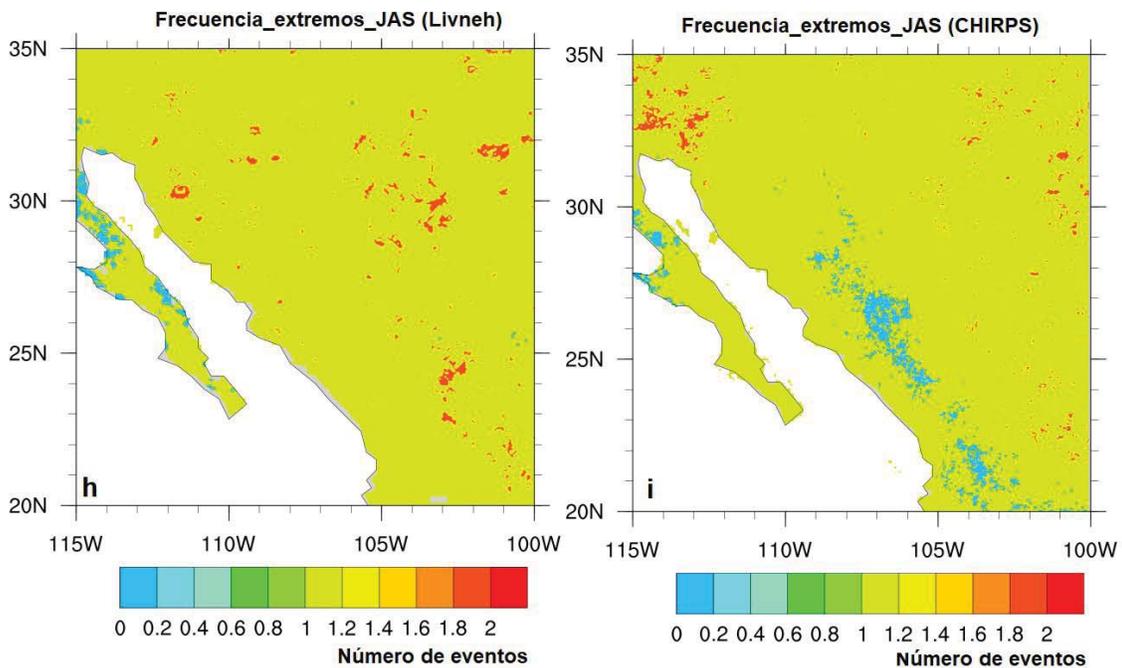
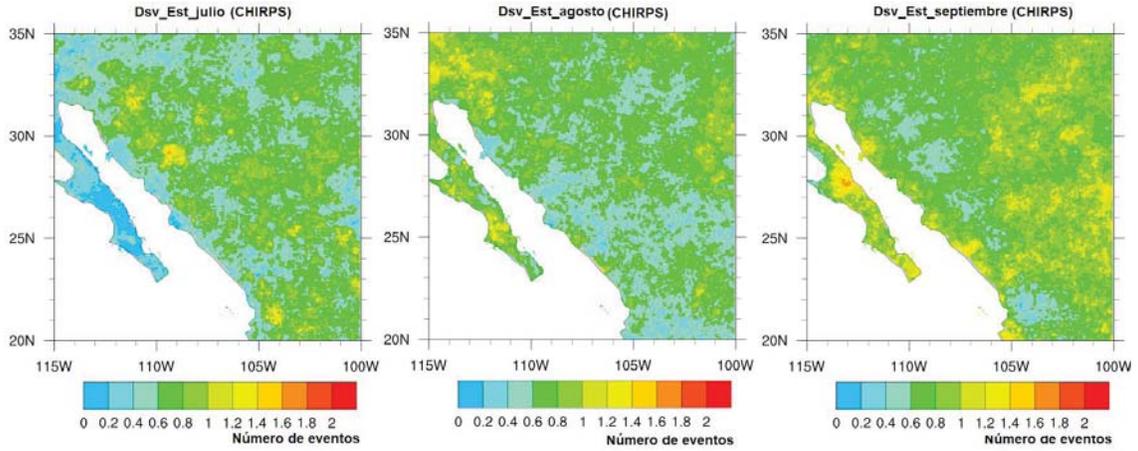
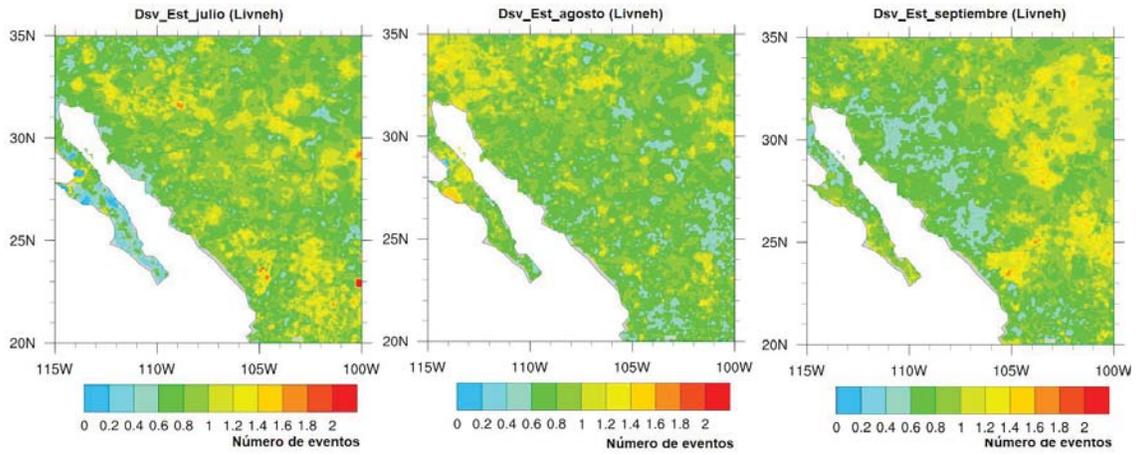


Figura 14: Climatología del comportamiento espacio-temporal de los extremos en la precipitación en el trimestre y cada mes que lo componen. a) julio (Livneh), b) agosto (Livneh), c) septiembre (Livneh), d) julio (CHIRPS), e) agosto (CHIRPS), f) septiembre (CHIRPS), h) trimestre (Livneh), i) trimestre (CHIRPS).

En la figura 15 se muestran los valores de desviaciones estándar asociados al número de eventos extremos que se presentan por temporada. En el análisis mensual hay un comportamiento similar respecto a los valores que se obtuvieron.



Sin embargo, el mes de septiembre muestra valores ligeramente más altos, superior a 1.2 eventos extremos, sobre todo al este del área de estudio. Este último aspecto es más pronunciado en la base de datos CHIRPS. De modo general, por cada temporada se presentan valores de desviación estándar que oscilan entre 0.4 y 1.2 eventos extremos.



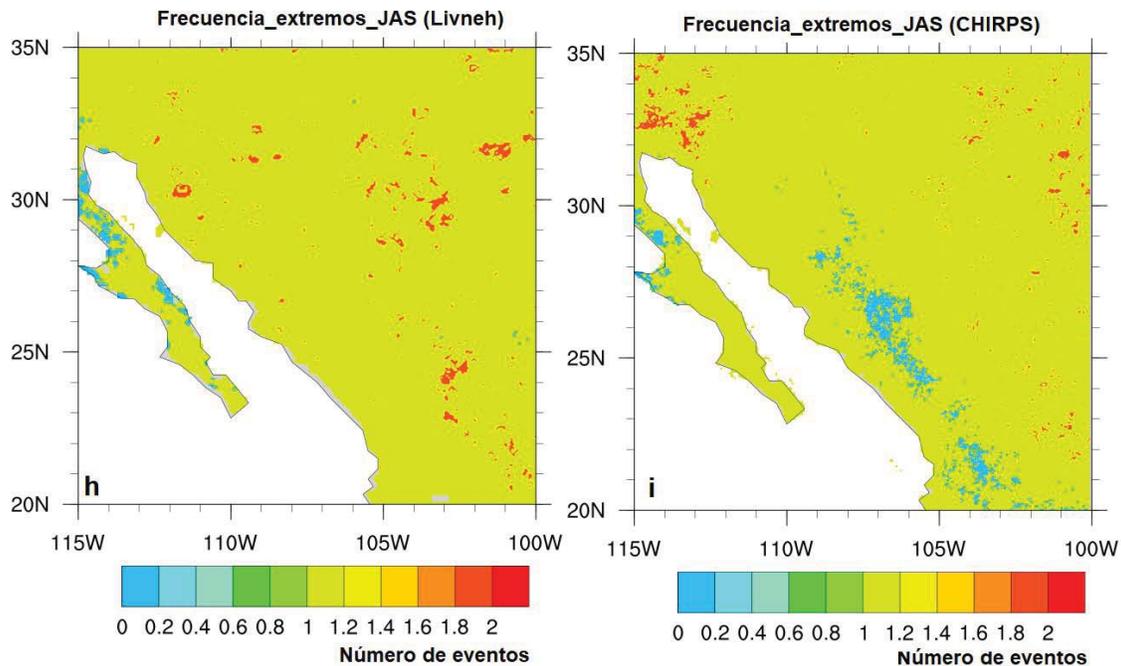
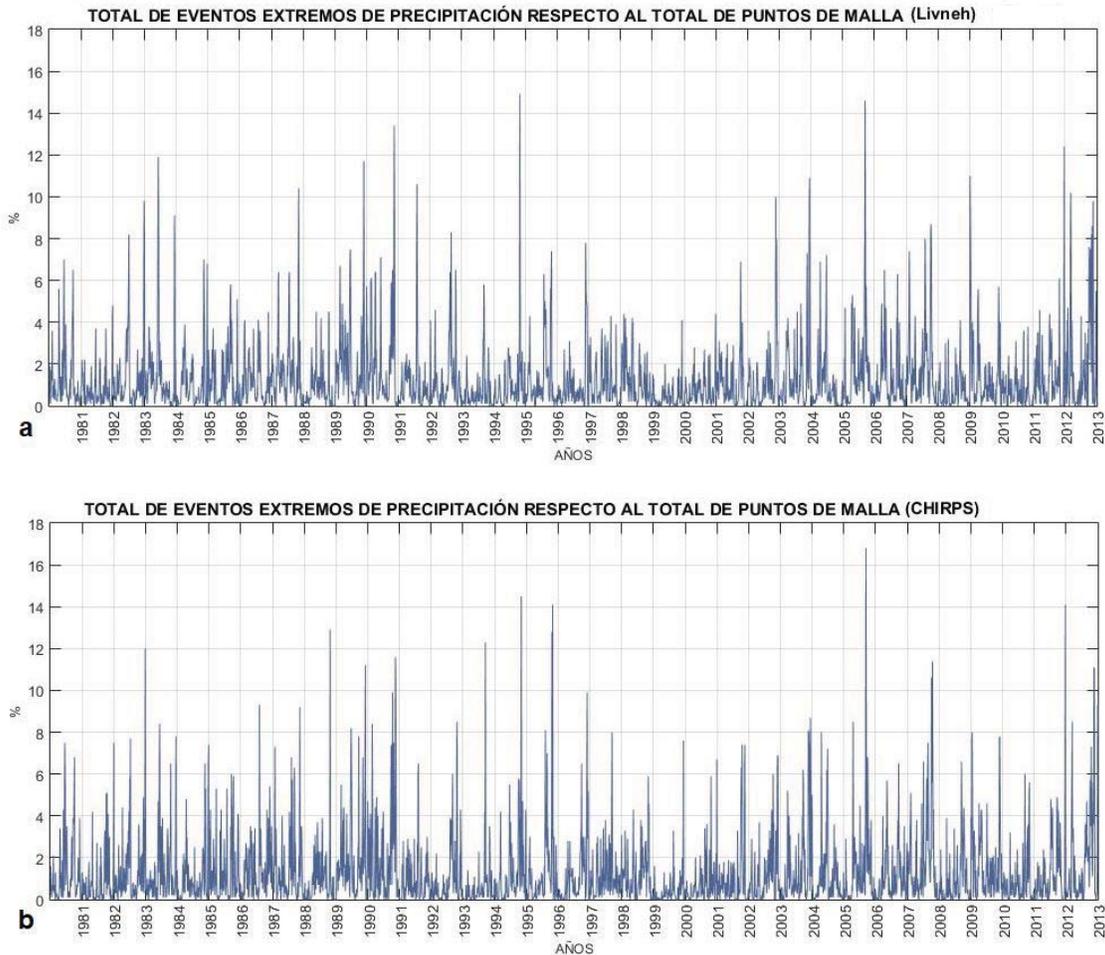


Figura 15: Climatología del comportamiento espacio-temporal de la desviación estándar los extremos en la precipitación en el trimestre y cada mes que lo componen. a) julio (Livneh), b) agosto (Livneh), c) septiembre (Livneh), d) julio (CHIRPS), e) agosto (CHIRPS), f) septiembre (CHIRPS), h) trimestre (Livneh), i) trimestre (CHIRPS).

En la figura 16, se muestra la serie de tiempo de los eventos extremos a partir de los datos diarios. Para ello, se obtuvo el total de puntos de malla que reportaron precipitación extrema en cada temporada del período que se trabaja. Para hacer comparables los resultados entre ambas bases de datos, la gráfica muestra el porcentaje de puntos de malla donde ocurrió un extremo respecto al total de puntos.

Se destaca la similitud en el comportamiento de ambas bases de datos, se observó la coincidencia entre períodos en los que ocurrió un mínimo en el número de extremos, ello es apreciable desde mediados de la década de 1990 hasta 2005; mientras que desde 1987 hasta 1992 ocurre un máximo en la cantidad de extremos que ocurrieron. En la escala diaria, se observa que los eventos ocupan un área

menor a 4 %, los casos más extremos sobrepasan el 12 %, y solo ha ocurrido en CHIRPS y Livneh en 4 y 6 ocasiones, respectivamente.



**Figura 16: Total de eventos extremos diarios reportados en las bases de datos a) Livneh y b) CHIRPS.**

Para el final de cada temporada, se obtuvo el acumulado en porcentaje de eventos extremos (figura 17). La finalidad de estos cálculos es hacer comparables los resultados de ambas bases de datos, ya que presentan diferentes densidades de punto de malla. Se observa un comportamiento similar al de la Figura 16 en relación con la serie de tiempo de los eventos extremos. En general, se observa que la base de datos CHIRPS detectó un número mayor de casos extremos respecto a Livneh.

Algunas características particulares, muestran que existen períodos donde ello no se cumple, por ejemplo de 1995 a 1998. En cada temporada este ha oscilado de 40 % a 200 %.

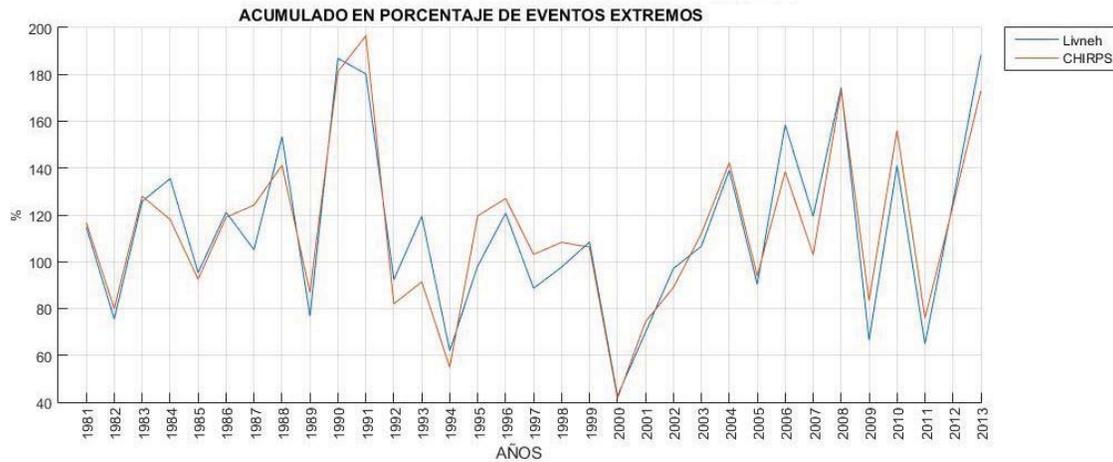


Figura 17: Total de eventos extremos reportados en las bases de datos Livneh y CHIRPS.

Al analizar la serie temporal del total de eventos extremos que se presentan en cada uno de los meses que componen el trimestre de estudio (figura 18), se observó que el porcentaje de puntos de malla donde se reportó un extremo, oscila entre 40 % y 180 %, ello se cumple en ambas bases de datos. Livneh y CHIRPS presentan coherencia en los resultados. En el análisis mensual, se aprecia más compacta la serie temporal de Livneh, los meses tienen similar comportamiento; sin embargo, existe un sesgo en CHIRPS. El mes de septiembre es el que muestra preferencia para que ocurran eventos extremos. Además, se destaca que los meses tienen un comportamiento similar entre ellos, oscilando el porcentaje acumulado entre 20 % y 60 %, aunque existe preferencia que en el mes de septiembre exista un número mayor de casos extremos. Este aspecto es más notorio en CHIRPS. La Figura 19 muestra los porcentajes de frecuencia para cada mes de la temporada, para la base de datos Livneh, los meses de julio, agosto y septiembre muestran frecuencias de

32.8 %, 32.6 % y 34.6 %; mientras que en CHIRPS son de 23.4 %, 30.4 % y 46.3 %.

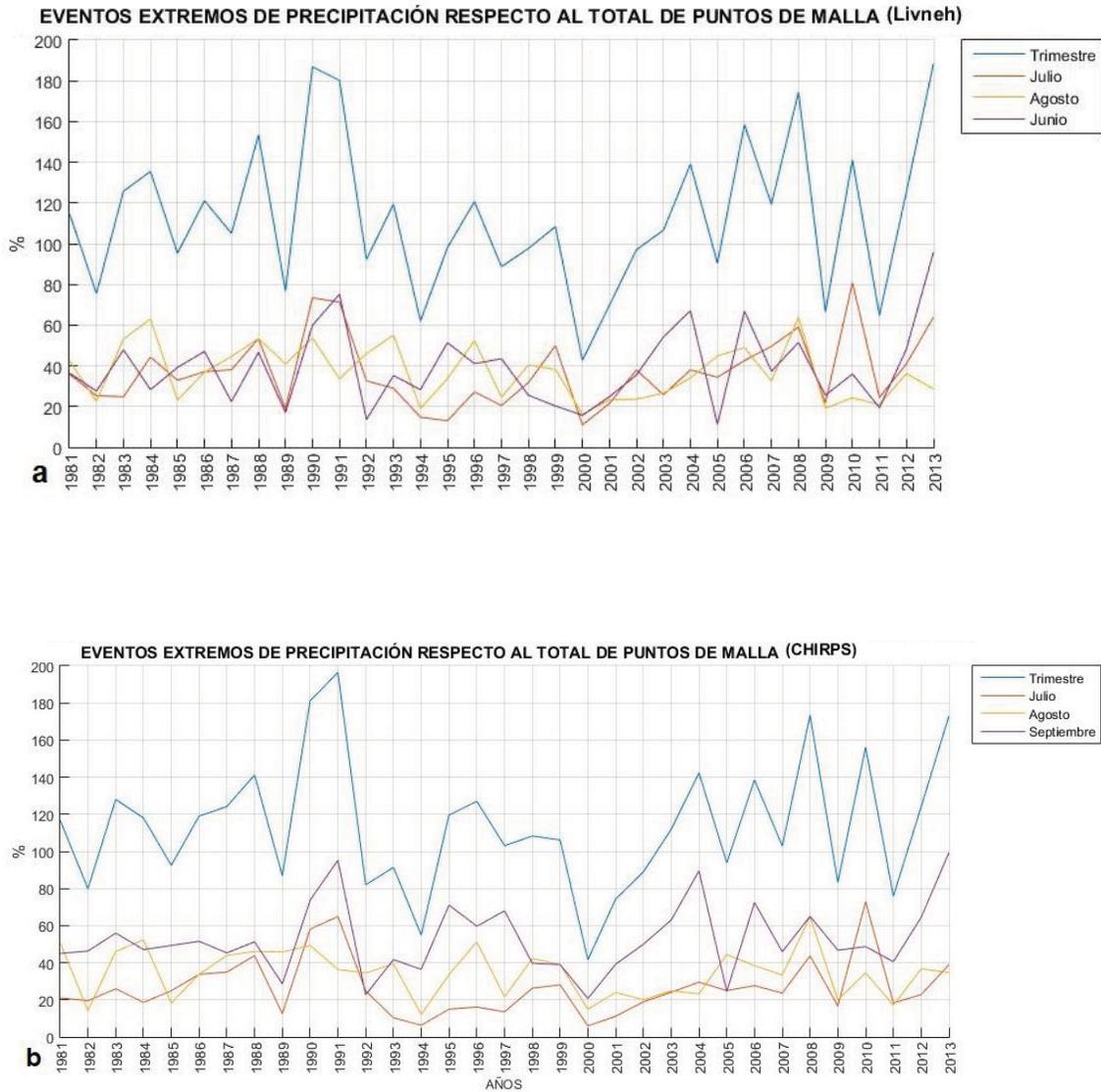


Figura 18: Total de eventos extremos reportados en las bases de datos Livneh (a) y CHIRPS (b).

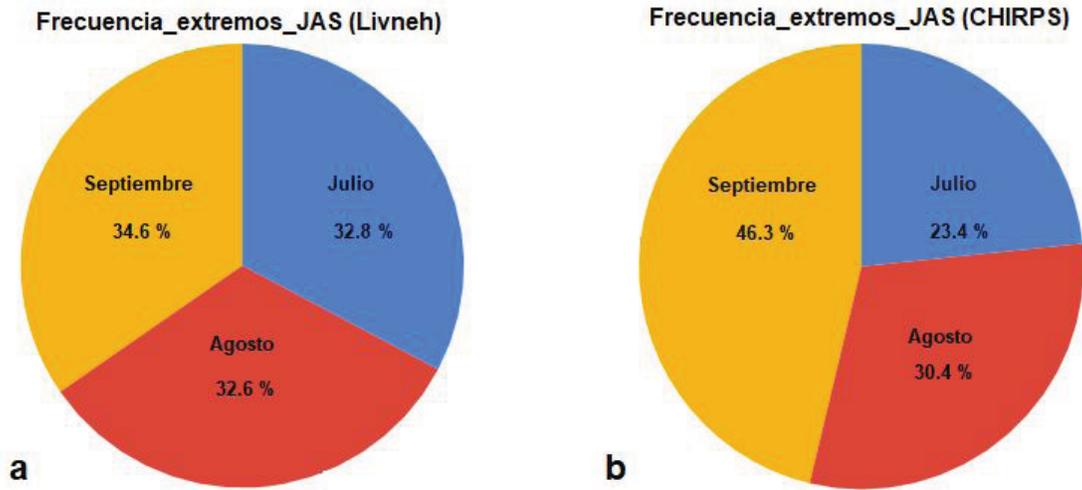


Figura 19: Frecuencia del total de casos extremos reportados en las bases de datos Livneh (a) y CHIRPS (b).

#### 4.7 Estudio de casos.

En esta sección, se hace un estudio de casos. Para determinar la cantidad de eventos a analizar, se utilizó la teoría de valores extremos para contar con una justificación robusta de la selección del número de casos. El primer paso de selección es que los eventos deben ser detectados como extremos por el algoritmo al rebasar el umbral definido, el segundo paso es tomar los eventos que cumplan el paso 1 y que tengan las mayores dimensiones espaciales. Para la selección de los eventos con mayores dimensiones espaciales, se tomaron aquellos que tuvieran el mayor porcentaje de píxeles ocupados respecto al total de píxeles de la malla. Se obtuvo que en Livneh el umbral fue de 6.6 % respecto al total de puntos de malla mientras que en CHIRPS fue de 7.2 %, ello dio lugar a un total de 57 y 53 casos respectivamente. Otro aspecto que se le agrega a este estudio es el análisis de casos a partir del uso de mapas de presión en superficie y de geopotencial en los niveles 850 hPa, 500 hPa y 200 hPa. Este aspecto se sustenta bajo la hipótesis que los casos más extremos, de acuerdo a los criterios mencionados, están forzados por

sistemas de la escala sinóptica (Barlow et al., 2019). Los mapas de presión en superficie, así como el resto de los niveles, fueron generados a partir del reanálisis de NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado, desde su sitio web: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

Luego de tener el número de casos se procedió a separar los que están asociados a ciclones tropicales (CT) y los que no (NCT). La tabla 1 muestra la relación de casos detectados en cada base de datos. Las diferencias observadas en la tabla 1 no significan que algún evento no haya sido detectado por una base de datos, sino que el mismo no cumplió con los requisitos de lámina acumulada en 24 horas y en cuanto a las dimensiones espaciales. No se profundizó en los eventos asociados a CT, puesto que es conocida la alta capacidad pluvial de estos sistemas (Pedrozo et al., 2014; Planos, 2015; Domínguez y Magaña, 2018). Por lo tanto, solo se llevó a cabo el análisis de las condiciones sinópticas en superficie y en altura para los NCT.

**Tabla 1: Casos de estudios observados en cada base de datos.**

	CT	NCT	Total
Livneh	34	23	57
CHIRPS	31	22	53

#### **4.7.1 Análisis del comportamiento en cuanto a frecuencia.**

Como ya se mencionó en el análisis de la frecuencia de los eventos extremos, se encontró una ligera preferencia para que estos eventos ocurran en el mes de septiembre. Mediante el análisis de los casos más extremos (Figura 20), se obtuvo que los eventos asociados a CT muestran una marcada preferencia a ocurrir en el mes de septiembre (79.2 %), muy por encima del resto de los meses del trimestre. Para los casos NCT, ocurre de forma similar, estos afectan más durante el último mes del trimestre (42.3 %), aunque esta diferencia no es tan notoria con respecto a julio y agosto, como ocurrió con los CT.

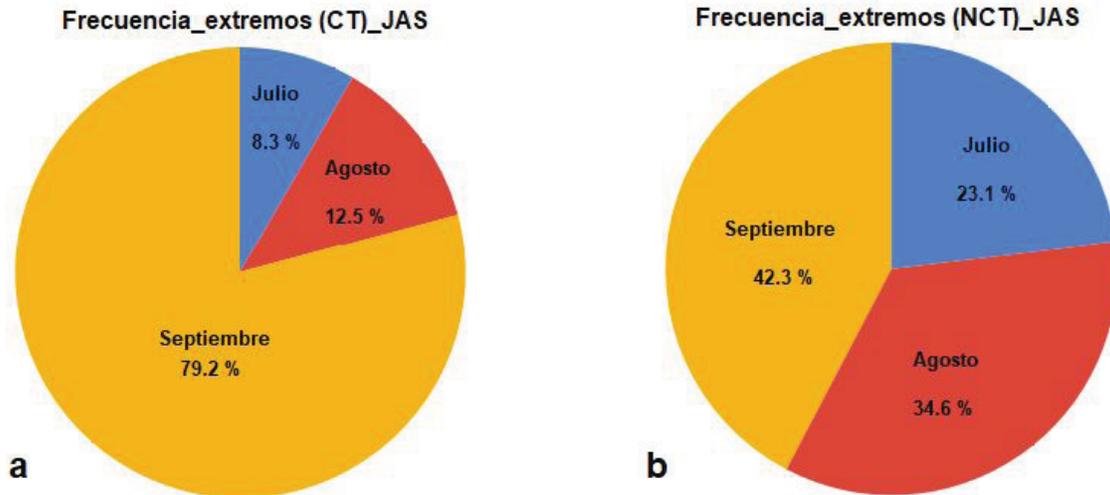


Figura 20: Frecuencia del total de casos extremos reportados en las bases de datos Livneh (a) y CHIRPS (b).

#### 4.7.2 Casos asociados a ciclones tropicales

En este punto de la investigación, se analizarán dos casos asociados al paso de ciclones tropicales en el área de estudio, ellos constituyen los huracanes Ismael de 1995 y John de 2006. Se detectaron los eventos de precipitación más extrema en la región asociados a estos sistemas, no solo superando con creces el umbral de lámina diaria calculada para el área de estudio, sino que también lo referente a dimensiones espaciales. La información mostrada fue extraída del Servicio Meteorológico Nacional de México (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>) y del Centro Nacional de Huracanes de Miami, Fl, EE. UU. (<https://www.nhc.noaa.gov>).

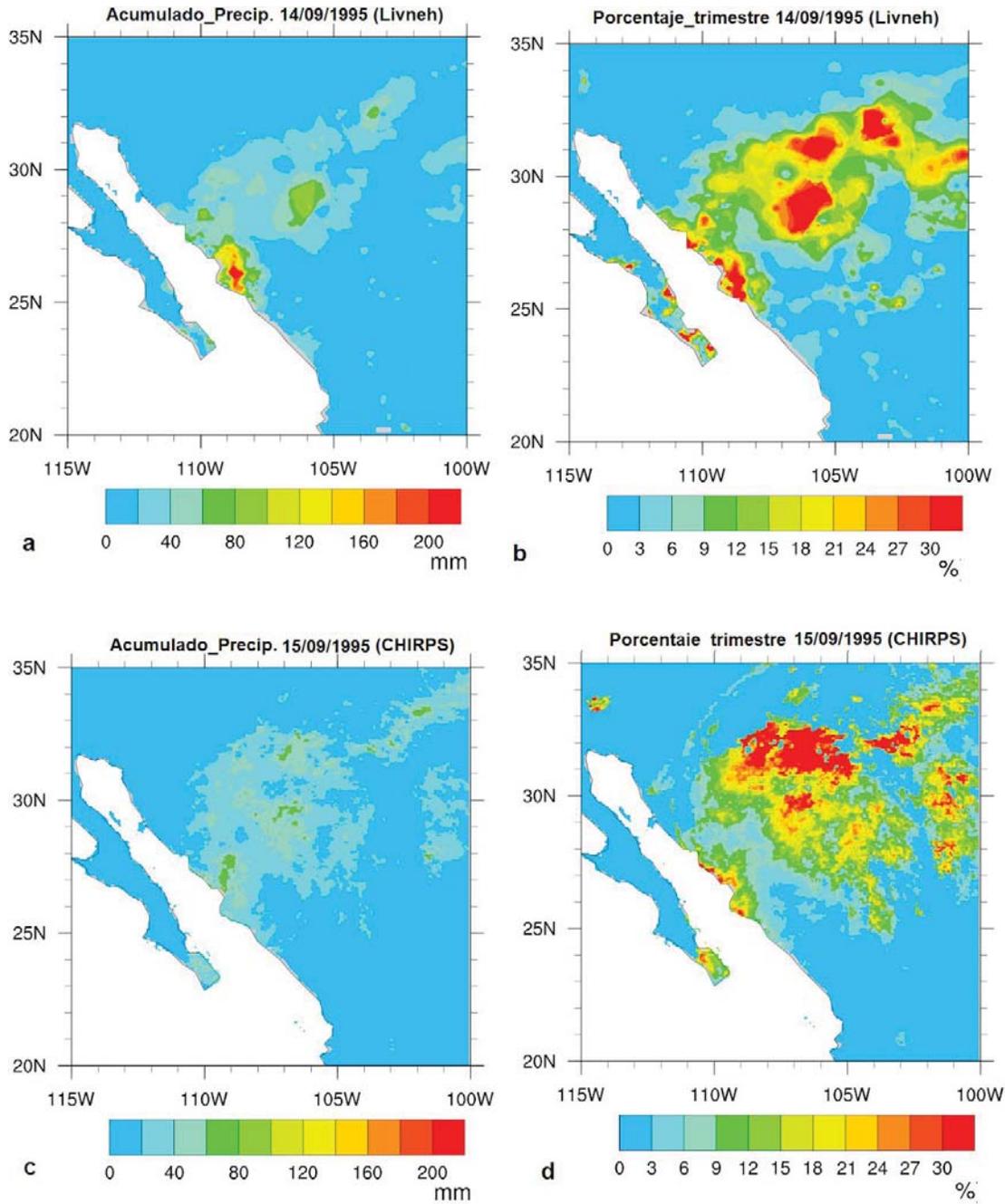
##### Huracán Ismael de 1995

Este sistema se formó el día 12 de septiembre de 1995 en el seno de un área de bajas presiones localizado a 1000 km al sur de la península de Baja California. Con movimiento en dirección norte se fue acercando gradualmente a las costas

mexicanas a la vez que se fortalecía. El día 14 de septiembre, siendo huracán categoría 2 en la escala Saffir-Simpson, su centro impacta Huatabampo en el estado de Sonora. Este sistema provocó destrucción y muertes por los altos valores de precipitación que dejó a su paso, las fuertes marejadas y la velocidad del viento.

Si bien este sistema impactó como huracán el día 14 de septiembre, el día 16 se degradó a remanentes y en los siguientes días continuó aportando lluvias en la región. En el caso de Livneh, el algoritmo detectó que justamente el 14 de septiembre (figura 21a) corresponde al evento de precipitación más extrema asociado a Ismael; sin embargo, en CHIRPS el día corresponde al 15 (figura 21c).

En la figura 21 (a y c), se observa la lámina de precipitación asociada al huracán Ismael. Se aprecian diferencias en el valor de esta variable entre las bases de datos, en la región de impacto, y a partir de los datos de Livneh el acumulado llega a superar los 200 mm; sin embargo, CHIRPS muestra valores máximos que oscilan entre 60 mm y 100 mm. Un aspecto a destacar es el porcentaje que representa la precipitación asociada a este sistema respecto a la lámina observada en el trimestre para ese año. Hay varias investigaciones que han tratado la capacidad pluvial de los ciclones tropicales, Planos (2015) mostró que el acumulado de precipitación asociado al huracán Alberto de 1982 por el occidente de Cuba representó el 32 % de la lámina anual de precipitación para ese año; Domínguez y Magaña (2018) encontraron que la lámina anual de precipitación en el sur de la península de Baja California oscila entre 500 mm y 800 mm en los años que esta región es afectada por ciclones tropicales, mientras que en los años que estos sistemas no afectan el acumulado desciende a 200 mm. Ambas bases de datos muestran que el acumulado de precipitación fue superior al 9 % respecto a la lámina trimestral de 1995 (figura 21b & 21c), pero se destacan áreas donde incluso excede el 30 %. Este aspecto es de suma importancia por todas las repercusiones que tiene el hecho de presentarse en un día más de  $\frac{1}{3}$  de la lluvia de todo el trimestre julio-agosto-septiembre de 1995.



**Figura 21: Huracán Ismael de 1995. a) Lámina acumulada de precipitación el día 14 de septiembre de 1995 (Livneh), b) Porcentaje de la precipitación respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Lámina acumulada de precipitación el día 15 de septiembre de 1995 (CHIRPS), d) Porcentaje de la precipitación respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS).**

## Huracán John de 2006

El huracán John se gestó a partir de un área de bajas presiones localizado a 450 km al sur del Golfo de Tehuantepec. Con movimiento al noroeste, paralelo a la costa mexicana del pacífico, se dirigía a la Península de Baja California. Su centro impactó el día 1 de septiembre de 2006 el sureste del estado de Baja California Sur, justo en el momento de tocar tierra, los vientos máximos sostenidos lo ubicaban en el límite superior de la categoría 2 en la escala Saffir-Simpson.

En los días siguientes, a medida que se su centro de circulación se movía sobre la península de Baja California, el sistema se fue degradando hasta convertirse en una depresión tropical el día 3 de septiembre, y el 4 se disipó; a pesar de ello grandes áreas con núcleos convectivos se movieron sobre los estados de Sonora y Sinaloa, incluso llegó a afectar el estado de Texas en Estados Unidos. La lámina de precipitación asociada a John osciló entre 40 mm y 100 mm el día 2 de septiembre (figura 22c), superando los 200 mm en la porción sur de la península de Baja California. A partir de los datos de Livneh (figura 22a), se observa que el acumulado para el día 3 fue inferior a 160 mm, en extensas áreas de los estados de Sonora y Chihuahua los valores oscilaron entre 20 mm y 60 mm. En relación con el porcentaje que representa la precipitación asociada a este sistema y la lámina observada en el trimestre de julio-agosto-septiembre de 2006 (figura 22b,d), alcanzó valores superiores al 6 %, incluso excedió el 30 % similar como sucedió con el huracán Ismael de 1995.

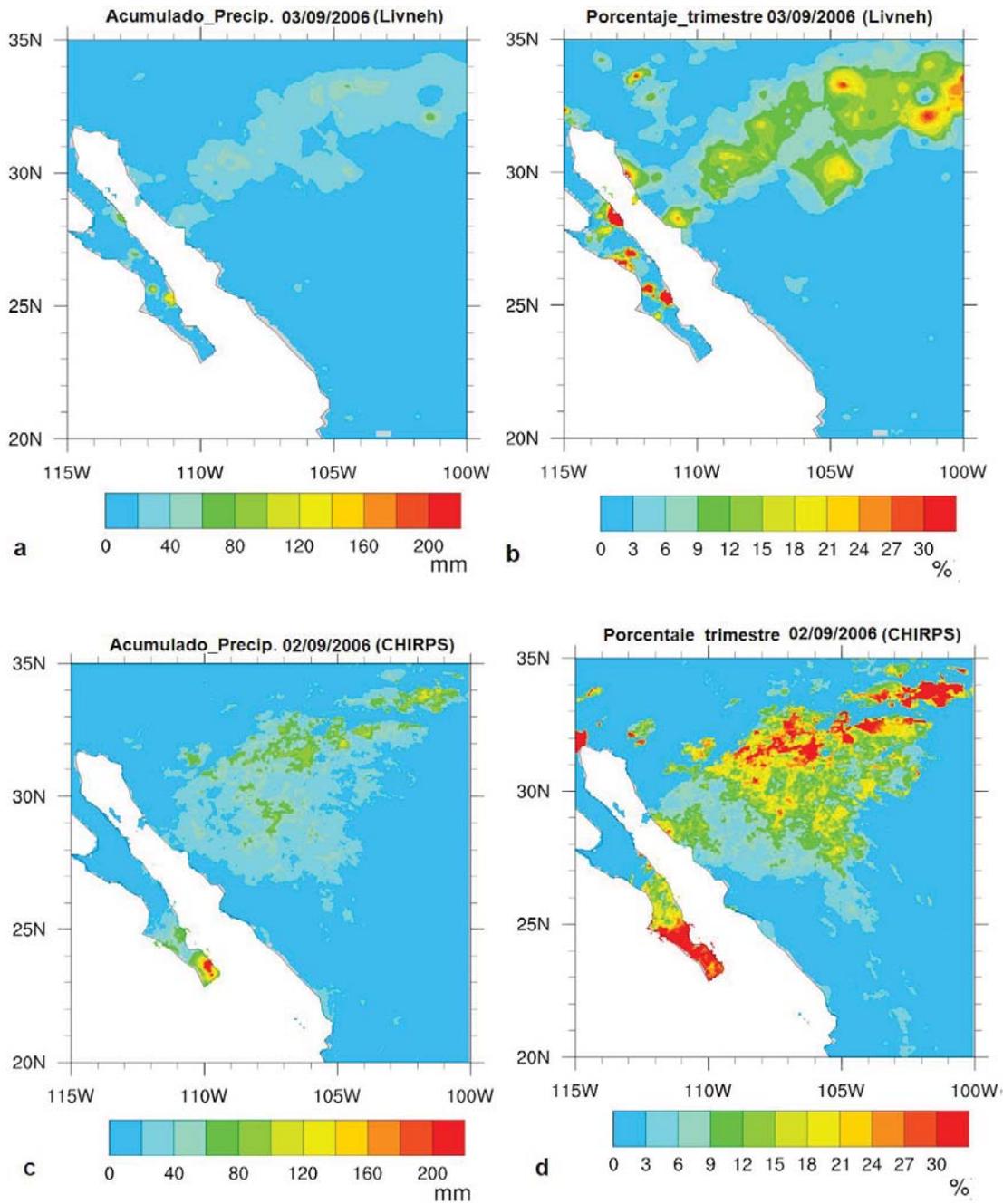


Figura 22: Huracán John de 2006. a) Lámina acumulada de precipitación el día 14 de septiembre de 1995 (Livneh), b) Porcentaje de la precipitación respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Lámina acumulada de precipitación el día 15 de septiembre de 1995 (CHIRPS), d) Porcentaje de la precipitación respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS).

### 4.7.3 Casos no asociados a ciclones tropicales

A continuación se llevará a cabo un análisis de los casos no asociados a ciclones tropicales; además de los elementos utilizados para tratar los ciclones tropicales, se incorpora el uso de mapas de presión en superficie y de geopotencial en los niveles 850 hPa, 500 hPa y 200 hPa. Los eventos más extremos no asociados a ciclones tropicales son mostrados en cada base de datos. El análisis se llevó a cabo para todos los eventos extremos detectados, en las secciones siguientes se presentan los casos más representativos y el análisis para los demás casos se encuentran en el Anexo uno.

#### 4.7.3.1 Livneh

En la base de datos Livneh se detectaron un total de 24 casos (Tabla 1), los que fueron ordenados de mayor a menor según la magnitud del evento. Se encontró que ocurrieron 6 eventos en julio, mientras que en agosto y septiembre fueron 9 respectivamente. En relación con el sistema a escala sinóptica que dominó, se observó que 2 caso estuvieron asociados a la presencia de vaguadas invertidas (9 de julio de 2008 y 17 de julio de 2013), estos serán presentados aunque no fueron de los más intensos, el resto de los casos estudiados están asociados a la estructuración de vaguadas cuyo eje se localiza sobre o al oeste del área de estudio.

**Tabla 2: Casos no asociados a ciclones tropicales (Livneh). A: área en porcentaje, r\_max: precipitación máxima que ocurrió durante el evento (mm).**

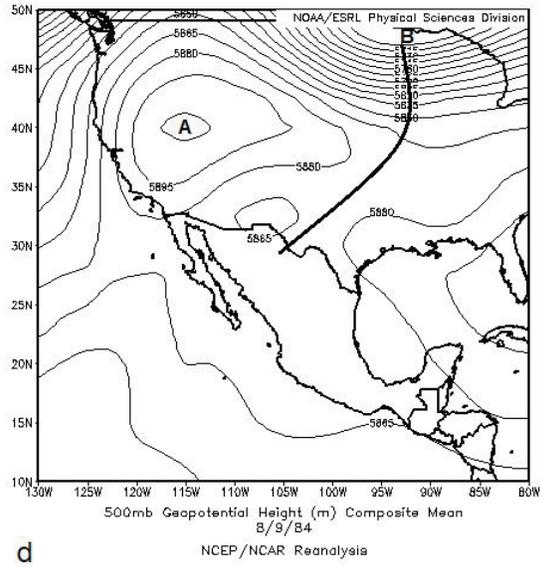
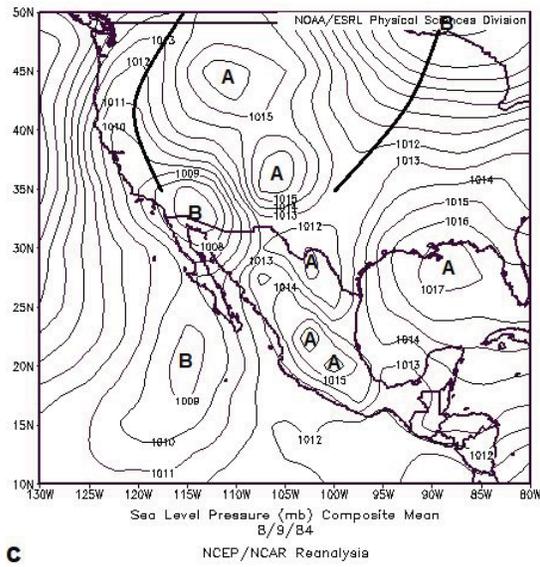
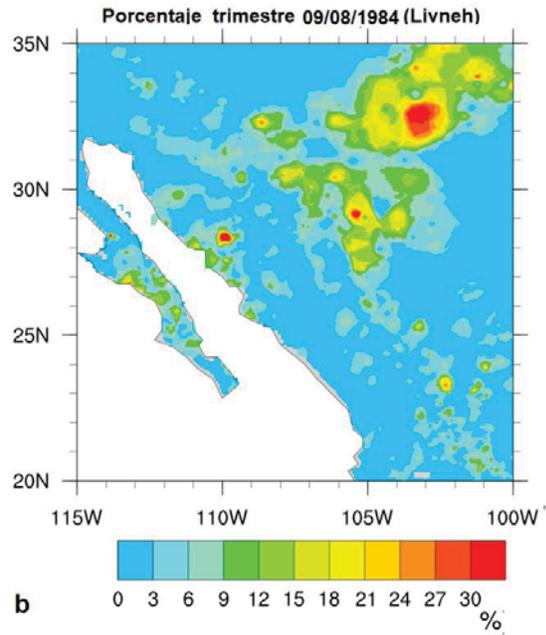
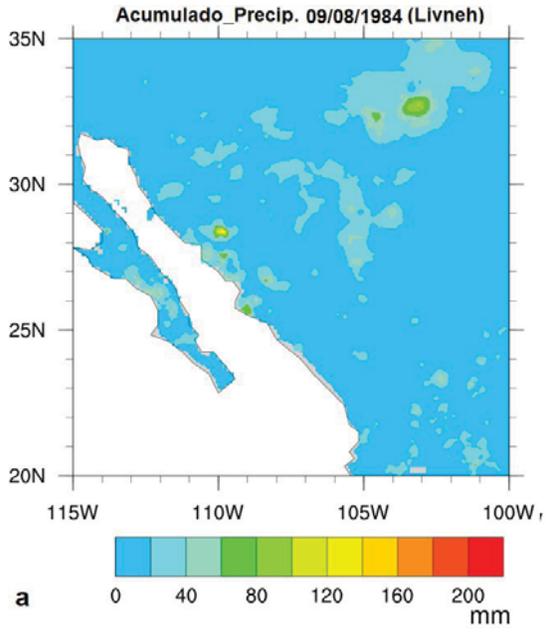
Caso	A (%)	r_max (mm)	Vaguada	Vaguada_Inv
18/09/1991	13.43	182.7	x	
09/08/1984	11.93	128.9	x	
22/09/1990	11.74	160.7	x	
26/09/2004	10.90	125.4	x	
17/07/2013	10.21	99.5	x	
19/09/1991	9.79	175.2	x	

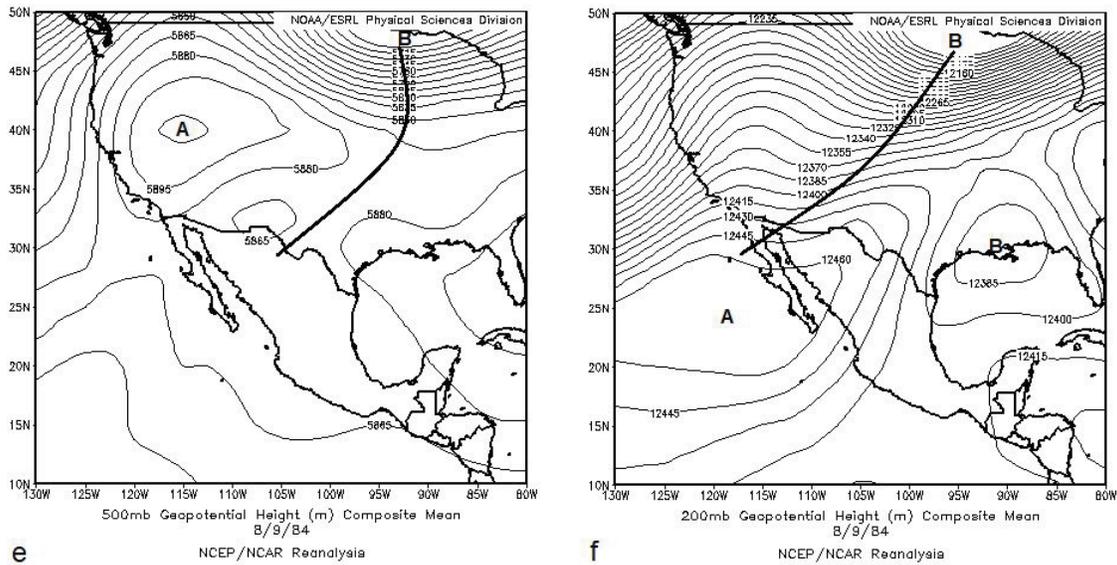
25/09/2004	9.59	87.7	x	
10/08/1984	9.37	104.2	x	
16/07/2013	8.65	154.7	x	
30/08/1993	8.28	83.3	x	
08/08/1984	8.14	169.6	x	
14/08/1990	7.48	90.5	x	
09/07/2008	7.39	116.1		x
14/08/2005	7.24	93.2	x	
13/08/1990	7.11	105.6	x	
10/08/1991	7.07	111.0	x	
18/09/1985	7.03	304.6	x	
12/08/1981	6.96	85.7	x	
27/07/2005	6.94	108.7	x	
10/09/2002	6.87	182.2	x	
18/07/2013	6.86	118.3	x	
28/9/1985	6.84	155.2	x	
17/09/1991	6.80	90.2	x	
15/07/1990	6.65	148.5	x	

#### Caso 9 de agosto de 1984

La precipitación acumulada por este evento estuvo asociada a núcleos aislados en la península de Baja California y hacia el centro de la región; sin embargo, al noreste se observa un área de mayores dimensiones espaciales. La lámina acumulada por este evento superó los 20 mm, aunque de manera puntual hacia el sur del estado de Sonora acumuló más de 100 mm. Hacia la porción centro y noreste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo. Sin embargo, el acumulado de precipitación osciló entre 20 mm y 100 mm, justo en esta porción el umbral para determinar los eventos extremos es superior a los 10 mm. Hacia la porción centro y noreste el evento aportó más del 12 % de la precipitación del trimestre, incluso superior al 30 %.

En el campo de presión en superficie se observa una amplia zona de baja presión centrada en el noreste del área de estudio. En superficie el flujo tiene una componente del sur y suroeste con origen en área oceánica. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano con similar componente respecto a superficie. Para este nivel, el centro de bajo valor de geopotencial no se observa bien estructurado, el mismo no muestra isohipsas cerradas, se extiende como una amplia zona de bajo geopotencial extendido por toda la región suroeste de EE.UU y noroeste de México. En el nivel de 500 hPa, se observa una zona de alto valor de geopotencial sobre el oeste de EE.UU. En este nivel el flujo predominante es del noreste para la región de estudio. Hacia el centro-norte de EE.UU se extiende una vaguada con eje noreste-suroeste, este sistema está fracturado en su porción sur. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje mantiene similar orientación respecto a 500 hPa, dicho eje se extiende hasta la porción noroeste del área de estudio. En los niveles bajos se observó un flujo de origen oceánico, mientras que en niveles altos predominó del oeste y noreste; el eje de la vaguada penetró solo hasta la porción norte y noroeste de la región.





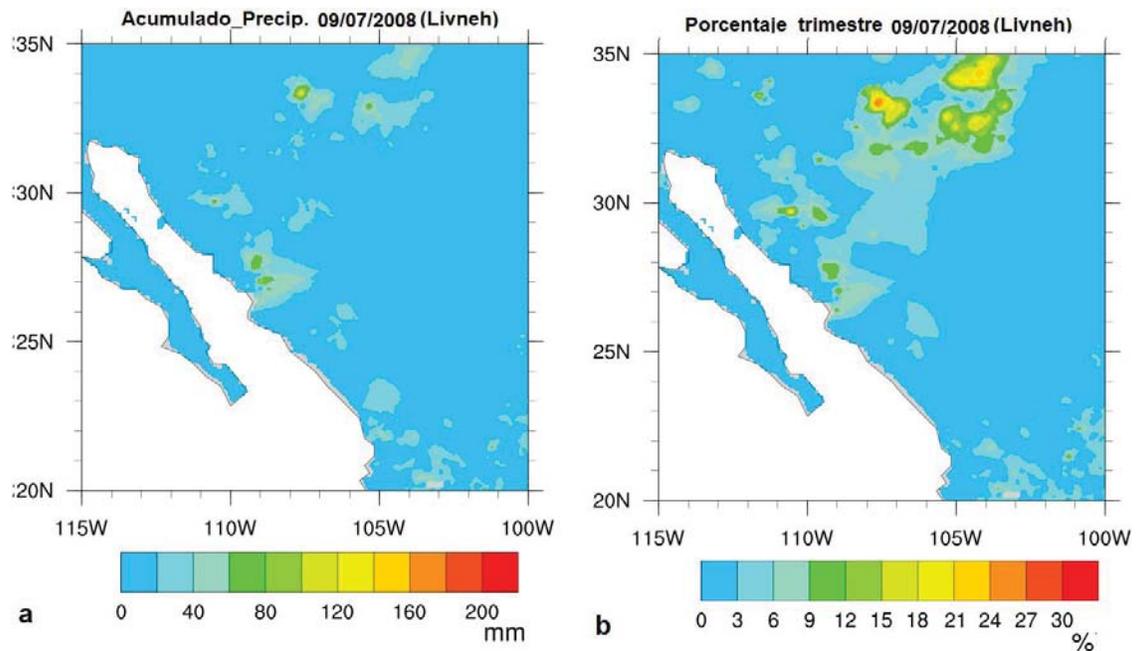
**Figura 23: Caso 9 de agosto de 1984. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

### Caso 9 de julio de 2008

La precipitación acumulada por este evento fluctuó de manera espacial entre 20 mm y 80 mm, incluso superior a los 100 mm de forma puntual hacia el norte del área de estudio. Los puntos de malla donde se reportó un evento extremo, se localizan hacia el norte y la costa. En relación con el porcentaje que representó la precipitación del evento respecto a la lámina del trimestre, se encontraron los mayores valores hacia la porción norte, donde oscilaron entre 15 % y 24 %, en el resto estuvieron entre 3 % y 12 %.

En el mapa de superficie se aprecia un centro de baja presión localizado al noroeste de la región de interés, esta configuración aporta un flujo del sur de origen oceánico. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de

geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial se localiza al oeste del área de estudio. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial pero retirado hacia el océano Pacífico, ello provoca un flujo del sureste. Además, se aprecia una vaguada invertida cuyo eje muestra una orientación noroeste-suroeste, dicho eje cruza el noroeste de México. En el nivel de 200 hPa se observa una vaguada extendida por todo el centro de EE.UU y cuyo eje interactúa con el eje de la vaguada invertida, la cual está retirada sobre al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se destaca la interacción entre la vaguada y la vaguada invertida, esta última tenía representación desde 500 hPa.



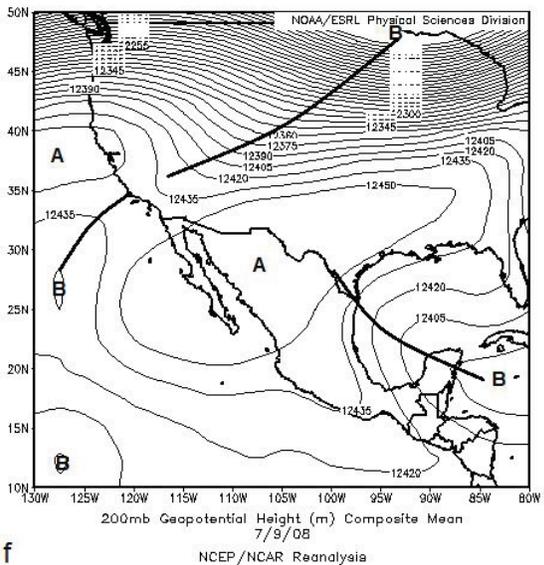
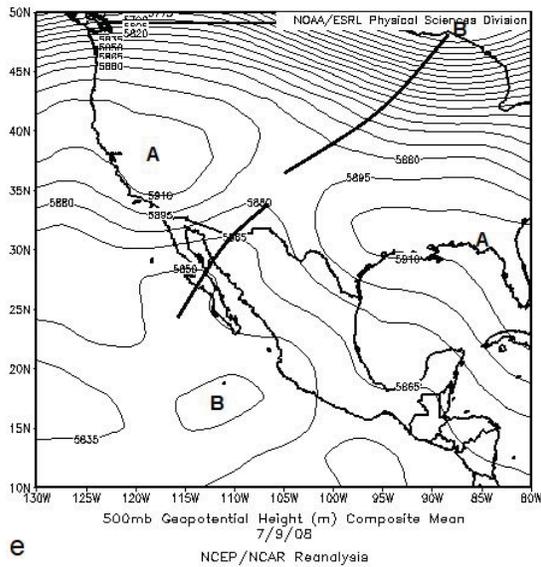
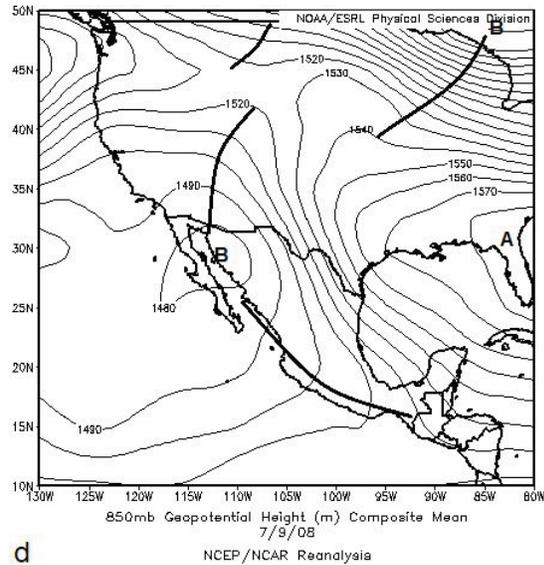
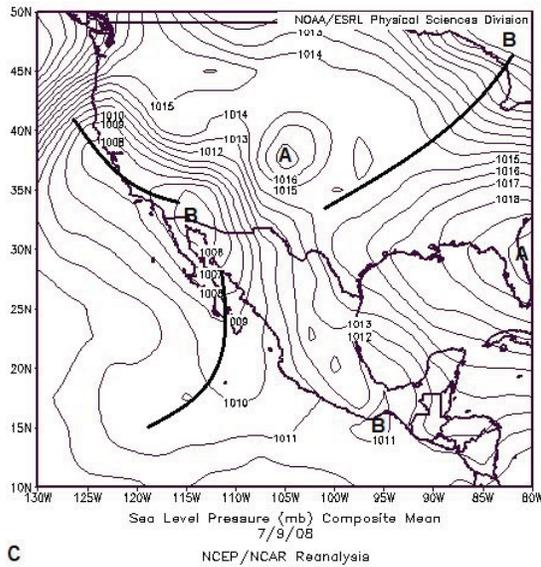


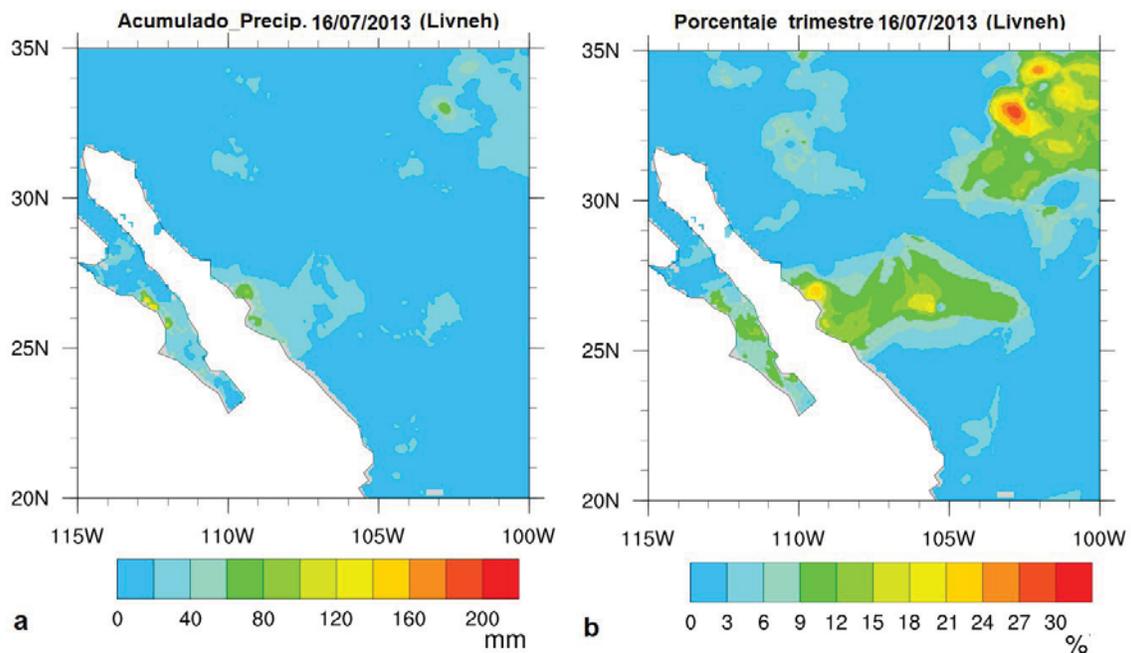
Figura 24: Caso 9 de julio de 2008. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

### Caso 17 de julio de 2013

La precipitación de este evento ocurrió principalmente al noreste y sureste de la región, justo en estas áreas el algoritmo detectó los casos extremos. La lámina

acumulada fluctuó entre 20 mm y 60 mm. Este evento representó entre el 6 % y 9 % de la precipitación del trimestre, aunque hacia el noreste se alcanzan valores superiores al 15 %.

En el análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada con centros secundarios localizados sobre el occidente de EE.UU y el noroeste de México. Para la región de estudio el flujo es de componente sur y sureste. En los siguientes niveles persisten los centros de bajo valor de geopotencial pero desplazados al oeste respecto a lo observado en superficie. En el mapa de 500 hPa se observa una vaguada invertida cuyo eje atraviesa el noroeste de México, mientras que en 200 hPa se localiza un centro de bajo valor de geopotencial al noreste del área de estudio.



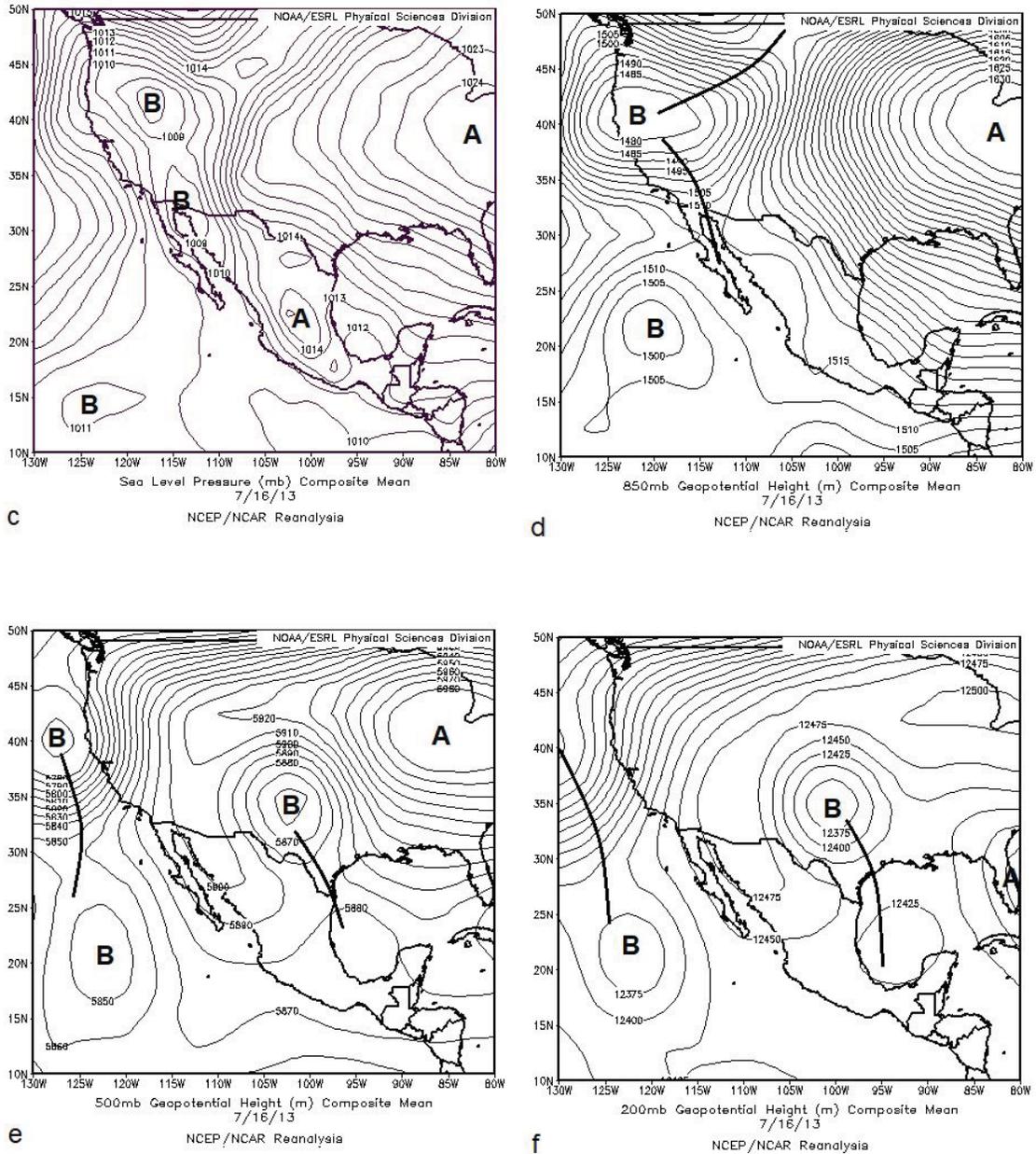


Figura 25: Caso 17 de julio de 2013. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

#### 4.7.3.2 CHIRPS

En la tabla 2 se muestran los casos detectados en la base de datos CHIRPS, con un total de 22. La distribución mensual fue la siguiente, 4 (julio), 6 (agosto) y 12

(septiembre). Similar a como se mostró en Livneh, se observó la presencia de vaguadas como detonante de los casos más extremos, el que ocurrió el 3 de septiembre de 1994 constituye el más intenso de los no asociados a ciclones tropicales.

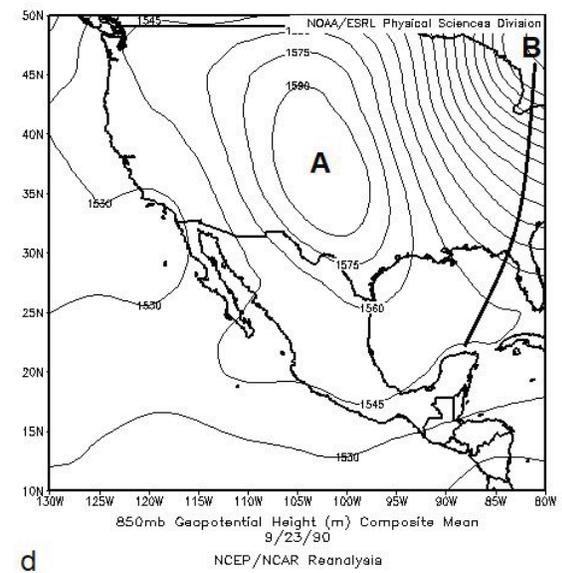
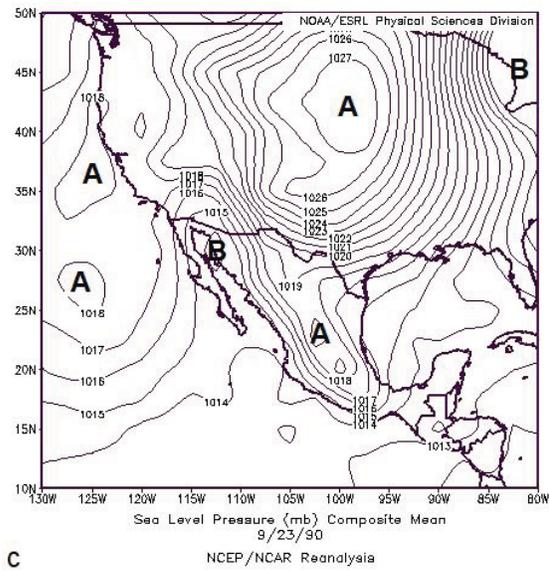
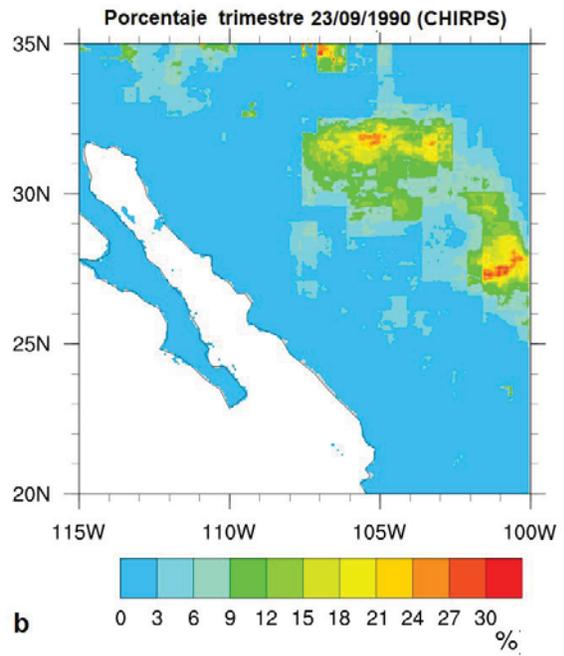
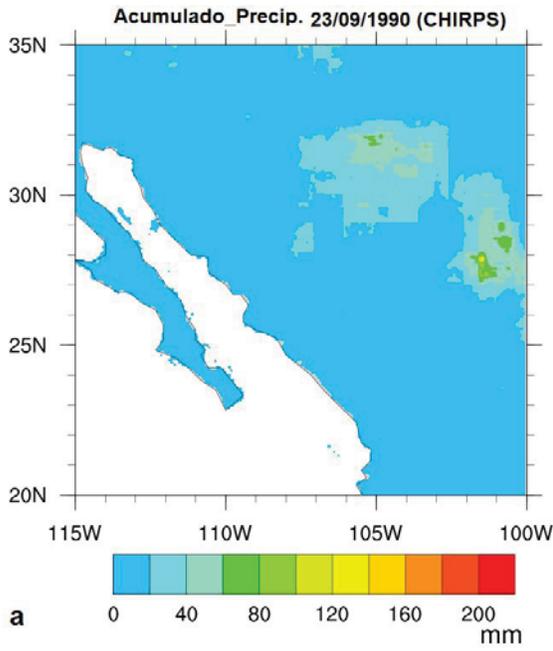
**Tabla 3: Casos no asociados a ciclones tropicales (CHIRPS). A: área en porcentaje, r\_max: precipitación máxima que ocurrió durante el evento (mm).**

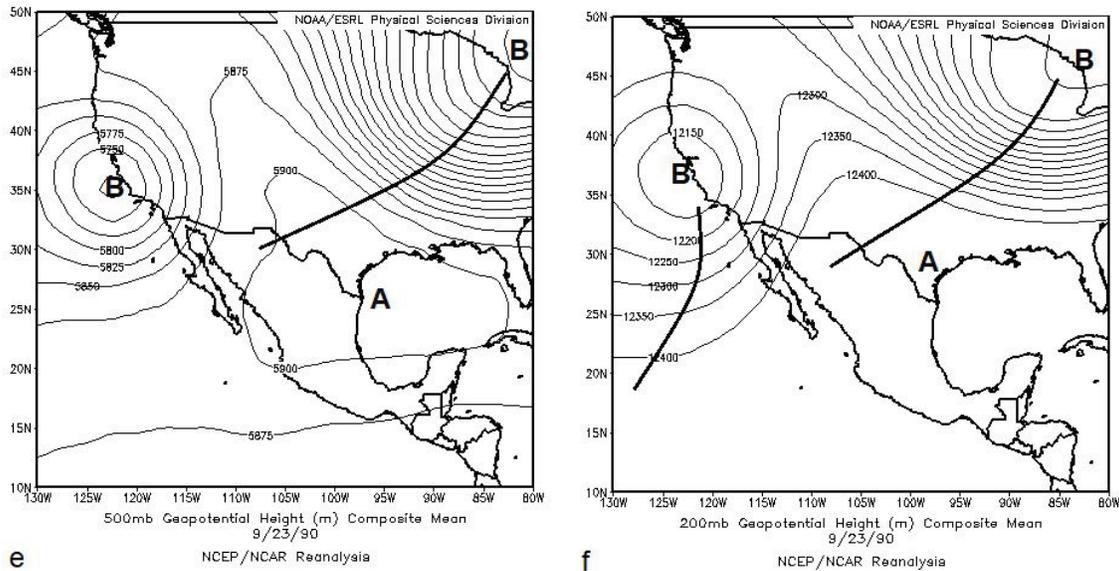
Caso	A (%)	r_max (mm)	Vaguada	Vaguada_Inv
03/09/1994	12.3	108.1	x	
18/09/1991	11.6	158.1	x	
23/09/1990	11.2	136.0	x	
19/09/1991	10.8	133.8	x	
10/09/1991	9.9	90.2	x	
23/08/1987	9.3	110.5	x	
25/09/2004	8.7	93.9	x	
18/07/2013	8.5	92.7	x	
10/08/1984	8.4	106.3	x	
13/07/1991	8.4	125.9	x	
13/08/1990	8.2	70.3	x	
24/08/1996	8.1	111.4	x	
27/07/2005	8.0	92.1	x	
4/09/1990	7.8	81.4	x	
25/09/2000	7.6	151.3	x	
13/09/1991	7.5	83.9	x	
29/08/2008	7.5	108.4	x	
11/08/1981	7.5	82.0	x	
11/09/2002	7.4	114.4	x	
29/09/1985	7.4	78.8	x	
06/09/1991	7.4	62.5	x	
07/07/1988	7.3	86.8	x	

## Caso 23 de septiembre de 1990

Este caso afectó fundamentalmente el oriente, la lámina acumulada osciló entre 20 mm y 60 mm principalmente. De manera general, este caso aportó entre 3 % y 21 % de la precipitación del trimestre.

En superficie, se observa una zona de bajas presiones centrada en el noroeste de la región; esta configuración aporta un flujo del sur cuyo origen es oceánico. En el nivel de 850 hPa existe debilidad en el campo de las isohipsas, persiste el flujo proveniente del océano con dirección sur. En la superficie de 500 hPa se extiende un centro de bajo geopotencial al noroeste de la península de Baja California imponiendo un flujo del suroeste. La situación descrita en 500 hPa se mantiene en 200 hPa, continúa el centro de bajo valor de geopotencial al noroeste de la península de Baja California, el flujo continúa del suroeste.





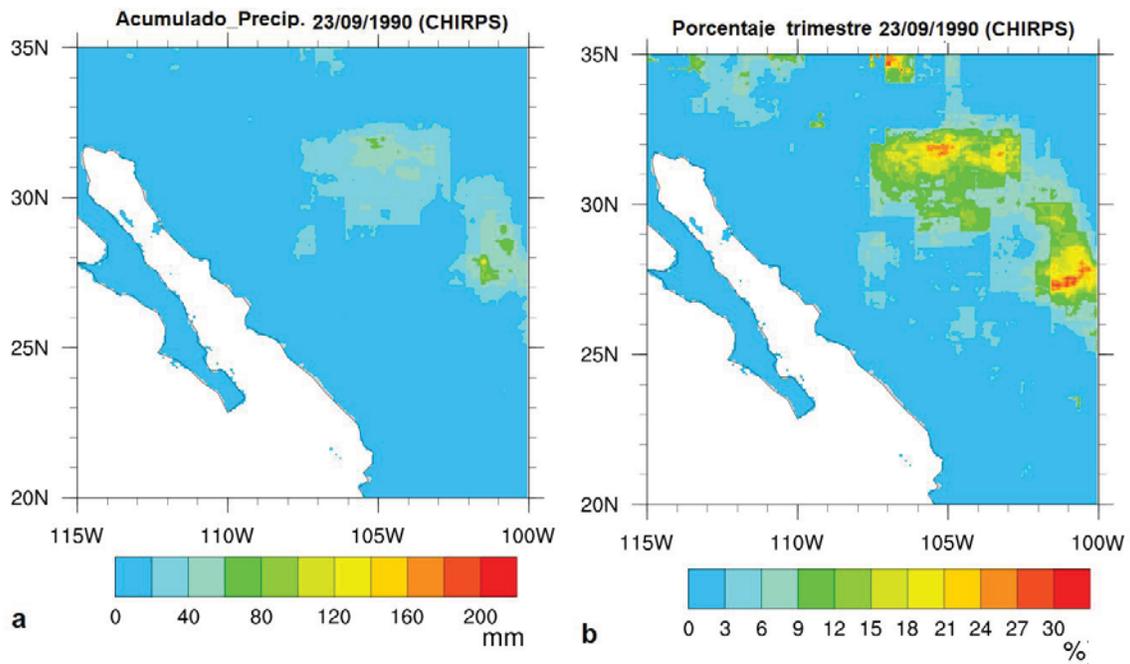
**Figura 26: Caso 23 de septiembre de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

### Caso 3 de septiembre de 1994

La precipitación acumulada por este evento estuvo centrada en el noroeste con acumulado que osciló entre 20 mm y 80 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste superó el 15 %; e incluso rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie, se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del Mar de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la

porción del noroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa, persiste el centro de bajo geopotencial en el noroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado norte-sur; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa, la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados, se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.



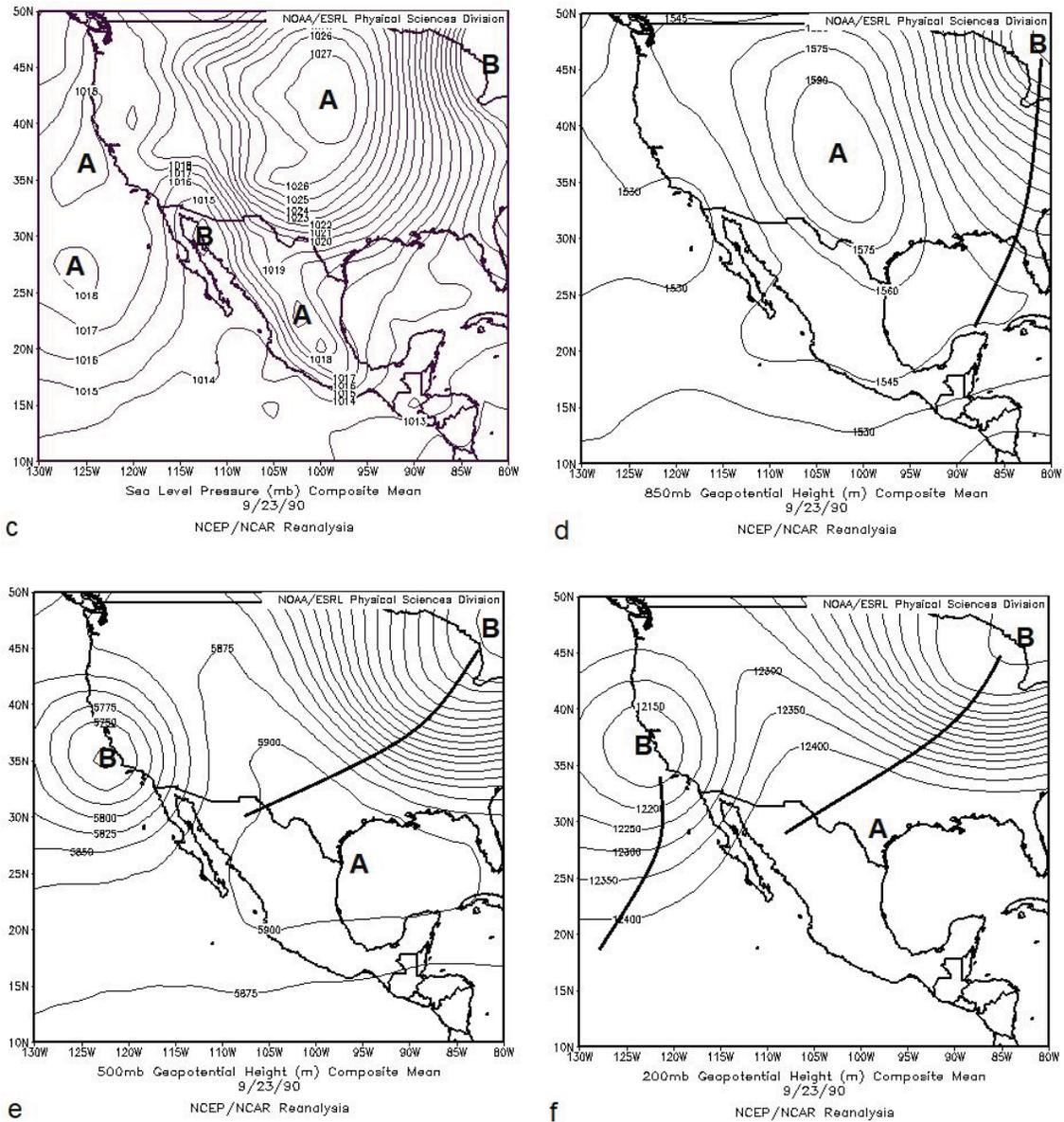


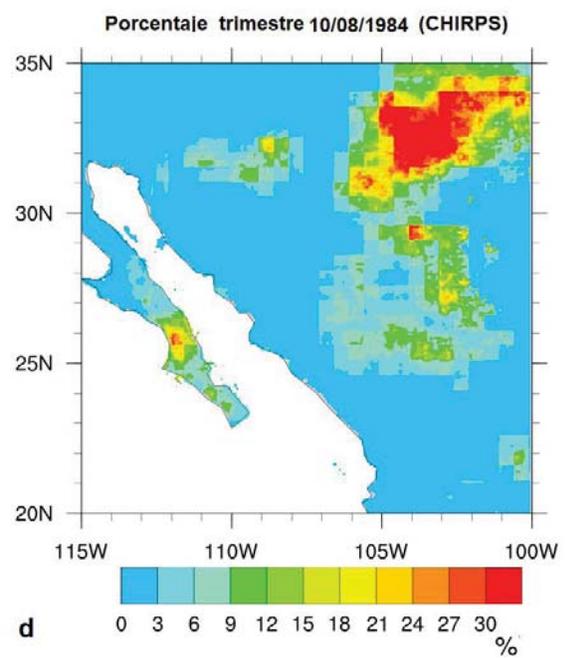
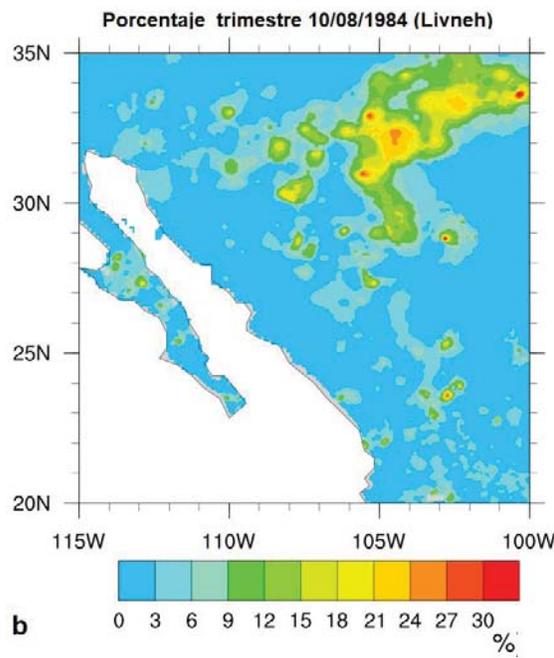
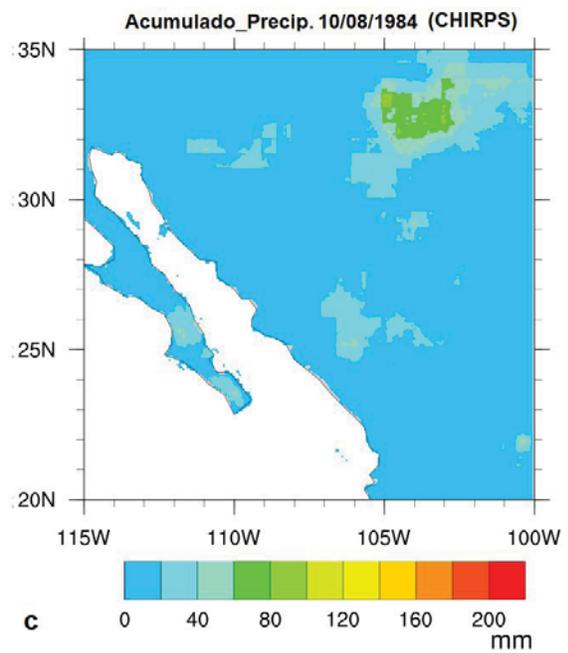
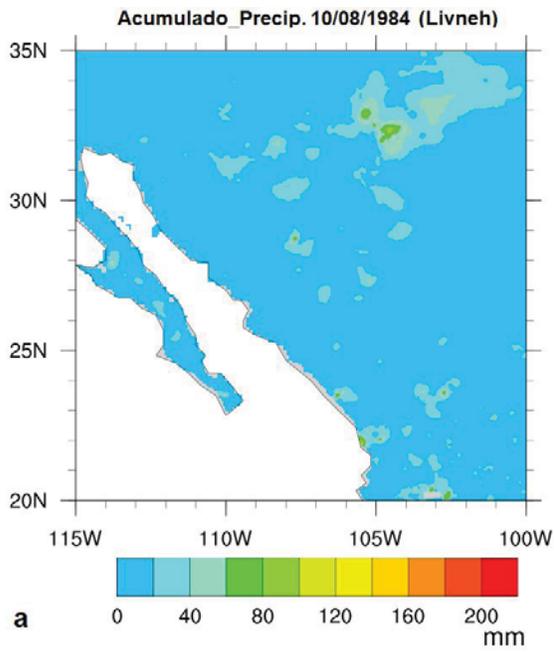
Figura 27: Caso 3 de septiembre de 1994. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

#### 4.7.3.3 Casos observados en ambas bases de datos

Caso 10 de agosto de 1984

La precipitación acumulada por este evento estuvo asociada a núcleos aislados en la península de Baja California y hacia el noreste de la región. La lámina acumulada por este evento osciló entre 20 mm y 80 mm. Hacia la porción noreste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo. Hacia la porción noreste el evento aportó más del 12 %, incluso superior al 30 %.

En el campo de presión en superficie se observa una amplia zona de baja presión centrada en el noreste del área de estudio. Similar a los anteriores casos, en superficie el flujo tiene una componente del sur y suroeste con origen en área oceánica. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano con similar componente respecto a superficie. Para este nivel, el centro de bajo geopotencial no se observa bien estructurado, el mismo no muestra isohipsas cerradas, se extiende como una amplia zona de bajo geopotencial extendido por toda la región suroeste de EE.UU y noroeste de México. En el nivel de 500 hPa, se observa una zona de alto valor de geopotencial sobre el oeste de EE.UU. En este nivel el flujo predominante es del noreste para la región de estudio. Hacia el centro-norte de EE.UU se extiende una vaguada con eje noreste-suroeste, este sistema está fracturado en su porción sur. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje mantiene similar orientación respecto a 500 hPa, dicho eje se extiende hasta la porción noroeste del área de estudio. En los niveles bajos, se observó un flujo de origen oceánico, mientras que en niveles altos predominó del oeste y noreste; el eje de la vaguada penetró solo hasta la porción norte y noroeste de la región.



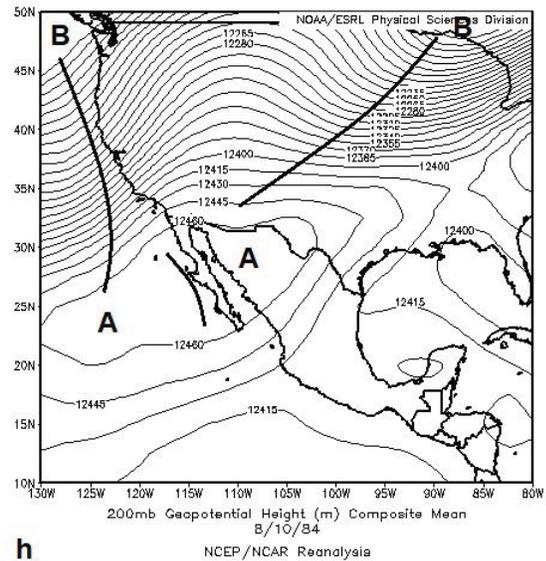
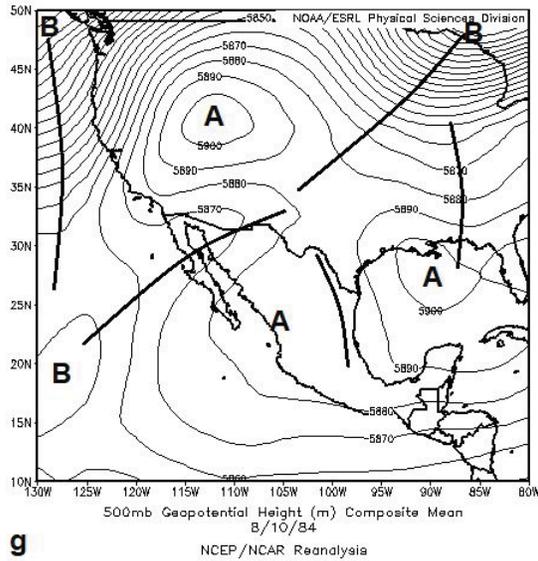
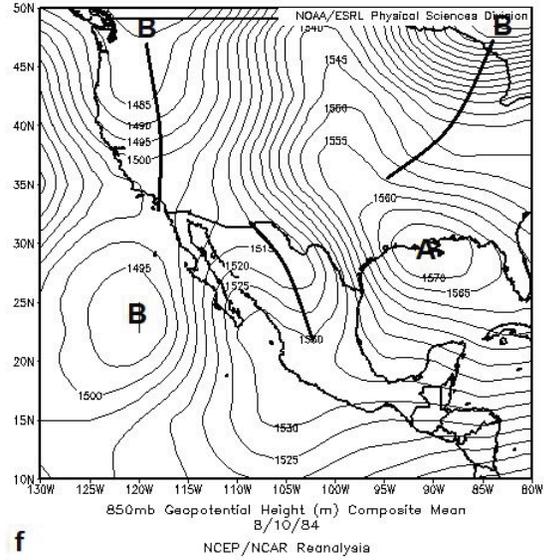
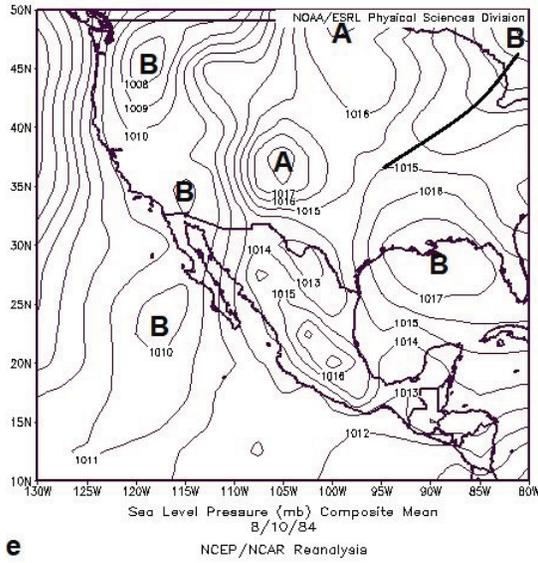


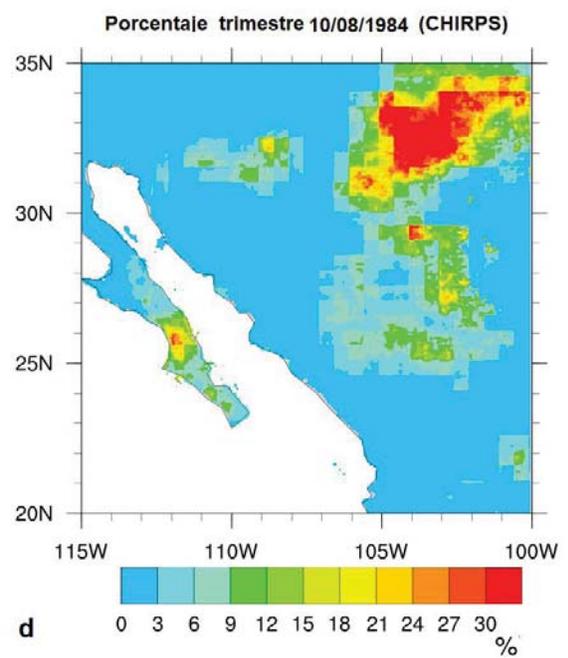
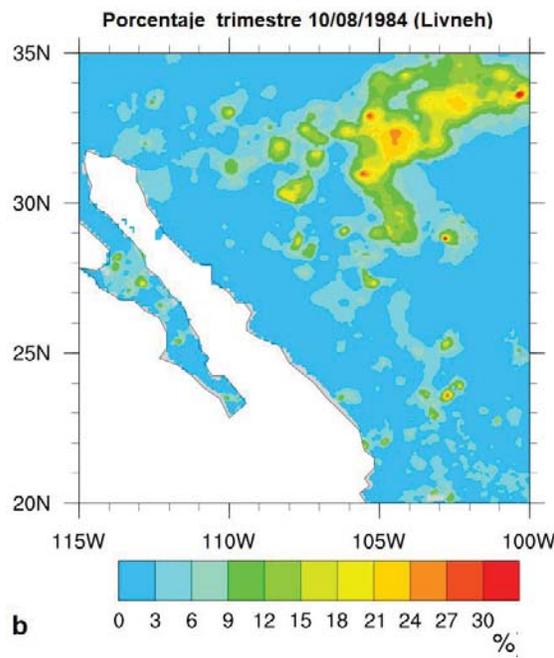
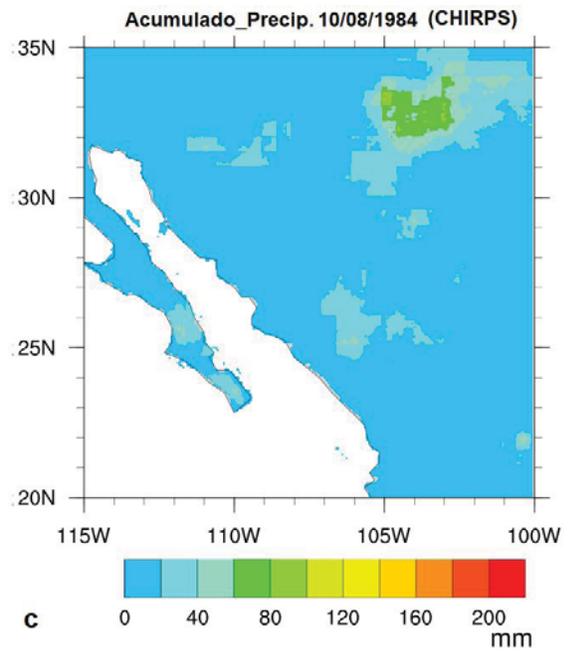
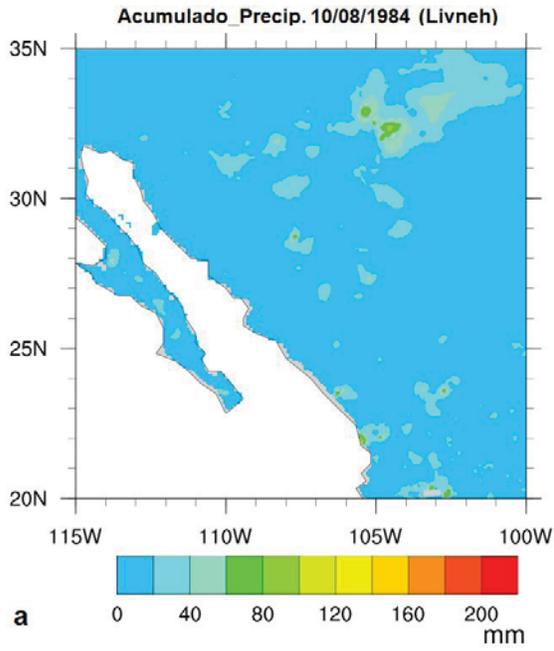
Figura 28: Caso 10 de agosto de 1984. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

### Caso 18 de septiembre de 1991

Este caso afectó fundamentalmente el oriente de la región, aportó una lámina inferior a 100 mm. El algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo hacia la península de Baja California, en esta ocurren los valores

más altos de porcentaje respecto a la lámina del trimestre, alcanzando 30 %, para esta porción el acumulado fue inferior a 20 mm mientras que el umbral oscila entre 20 mm y 35 mm. En el resto del área el porcentaje osciló entre 3 % y 18 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie, se observa una zona elongada de bajas presiones, cuyo eje está orientado norte-sur, este sistema está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur, el cual proviene del océano Pacífico y del Golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano con dirección sureste. Para este nivel se observa un centro de bajo geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado hacia el océano Pacífico. En la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial localizado sobre el océano, el mismo aporta un flujo del sur. Desde el centro de EE.UU se extiende una vaguada con eje orientado noreste-suroeste cuya porción sur afecta la región de estudio. En 200 hPa persiste la vaguada con el eje desplazado al este respecto al nivel de 500 hPa, pero mantiene una orientación noreste-suroeste. Al oeste del área de estudio, se observa un centro de bajo geopotencial, el cual es representación de los anteriores niveles descritos. Persiste un flujo del suroeste. En los niveles analizados, se observó un flujo de origen oceánico, los sistemas en la vertical mostraron ser coherentes.



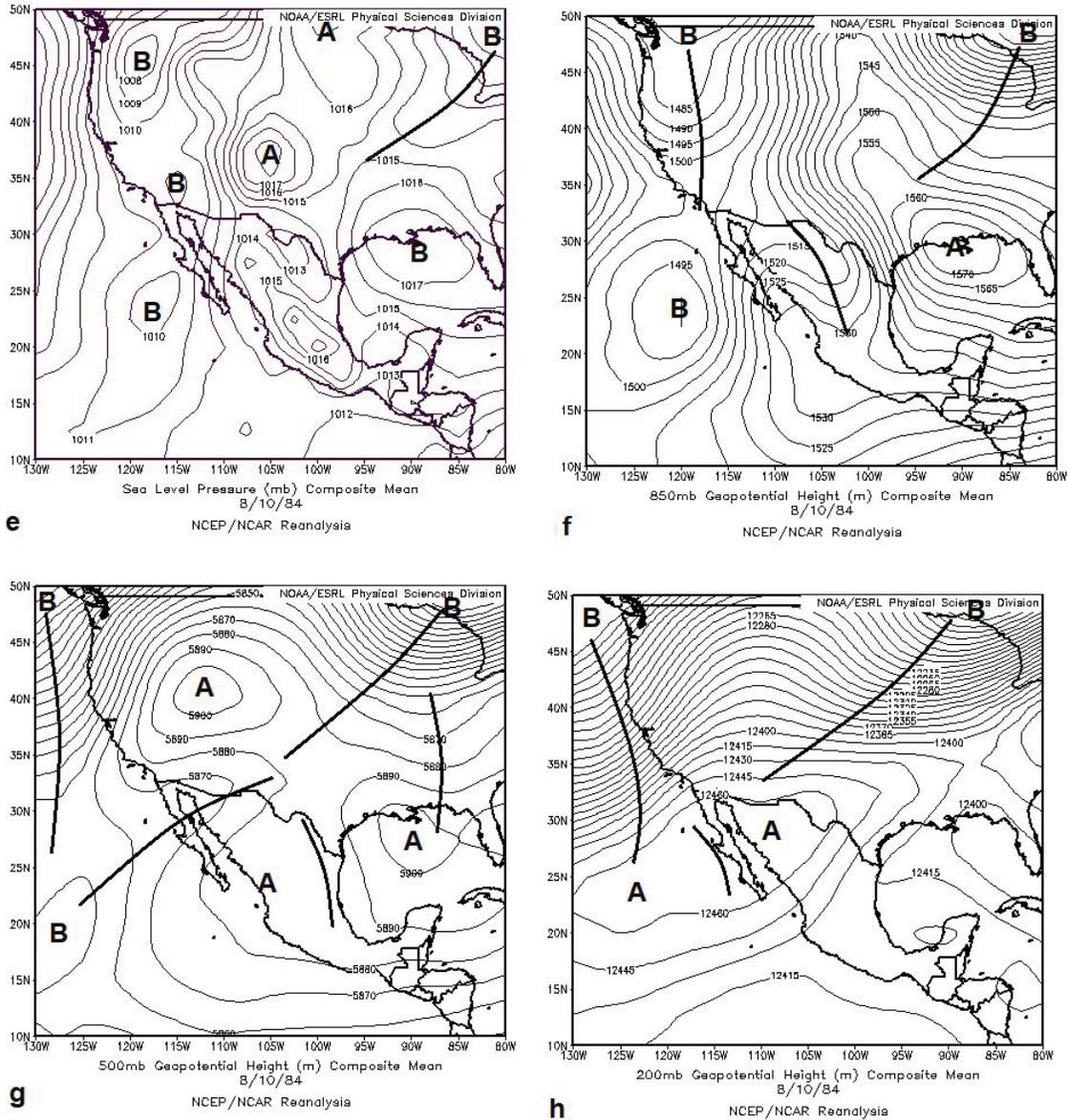


Figura 29: Caso 18 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

#### 4.7.3.2 Análisis de la frecuencia de afectación por sistema

Varios estudios muestran que la precipitación extrema con frecuencia está asociada con patrones de la escala sinóptica y mayores. Las condiciones de la escala

sinóptica, en combinación con el forzamiento de la mesoescala, crean el ambiente favorable para el desarrollo de eventos extremos de precipitación (Barlow et al., 2019).

A partir del análisis de la frecuencia con la que se presentaron los sistemas, no cabe duda que los asociados a ciclones tropicales son los más numerosos, siendo superior a 30. En Livneh, se contabilizaron 33 casos mientras que en CHIRPS fueron 31. En los casos no asociados a ciclones tropicales, en Livneh se reportaron 23 mientras que en CHIRPS fueron 22, solo 7 casos coincidieron el mismo día. Estudios anteriores mostraron que la presencia de vaguadas y vaguadas invertidas constituyen forzantes de la convección en el noroeste del país (Gochis et al, 2004; Douglas and Engelhardt, 2007; Ramírez, 2016). Adicionalmente, otros autores (Bieda et al. 2009; Finch and Johnson, 2010; Newman and Johnson 2012) insisten que la estructuración de vaguadas invertidas ha estado asociada con fuertes precipitaciones en la región fronteriza de México y EE.UU. En la presente investigación, se destaca que durante el período de estudio, los casos más extremos están asociados a la estructuración de vaguadas frente a la presencia de vaguadas invertidas. Las vaguadas se presentaron entre 15 y 20 casos, mientras que solo se observó un caso donde se estructuró una vaguada invertida. En cuanto a sistemas generadores de eventos extremos de precipitación en el noroeste del país, se coincide con Ramírez (2016), quien mostró que las vaguadas presentes en la tropósfera alta son, después de los ciclones tropicales, el sistema que más contribuye a dichos eventos extremos en esa porción del territorio mexicano.

## Capítulo V: Conclusiones

Al analizar el comportamiento del patrón espacial de la precipitación, así como el valor de la variable durante el trimestre julio - septiembre, no se observaron notables diferencias entre ambas bases de datos. Se destaca que aunque se observaron diferencias entre las bases de datos, esto no afecta el comportamiento general de las series de tiempo, donde las dos son similares.

El análisis puntual de la precipitación mostró cierta sensibilidad de la base de datos CHIRPS para representar la precipitación en la región árida del noroeste mexicano. Esto hace pensar en el algoritmo a través del cual se generan dichas bases de datos. Se concluye además, que CHIRPS es capaz de reflejar la precipitación asociada a nubes de gran crecimiento en la vertical.

El comportamiento espacial de los eventos extremos de precipitación mostró un patrón similar en ambas bases de datos. Se destaca que los mayores valores del umbral se localizan entre la franja costera y la Sierra Madre Occidental.

El estudio de casos mostró similitud en el comportamiento pluvial entre los asociados a ciclones tropicales y los que no lo están, al observarse que la precipitación llega a rebasar el 30 % respecto a la lámina del trimestre analizado.

El análisis de frecuencia del total de casos extremos mostró que no hay diferencias relevantes en el trimestre; sin embargo, al hacer el estudio de casos se apreció que los eventos más extremos asociados a ciclones tropicales ocurren con mayor frecuencia en el mes de septiembre, mientras que los casos no asociados a ciclones tropicales afectan más durante el bimestre agosto-septiembre.

En el análisis de las condiciones sinópticas que prevalecen para el desarrollo de los casos analizados de los eventos extremos de precipitación, se destaca la presencia de bajas presiones centradas sobre la porción noroeste del área de estudio. Esta situación permite que se establezca un flujo húmedo desde el océano Pacífico hacia

la región de estudio. En los niveles medios y altos predomina el establecimiento de vaguadas frente a las vaguadas invertidas.

Se observó también la estructuración de vaguadas invertidas en 500 hPa, pero éstas constituyen el reflejo de bajas presiones en superficie y niveles bajos, por lo que no se contabilizaron como vaguadas invertidas, de acuerdo a lo revisado en la literatura, donde se muestra que estos sistemas deben tener su eje en niveles altos.

## Bibliografía

1. Adams, D.K. and Comrie, A.C. 1997: The North American Monsoon. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 78: 2197–2213. doi: 10.1175/1520-0477.
2. Ahnert, F. 1987: An approach to the identification of morphoclimates. En: *International Geomorphology* (V. Gardiner, ed.). John Wiley & Son, Chichester, 159-188.
3. Anderson, B. T., J. Wang, G. Salvucci, S. Gopal, and S. Islam, 2010: Observed trends in summertime precipitation over the southwestern United States. *J. Climate*, 23, 1937–1944, doi:10.1175/2009JCLI3317.1.
4. Ávila et al. 2013: Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. *Cuadernos Geográficos*, 52 (2013-1), 69-83
5. Brito, L., M. A. Crimmins, y S. C. Díaz. 2010. *Clima*. En Molina-Freaner F. y T. R. Van Devender. 2010. *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM-CONABIO. México, D. F. 596 páginas.
6. Cavazos, T., Turrent, C., y Lettenmaier, D. P. (2008). Extreme precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the north american monsoon. *Geophysical Research Letters*.
7. Chang, H.-I., C. L. Castro, C. M. Carrillo, and F. Dominguez, 2015: The more extreme nature of U.S. warm season climate in the recent observational record and two “well-performing” dynamically downscaled CMIP3 models. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 8244–8263, doi:10.1002/2015JD023333. American Meteorological Society.
8. Coles, S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. - springer, Vol. 208. London: Springer Series in Statistics.
9. Costa, A. C. y Soares, A. (2009). Homogenization of climate data: Review and new perspectives using geostatistics. *Mathematical Geosciences*, 41(3): 291–305.
10. Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M., Frame, D., Mahowald, N., y Winther, J.-G. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., book section Introduction, p. 119–158. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

11. Curtis, S. (2008). The atlantic multidecadal oscillation and extreme daily precipitation over the us and mexico during the hurricane season. *Climate Dynamics*, 30(4): 343–351.
12. Dominguez, F., Rivera, E., Lettenmaier, D. P., y Castro, C. L. (2012). Changes in winter precipitation extremes for the western United States under a warmer climate as simulated by regional climate models. *Geophysical Research Letters*, 39(5).
13. Dominguez C., y Magaña, V. (2018). The role of tropical cyclones in precipitation over the tropical and subtropical North America. *Frontiers in Earth Science*. doi: 10.3389/feart.2018.00019.
14. De Carvalho, L. M. V. (2016). The monsoons and climate change. In *The Monsoons and Climate Change*, pages 1–6. Springer.
15. De Luís, M., González-Hidalgo, J.C., & Raventós, J. (2003): Effects of fire and torrential rainfall on erosion in a Mediterranean gorse community. *Land Degradation & Development*, 14 (2), 203-213.
16. De Ploey, J., Kirkby, M.J. & Ahnert, F. (1991): Hillslope erosion by rainstorms: a magnitude-frequency analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 399-409.
17. Douglas, M.W., Maddox, R.A., Howard, K., Reyes, S.: The Mexican monsoon. *J. Climate.*, 6: 1665–1677. doi: 10.1175/1520-0442, 1993.
18. Easterling, D.R., Evans, J.L., Grosiman, P. Ya. Karl, T.R., Kunkel, K.E. & Ambenje, P. (2000): Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review.
19. Eischeid, J. K., C. B. Baker, T. R. Karl, and H. F. Diaz, 1995: The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *J. Appl. Meteor.*, 34, 2787–2795.

20. Esteban, P., Soubeyroux, J.-M., y Deaux, N. (2013). Creación de una base de datos homogeneizada de temperaturas para los pirineos (1950–2010). *Geographicalia*, (63): 63–74.
21. Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S. & Castro-Diez, Y. (1998): Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
22. Funk, C. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data*. 2:150066 doi: 10.1038/sdata.2015.66 (2015).
23. Fréchet M, 1927: Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Ann.Soc. Math. Polon.* No. 6, 93-116.
24. Gallart, F. (1995): The relative geomorphic work affected by four processes in rainstorms: A conceptual approach to magnitude and frequency. *Catena*, 25, 353-364.
25. González-Hidalgo, M. de Luis Arrillaga, J.L. Peña Monné, 2005. Extreme rainfall events, climate variability and soil erosion. Some comments related to Climate Change in Mediterranean environments. *Rev. C. & C.*, 19 (1-2), 49-62.
26. Groisman, P.Ya., Karl, T.R., Easterling, D.R., Knight, R.W., Jamason, P.B., Hennessy, J.K., Suppiah, R, Page, Ch.M., Wibig, J., Fortuniak, K., Razuvaev, V.N., Douglas, A., Forland, E. & Zhai, P.M. (1999): Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic changes. *Climatic Change*, 42 (1), 243-283.
27. Hales, J. 1972: Surges of Maritime Tropical Air Northward Over Gulf of California. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 298–306, doi: 10.1175/1520-0493.
28. Higgins, R.W., Chen, Y. and Douglas, A.V. 1999: Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate*, 12: 653–680, doi: 10.1175/1520-0442.
29. Higgins, W., Gochis, D. 2007: Synthesis of results from the North American Monsoon Experiment (NAME) process study. *J. Climate*, 20: 1601–1607. doi:10.1175/JCLI4081.1.
30. Informe especial del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2012: Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos

extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático.  
Resumen para responsables de políticas.

31. Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Climate Change 2007 The Physical Science Basis. Fourth Report Assessment, Working Group 1. Cambridge.
32. Jiménez .M, 2014: Validación de la capacidad del modelo WRF para pronosticar lluvia intensa usando el método orientado a objetos y tablas de contingencia. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias Meteorológicas. Universidad Nacional de Colombia.
33. Lewis, R.P. W. (1992): Flooding at Carmarthen in October 1987: Historical Precedents and Statistical Methods. *Weather*, 47, 82-89.
34. Livneh, B., E. A. Rosenberg, C. Lin, B. Nijssen, V. Mishra, K. M. Andreadis, E. P. Maurer, and D. P. Lettenmaier, 2013: A long term hydrologically based dataset of land surface fluxes and states for the conterminous United States: Update and extensions. *J. Climate*, 26, 9384–9392, doi:10.1175/JCLI-D-12-00508.1.
35. Luong T., Castro C., Chang H., Lahmers T., Adams D., Ochoa C., 2017: The More Extreme Nature of North American Monsoon Precipitation in the Southwestern United States as Revealed by a Historical Climatology of Simulated Severe Weather Events.
36. Martínez-Yrizar, R. S. Felger y A. Búrquez. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. Pg. 129-147 In F. E. Molina-Freaner and T. R. Van Devender, 2010. *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM-CONABIO, México.
37. Mendoza, B. (2019). Homogeneización de datos climáticos y análisis de eventos extremos de precipitación en la región del monzón de América del Norte. Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
38. Mosiño PA, García E. 1966. Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. *Proc. Conf. Reg. Latinoamericana Unión Geogr.Int.* 3: 500–516.

39. Mosiño P, García E. 1974. The climate of Mexico. In *Climates of North America. World Survey of Climatology*, Vol. 11. Elsevier: Amsterdam, 345–390.
40. Martínez-Sánchez, J. N. y Cavazos, T. (2014). Eastern tropical pacific hurricane variability and landfalls on mexican coasts. *Climate Research*, 58(3): 221–234.
41. Medialdea, A. (2016). Análisis de valores extremos. Modelización espacial. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.
42. Mestre, O., Gruber, C., Prieur, C., Caussinus, H., y Jourdain, S. (2011). SPLIDHOM: A Method for Homogenization of Daily Temperature Observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(11): 2343–2358.
43. Mestre, O., Domonkos, P., Picard, F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, É., Boehm, R., Aguilar, E., Guijarro, J., Vertachnik, G., Klancar, M., Dubuisson, B., y Stepanek, P. (2013): HOMER: a homogenization software - methods and applications. *IDOJARAS*, 117(1): 47 – 67.
44. Montero-Martínez, M. J., Santana-Sepúlveda, J. S., Pérez-Ortiz, N. I., Pita-Díaz, O., y Castillo-Liñan, S. (2018). Comparing climate change indices between a northern(arid) and a southern (humid) basin in Mexico during the last decades. *Advances in Science and Research*, 15: 231–237.
45. Panorska, A. K., Gershunov, A., y Kozubowski, T. J. (2007). From diversity to volatility: Probability of daily precipitation extremes. En: *Nonlinear Dynamics in Geosciences*, New York, NY. Springer New York, pp. 465–484.
46. Nicholson, S.E. (1993): An overview of African fluctuation on the last decade. *Journal of Climate* 6, 1463-1466. Nyberg, R. & Rapp, A. (1998): Extreme erosional events and natural hazards in Scandinavian mountains. *Ambio* , 27, 292-299.
47. Ochoa et al. 2015. Changes in intensive precipitation events in Mexico City. *J. of Hydrometeo*. 16, 1804 -1820
48. Ordoñez, P., Ribera, P., Gallego, D., and Peña-Ortiz. C.: Major moisture sources for Western and Southern India and their role on synoptic-scale

- rainfall events, *Hydrol. Process.*, 26 (25), 3886 - 3895, doi: 10.1002/hyp.8455, 2012.
49. Pagliara, S., Viti, C., Gozzini, B., Meneguzzo, F. & Crisci, A. 1998: Uncertainties and trends in extreme rainfall series in Tuscany, Italy: Effects on urban drainage networks design. *Water Science and Technology*, 37, 195-202.
  50. Pedrozo, A., Breña, A., Domínguez, R., 2014: The hydrological setting of the 2013 floods of Mexico. *Royal Meteorological Society*.
  51. Petrie, M., S. Collins, D. Gutzler, and D. Moore, 2014: Regional trends and local variability in monsoon precipitation in the northern Chihuahuan Desert, USA. *J. Arid Environ.*, 103, 63–70, doi:10.1016/j.jaridenv.2014.01.005.
  52. Planos E. 2013. Integrated approach to studies of hazard for large rainfall and intense precipitation. *Aqua-LAC - Vol. 5 - N° 1 - Mar. 2013*. pp. 84 - 92
  53. Planos E. 2015. Influence of extreme rainfall in the annual water supply. *Aqua-LAC - Vol. 7 - N° 2 - Set. 2015*. pp. 38 - 48
  54. Prieto .R, Montero .M, Sánchez .J, Ojeda .W, 2007: Determinación de períodos de sequías y lluvias intensas en diferentes regiones de México ante escenarios de cambio climático. Número de Registro INE: INE/A1-056/2007
  55. Puigdefábregas, J. & Mendizabal, T. 1998: Perspectives on desertification: Western Mediterranean. *Journal of Arid Environments*, 39, 209-224.
  56. Picard, F., Lebarbier, E., Hoebeke, M., Rigaiil, G., Thiam, B., y Robin, S. (2011). Joint segmentation, calling, and normalization of multiple cgh profiles. *Biostatistics*, 12(3): 413–428.
  57. Pérez-Zanón, N., Sigró, J., y Ashcroft, L. (2016). Temperature and precipitation regional climate series over the central pyrenees during 1910-2013. *International Journal of Climatology*, 37(4): 1922–1937.
  58. Ramírez-González, V. E. (2016). Efecto de las vaguadas de la tropósfera alta sobre la precipitación de verano en el noroeste de México: una comparación con la precipitación asociada a ciclones tropicales. Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
  59. Rivera, E. R., Dominguez, F., y Castro, C. L. (2014). Atmospheric rivers and cool season extreme precipitation events in the verde river basin of arizona. *Journal of Hydrometeorology*, 15(2): 813–829.

60. Sigró, J. (2012). Red de referencia de estaciones climáticas de la república mexicana: asistencia técnica para la revisión del control de calidad y recomendaciones sobre homogeneidad. Reporte técnico, Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional.
61. Ramage, C.S. 1971: Monsoon meteorology. Academic Press, London, p 296.
62. Saavedra .E,2009: Evaluación de la precipitación y período de retorno de los eventos hidrometeorológicos extremos en la región Grijalva-Usumacinta. Tesis para optar el grado de Licenciado en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
63. Stentrud, D.J.; R.L. Gall, S.L. Mullen and K.W. Howard (1995). Model Climatology of the Mexican Monsoon. *J. Climate* 8:1775-1794
64. Shoemaker y Davis, 2008: Hazardous weather climatology for Arizona.
65. Torres .V, 2011: Eventos de precipitación extrema en la costa de Oaxaca: Situación sinóptica y estudio de sensibilidad usando el modelo WRF. Tesis para para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México.
66. Vázquez. J, 2007. Variabilidad de la precipitación en la república mexicana. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias (Física de la Atmósfera). Universidad Nacional Autónoma de México.
67. Tayanç, M., Nüzhet Dalfes, H., Karaca, M., y Yenigün, O. (1998). A comparative assessment of different methods for detecting inhomogeneities in turkish temperature data set. *International Journal of Climatology*, 18(5): 561–578.
68. Turrent, C. (2009). Estudio numérico del contraste térmico océano-continente asociado al inicio del Monzón de América del Norte. Tesis de doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
69. Turrent, C. y Cavazos, T. (2009). Role of the land-sea thermal contrast in the interannual modulation of the north american monsoon. *Geophysical Research Letters*, 36(2).

# Anexo 1

A continuación se presenta el análisis sinóptico para los demás eventos extremos encontrados en las bases de datos Livneh y CHIRPS.

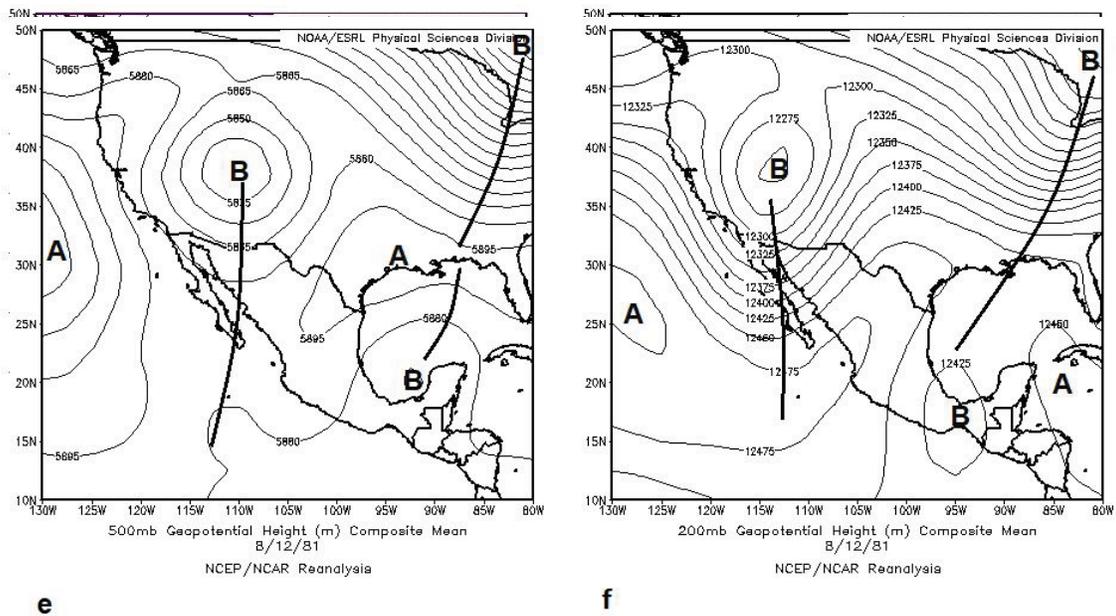
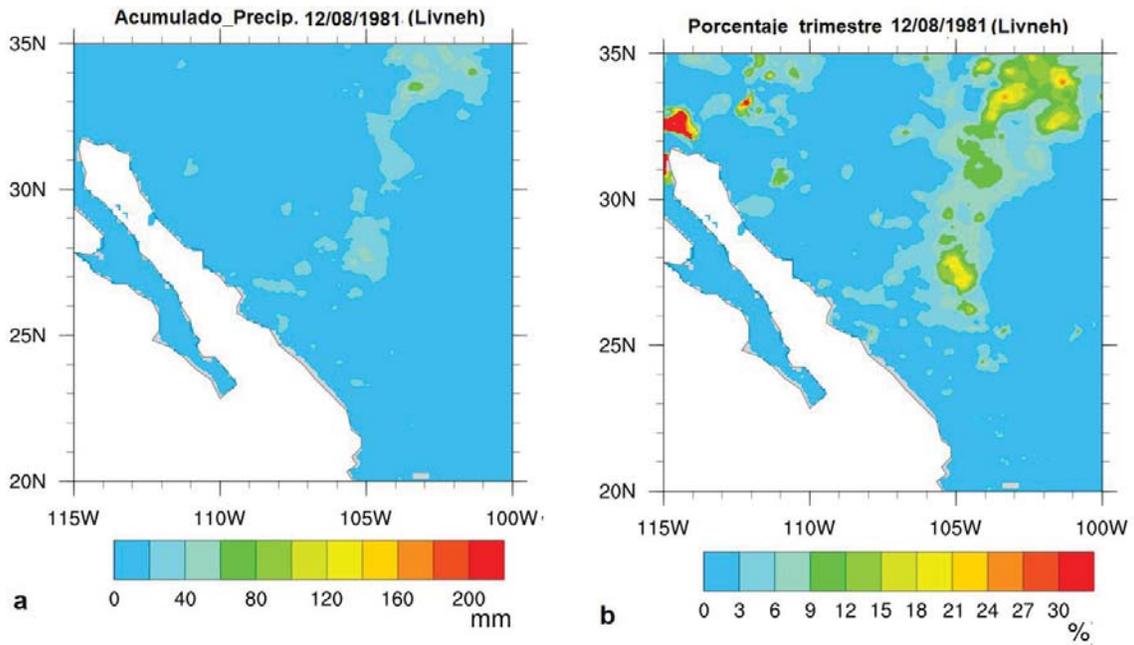
## Livneh

Caso 12 de agosto de 1981

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo. Sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los

niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

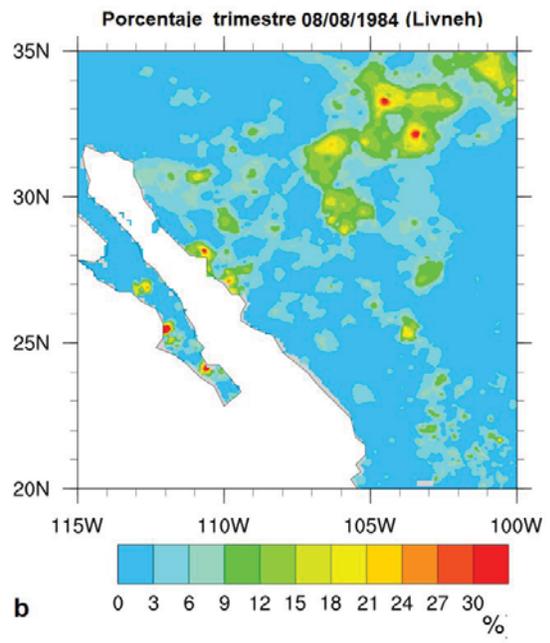
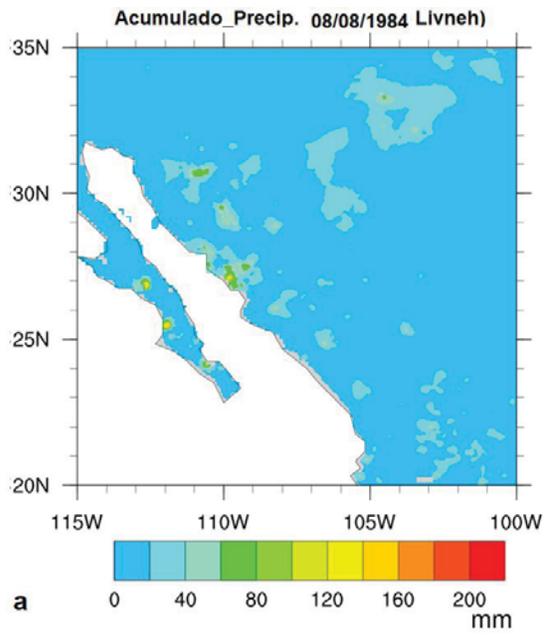


**Caso 12 de agosto de 1981.** a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 8 de agosto de 1984

En este evento la precipitación acumulada excedió los 20 mm con áreas aisladas donde fue superior a los 100 mm. En relación con el porcentaje, este caso aportó más del 3 %, aunque en la porción sur de la península de Baja California, hacia la costa y en el noreste del área de estudio superó el 18 %, incluso el 30 % en puntos aislados.

En superficie se observa un centro de bajas presiones localizado sobre la porción noroeste del área de estudio, esta configuración de las isobaras aporta un flujo del sur y sureste que proviene del océano Pacífico y del Mar de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección noroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Para la superficie de 500 hPa se observa un centro de alto valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU, la configuración aporta un flujo del noreste. Hacia la porción centro norte de EE.UU se extiende una vaguada con eje extendido en dirección noreste-suroeste, este sistema se observa adentrándose su porción sur en la zona de estudio pero mal estructurado. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje mantiene la misma orientación que en 500 hPa. Para este caso no se observó que el eje de la vaguada penetrara en su totalidad en el área de estudio

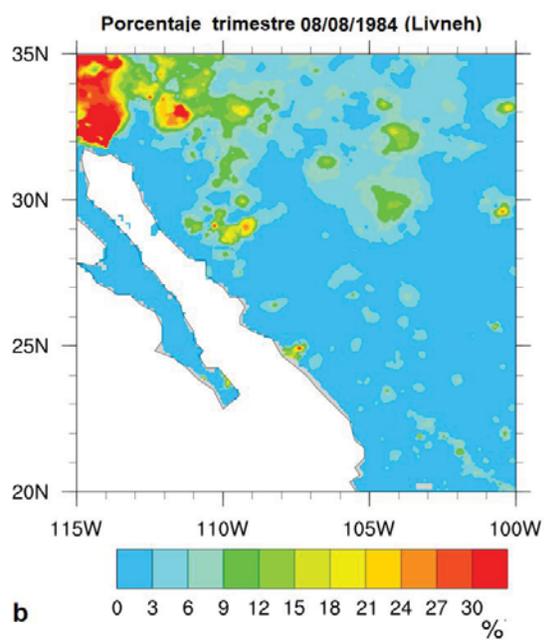
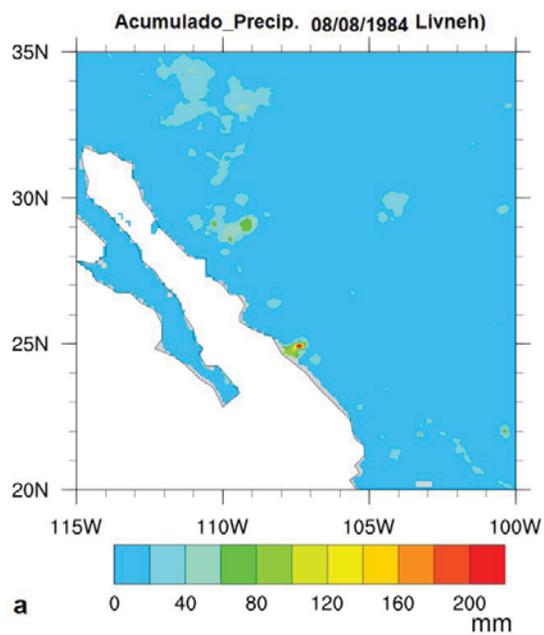


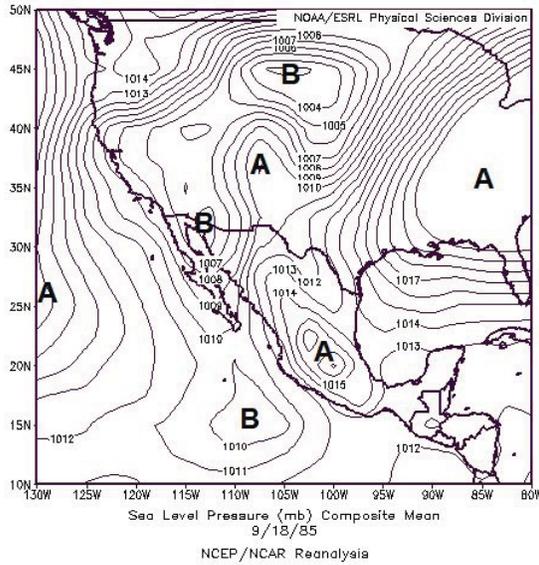


## Caso 18 de septiembre de 1985

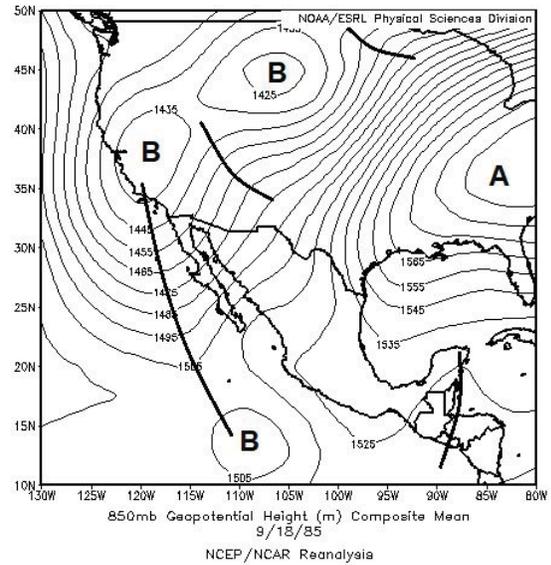
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo. Sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

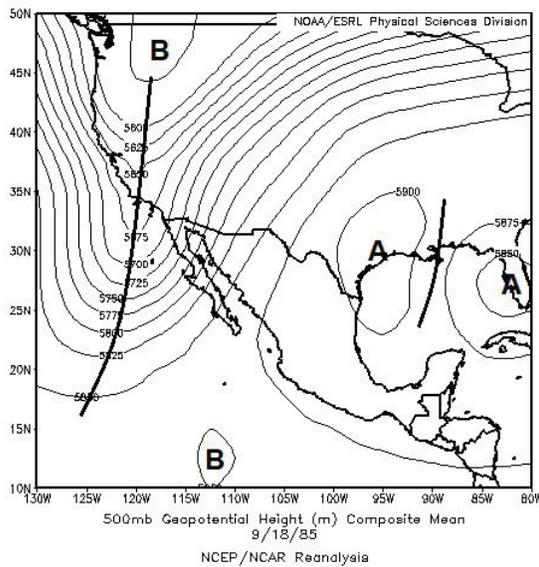




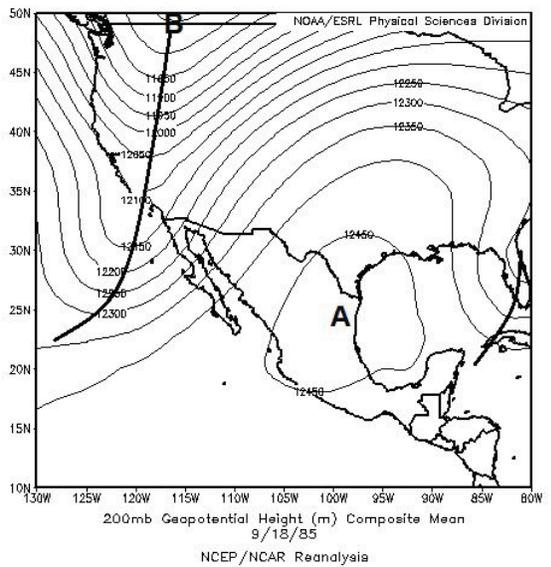
c



d



e



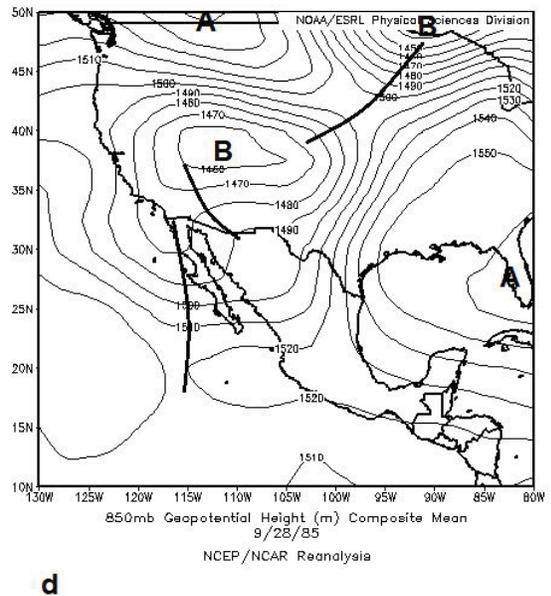
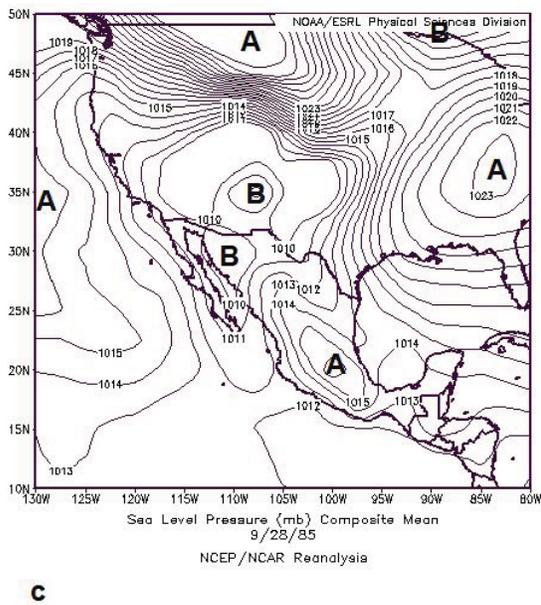
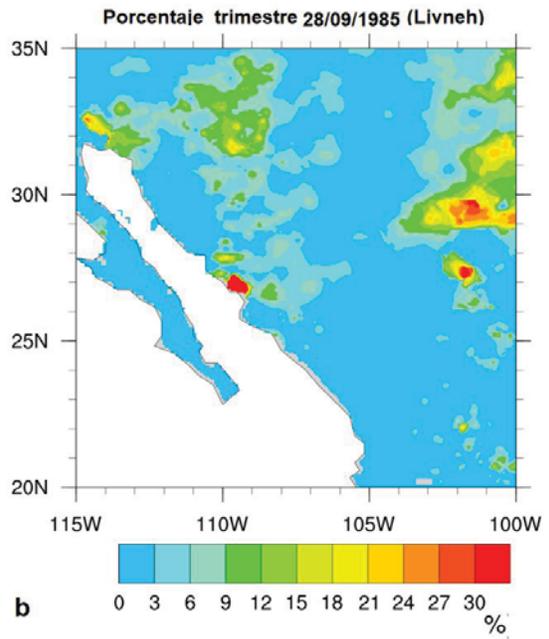
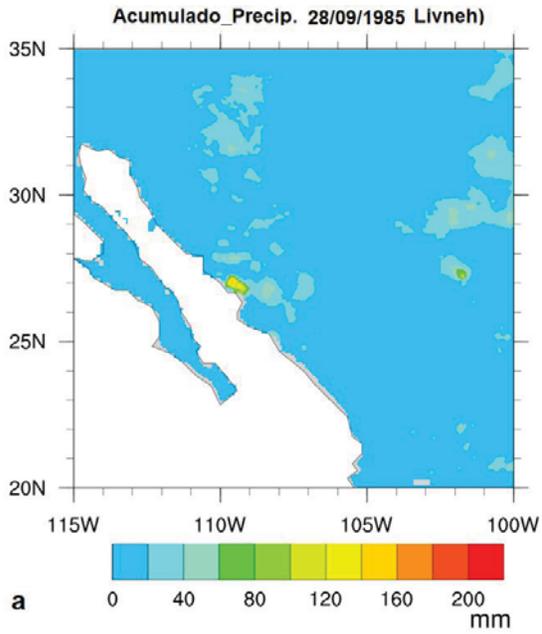
f

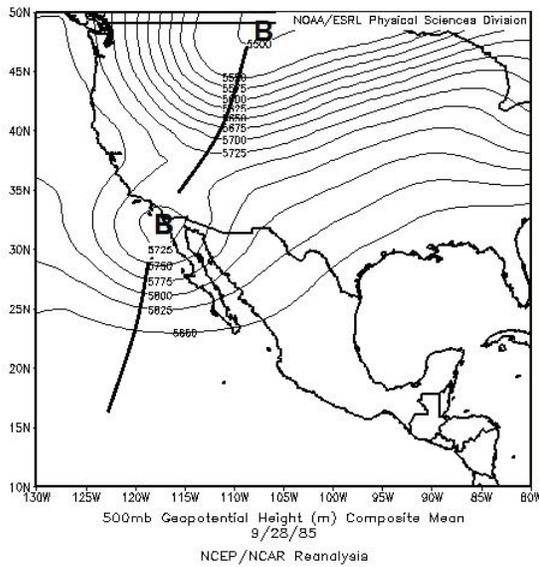
Caso 18 de septiembre de 1985. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

Caso 28 de septiembre de 1985

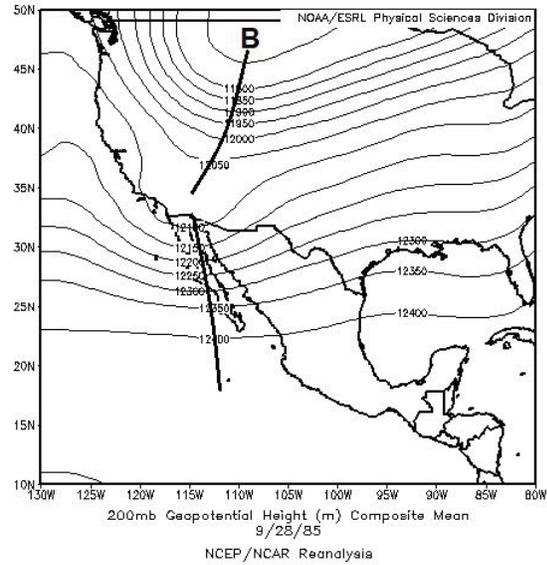
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





e



f

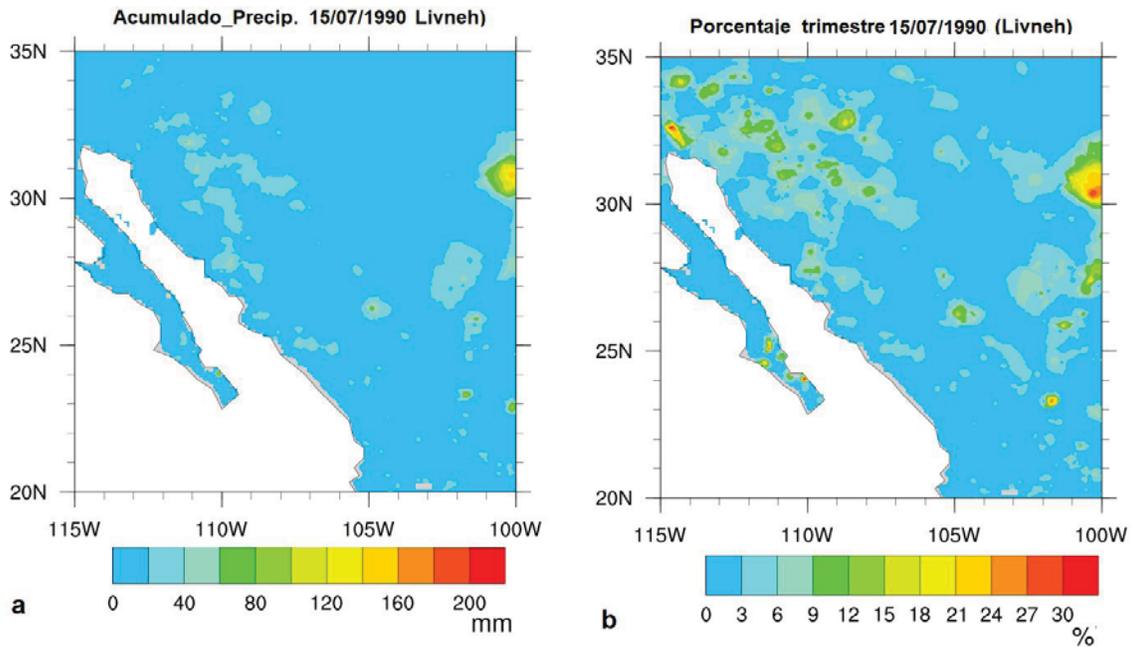
**Caso 28 de septiembre de 1985. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

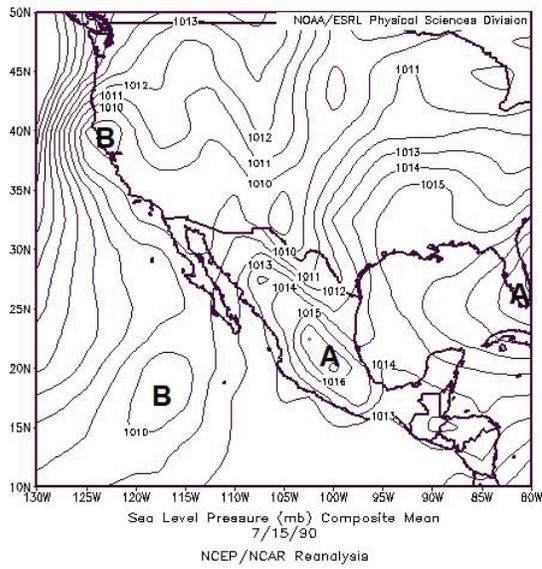
Caso 15 de julio de 1990

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

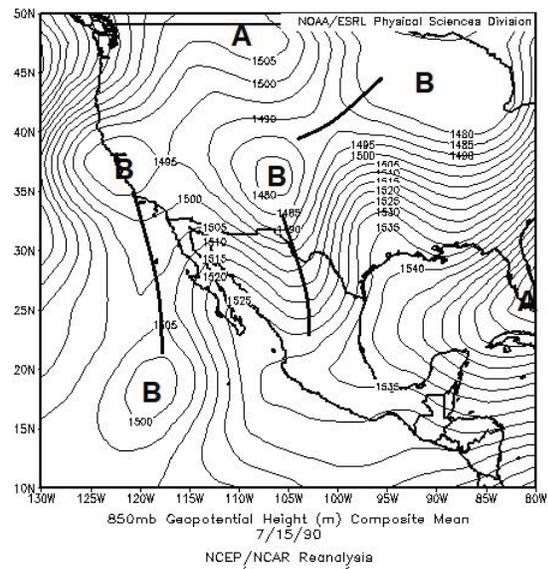
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con

dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

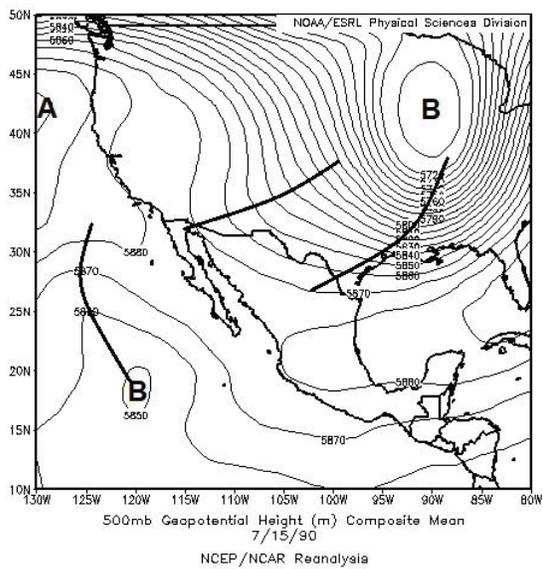




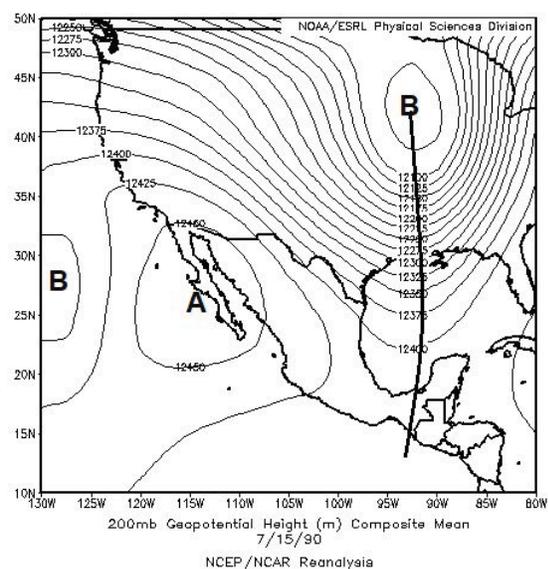
c



d



e



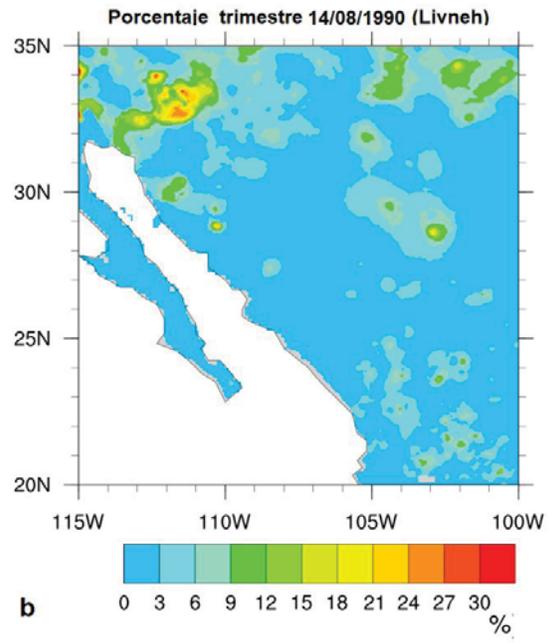
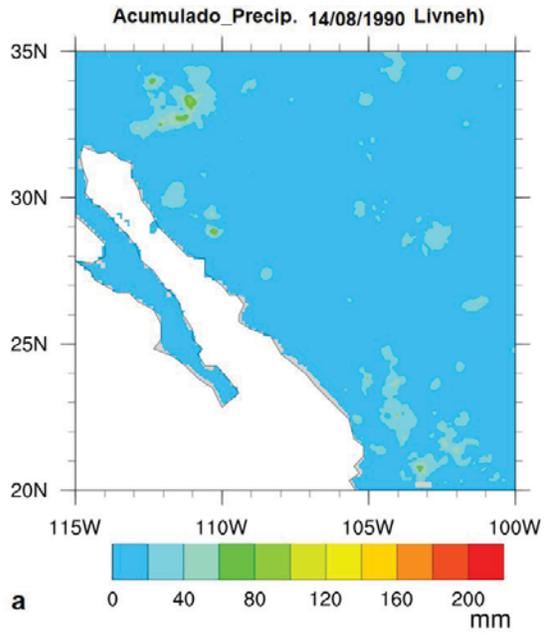
f

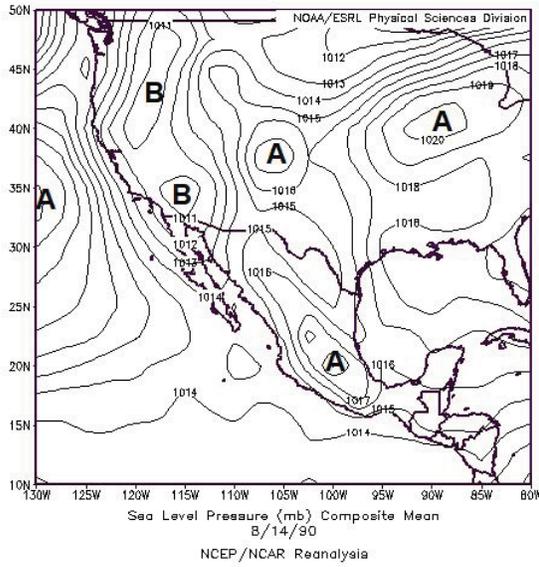
Caso 15 de julio de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 14 de agosto de 1990

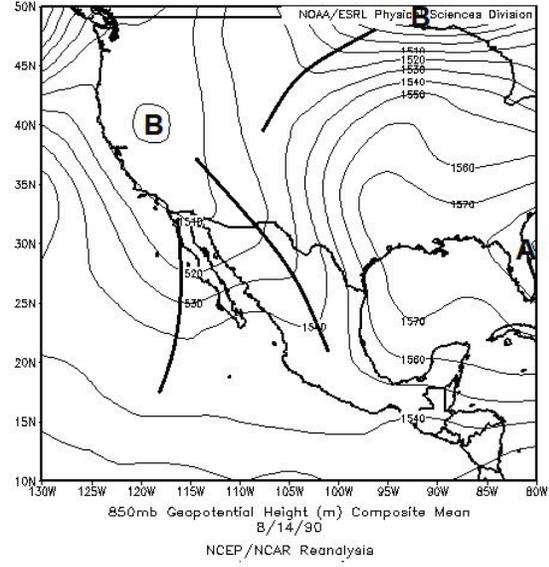
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

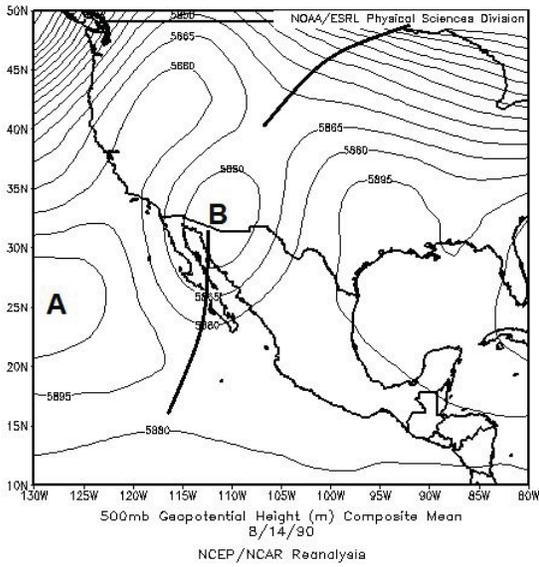




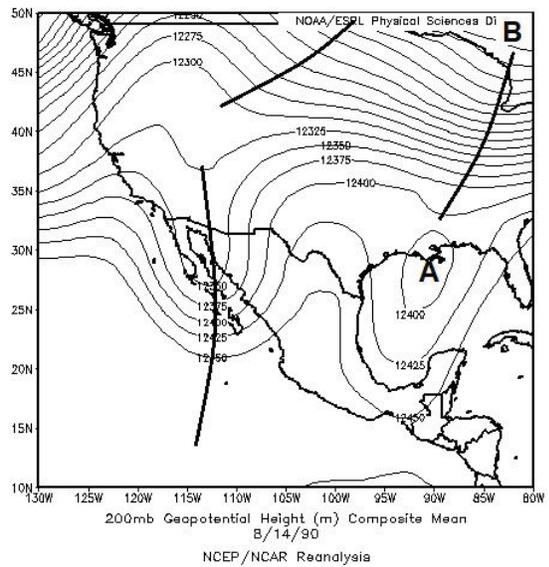
c



d



e



f

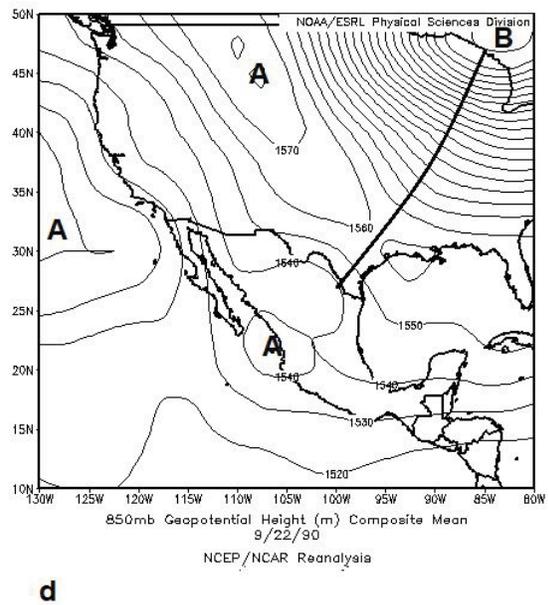
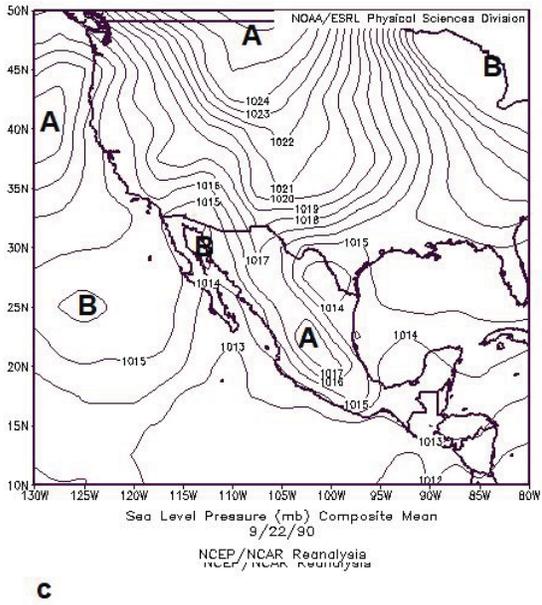
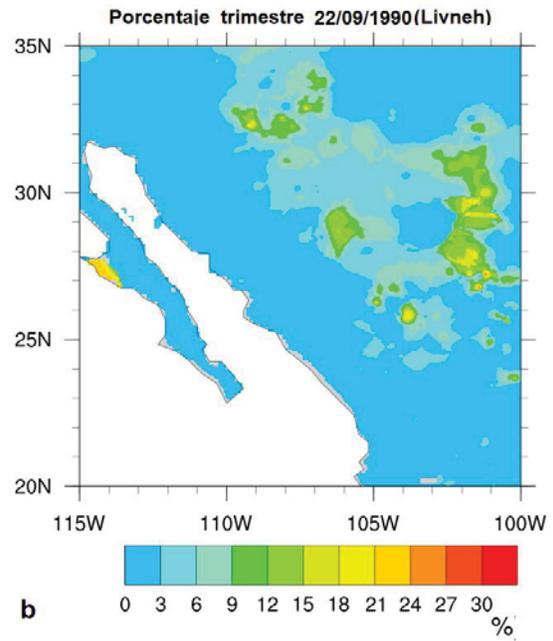
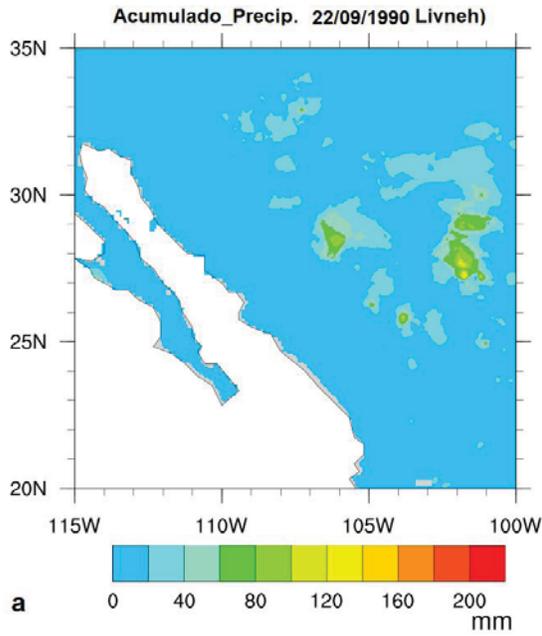
**Caso 14 de agosto de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

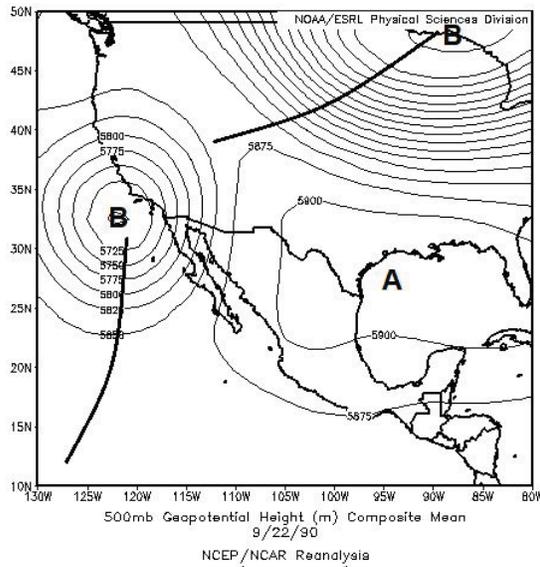
Caso 22 de septiembre de 1990

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

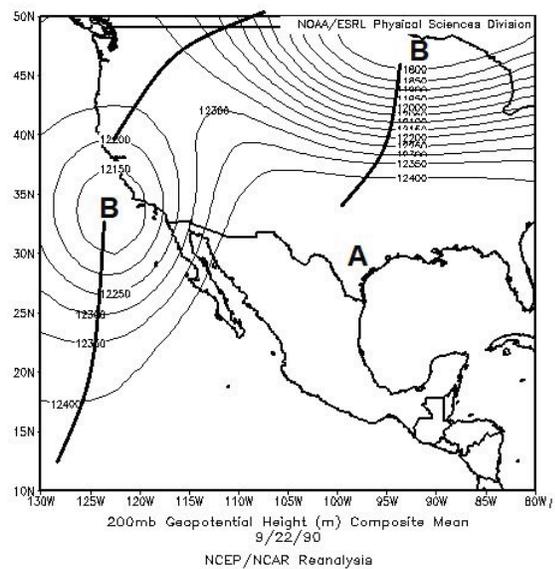
porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





e



f

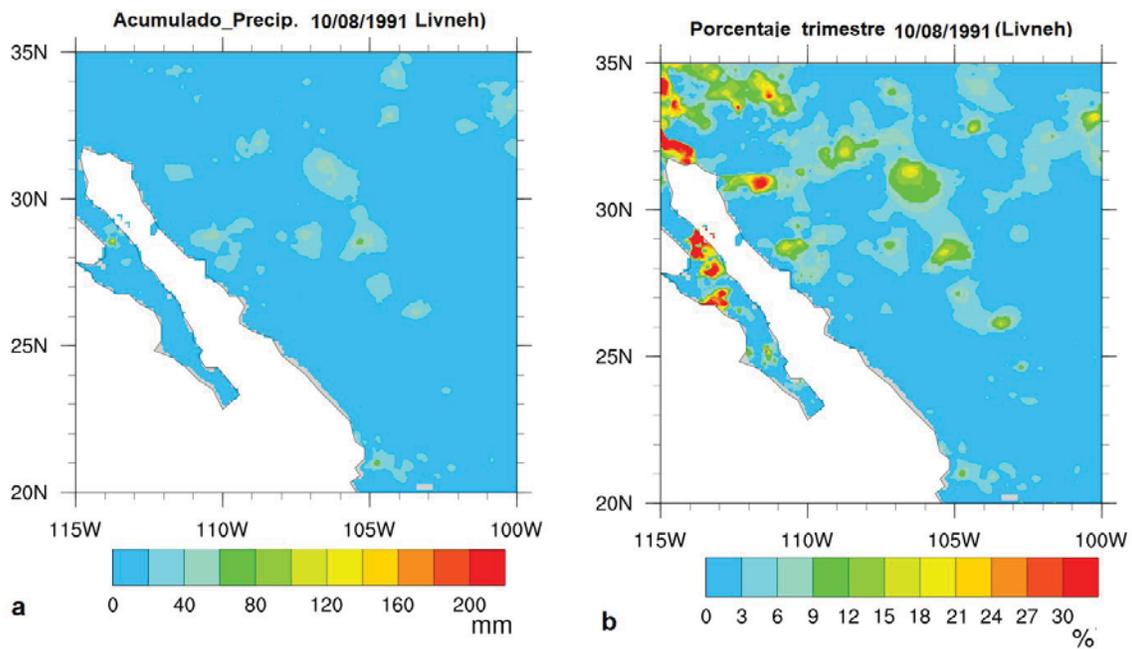
Caso 22 se septiembre de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

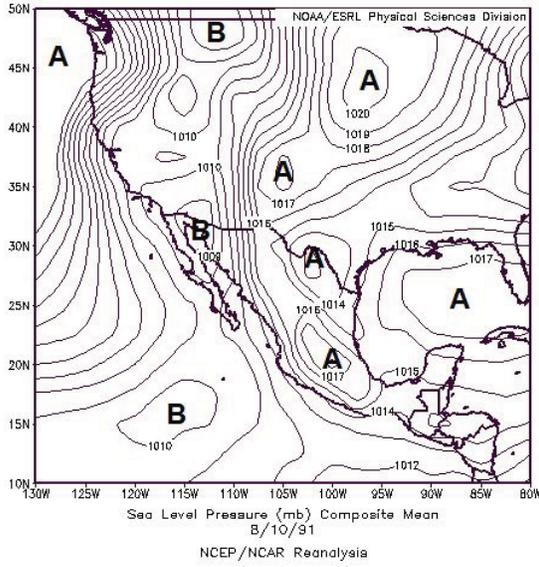
Caso 10 de agosto de 1991

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

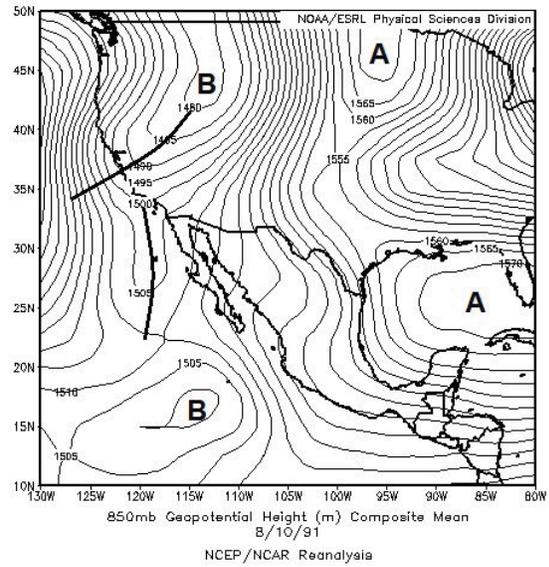
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

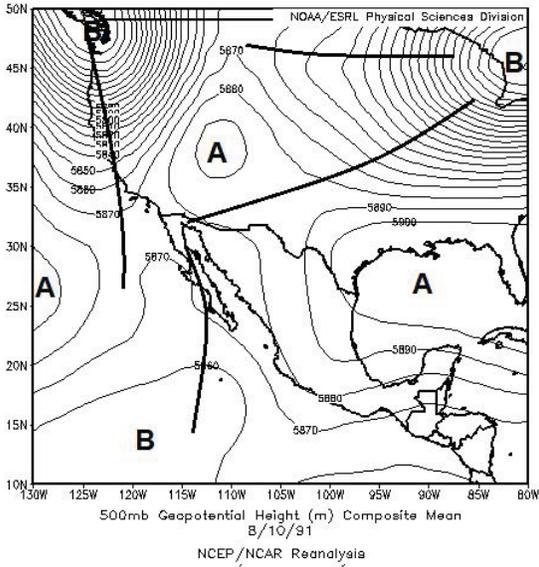




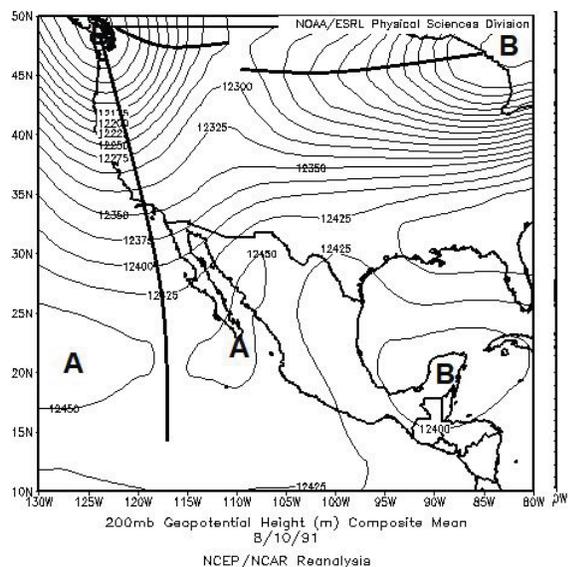
c



d



e



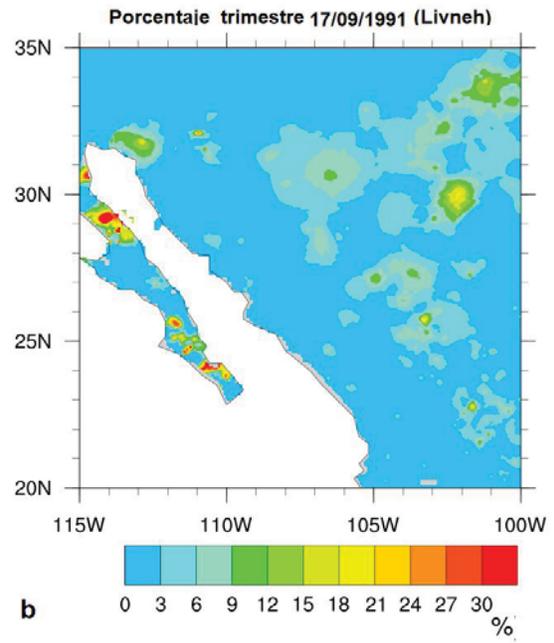
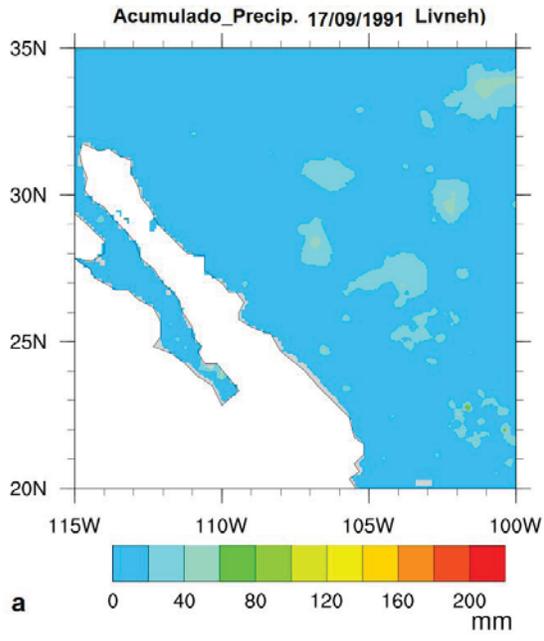
f

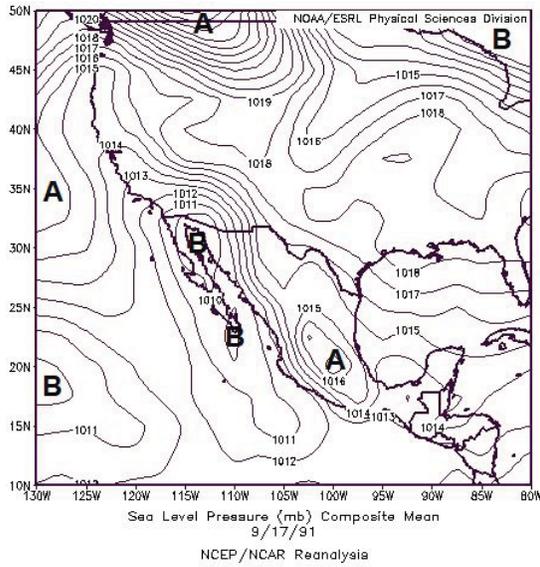
Caso 10 de agosto de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

Caso 17 de septiembre de 1991

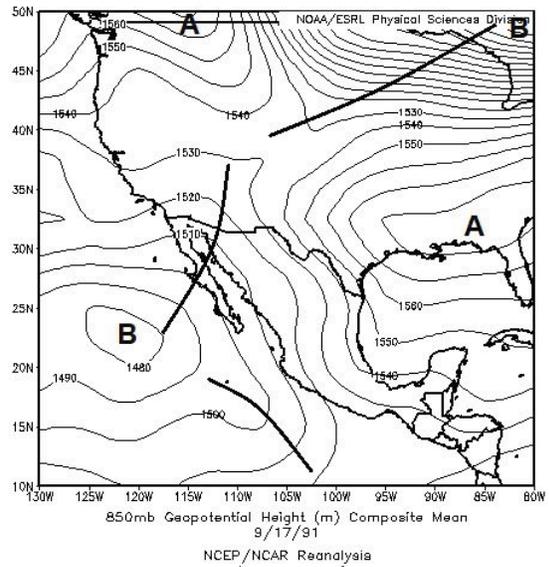
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

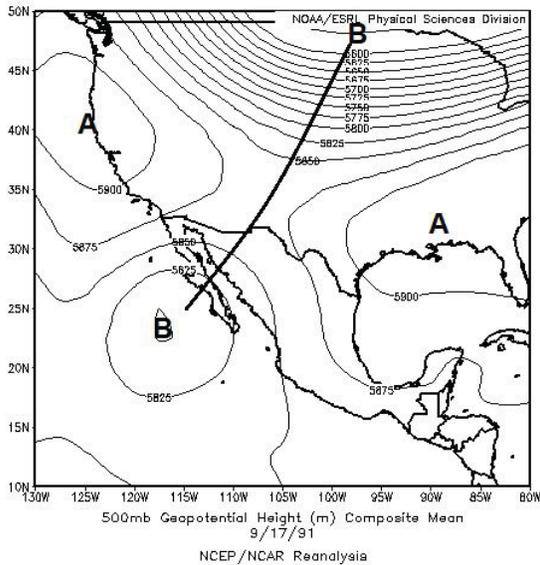




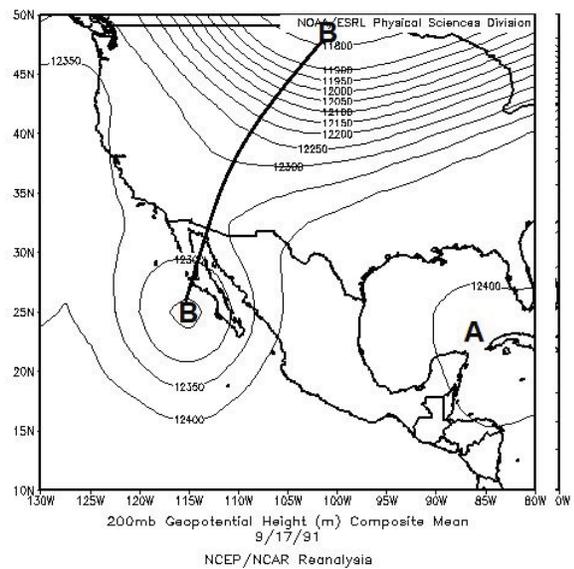
c



d



e



f

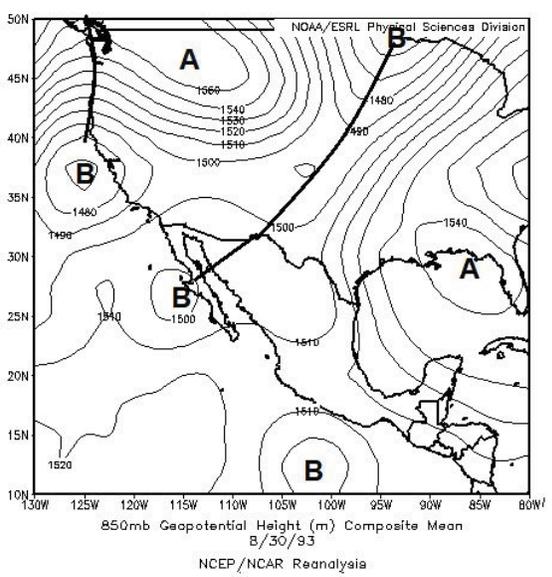
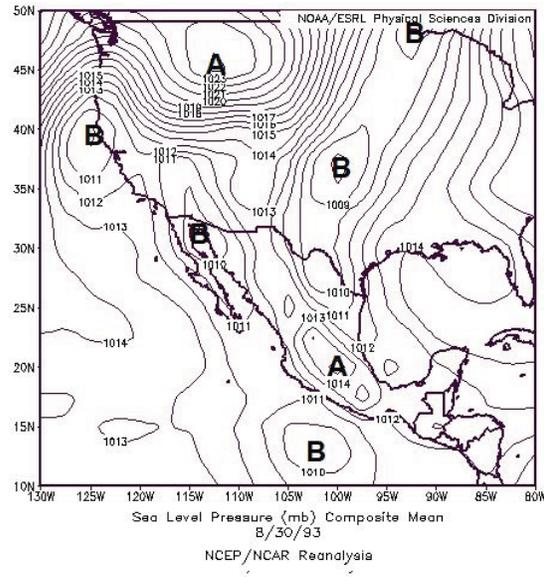
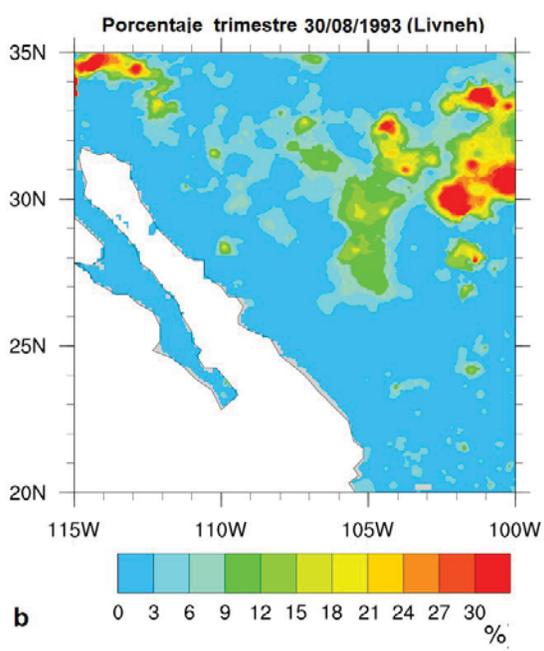
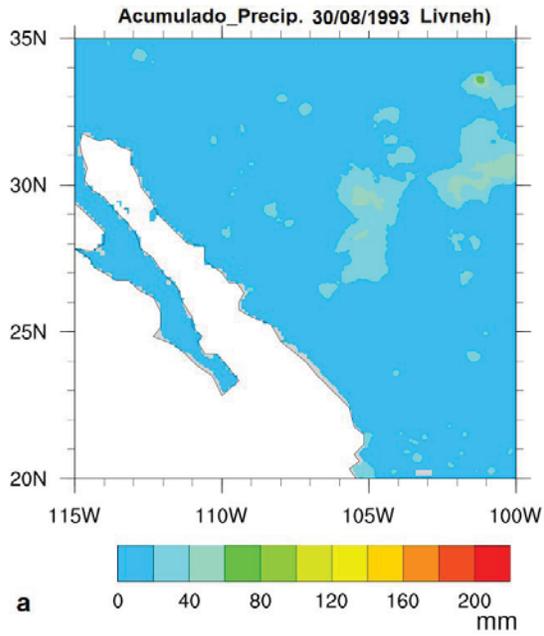
**Caso 17 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

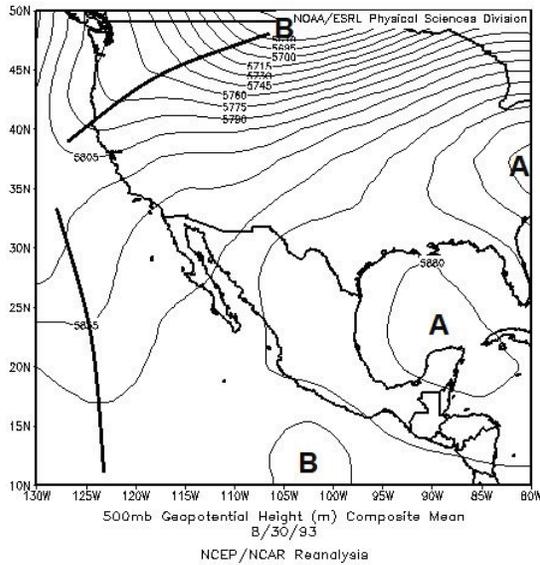
**Caso 30 de agosto de 1993**

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

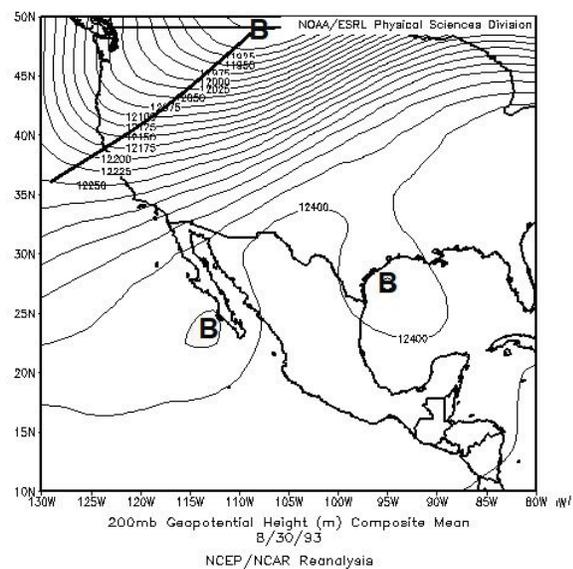
porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





e



f

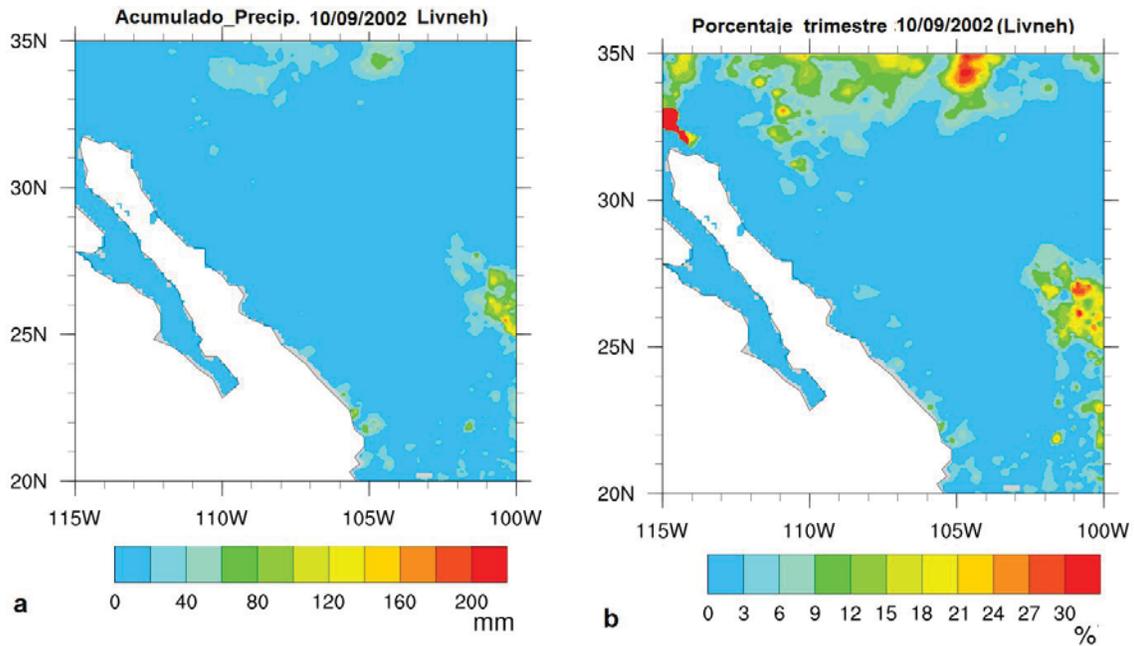
**Caso 30 de agosto de 1993. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

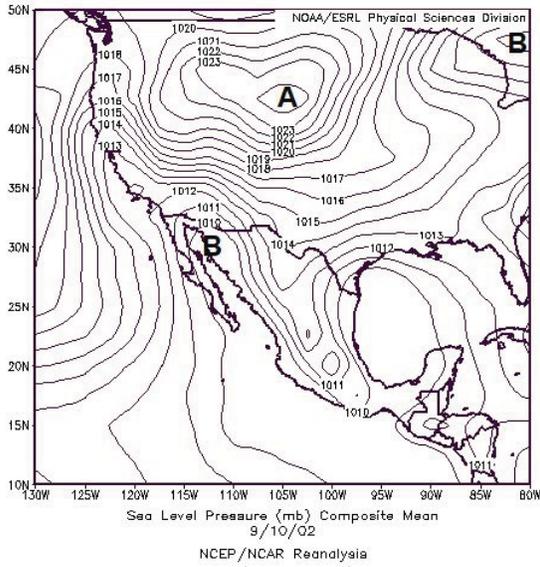
**Caso 10 de septiembre de 2002**

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

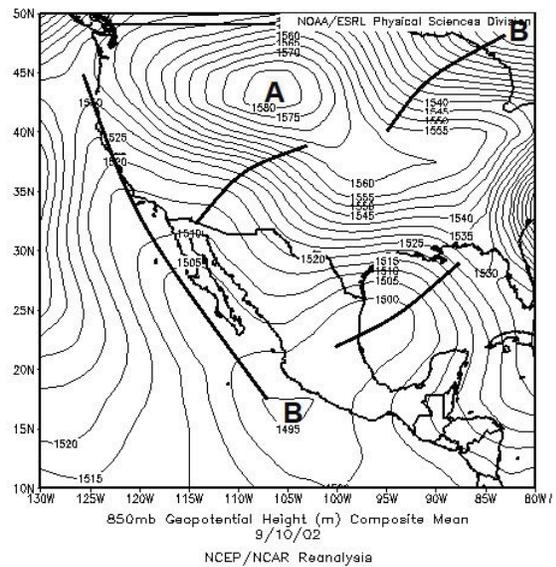
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

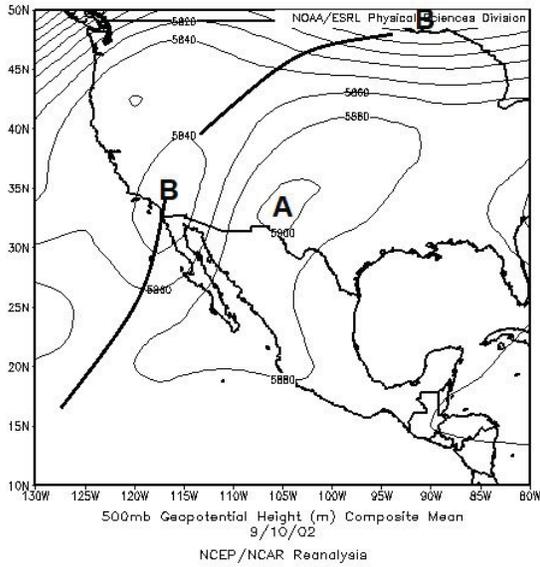




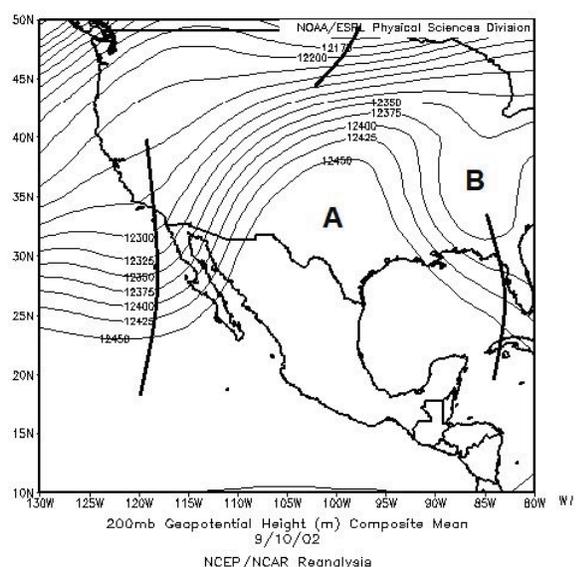
c



d



e



f

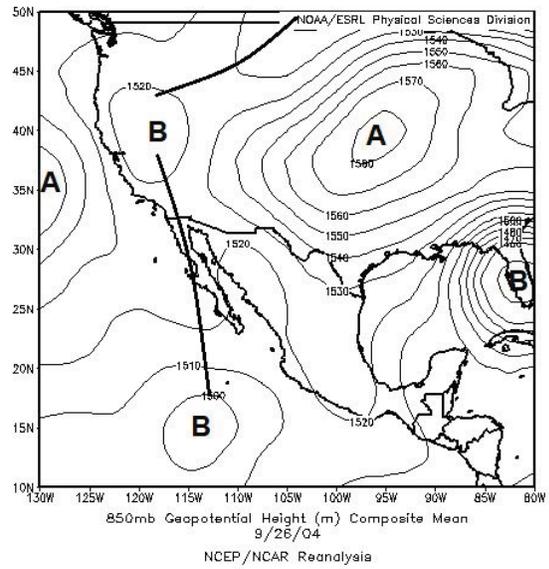
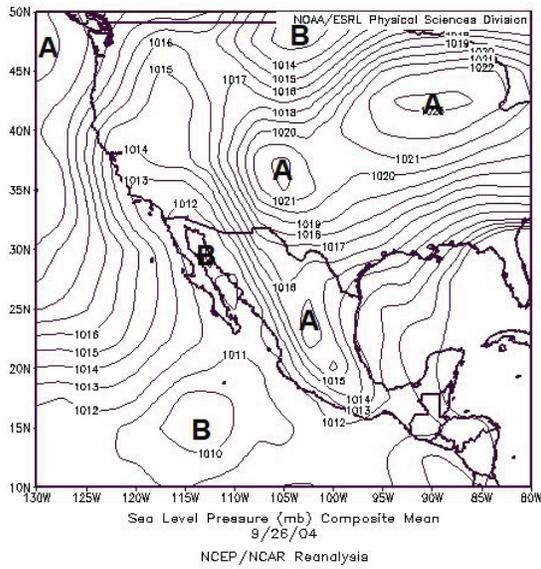
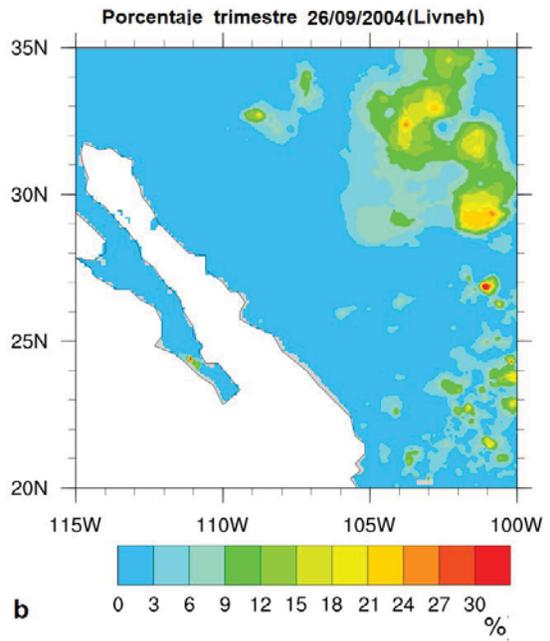
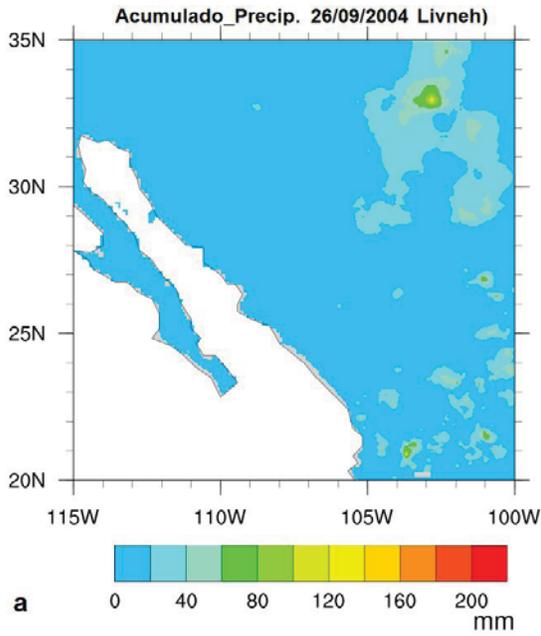
Caso 10 de septiembre de 2002. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa

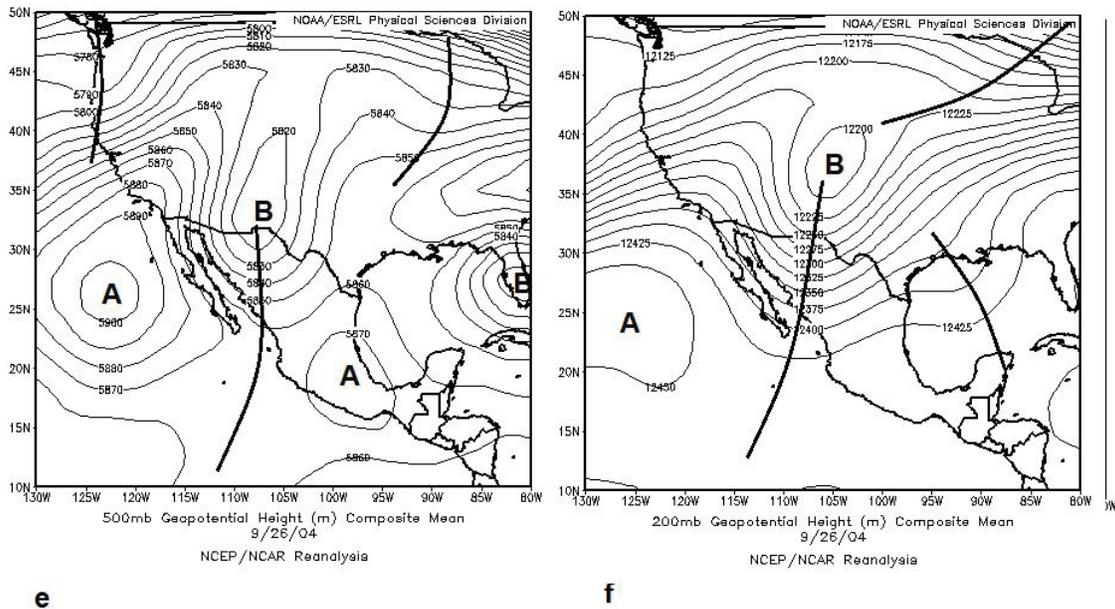
Caso 26 de septiembre de 2004

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





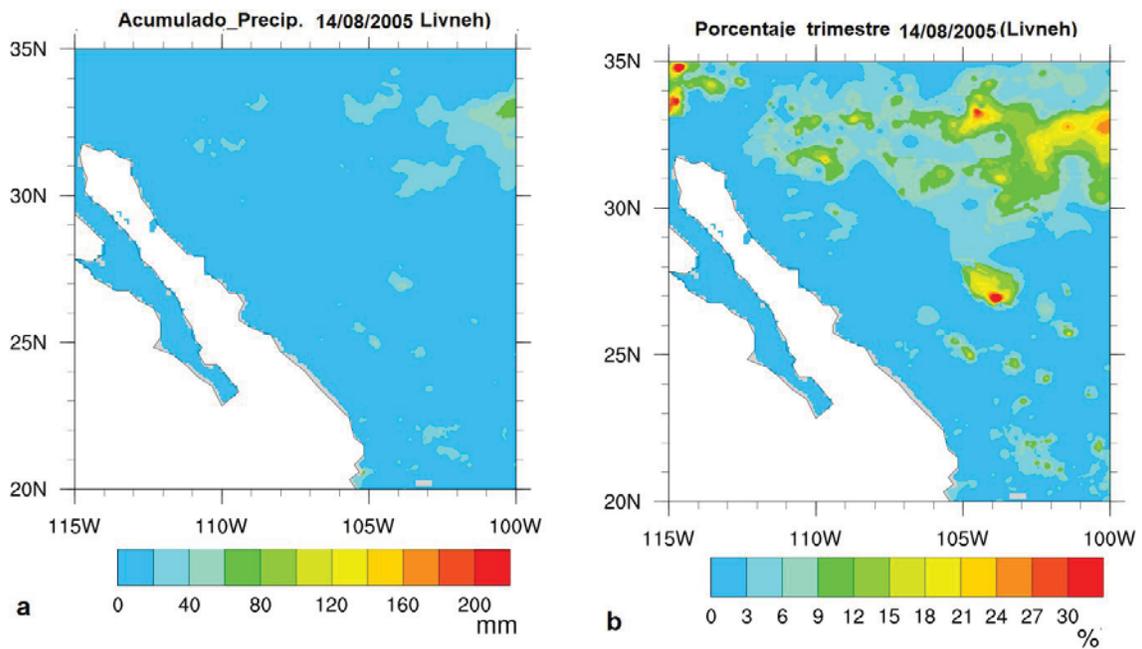
**Caso 26 de septiembre de 2004. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa**

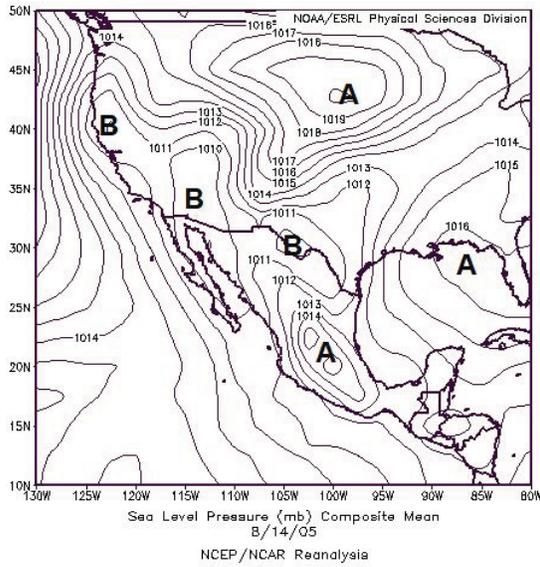
**Caso 14 de agosto de 2005**

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

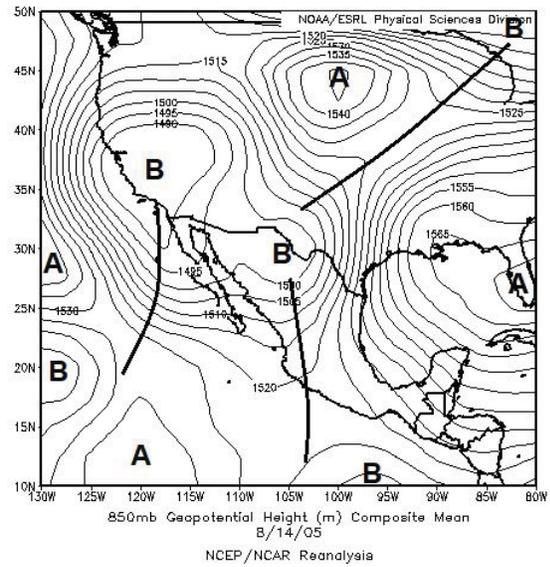
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

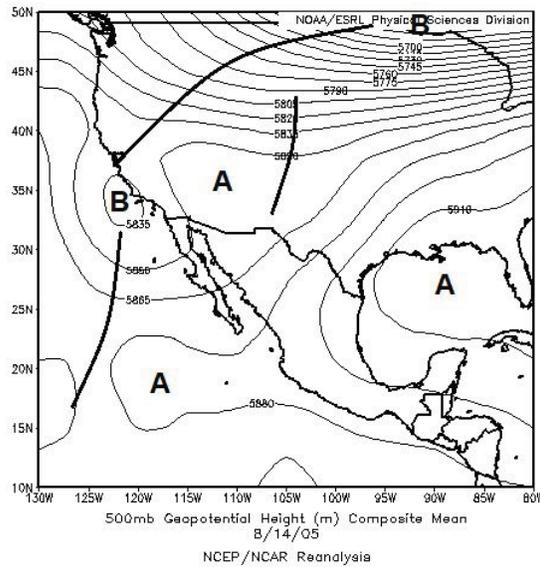




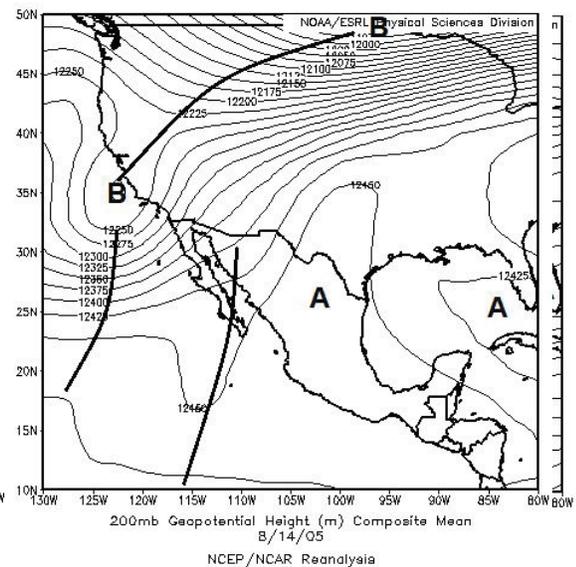
c



d



e



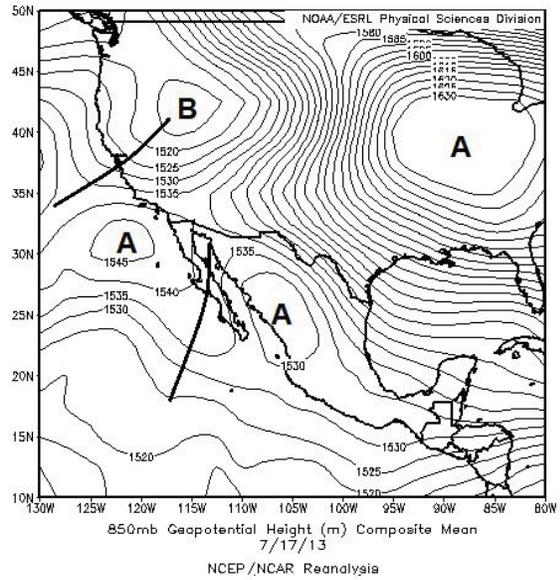
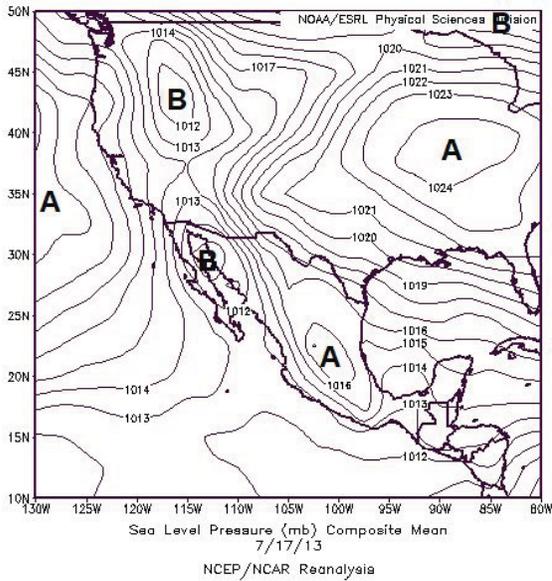
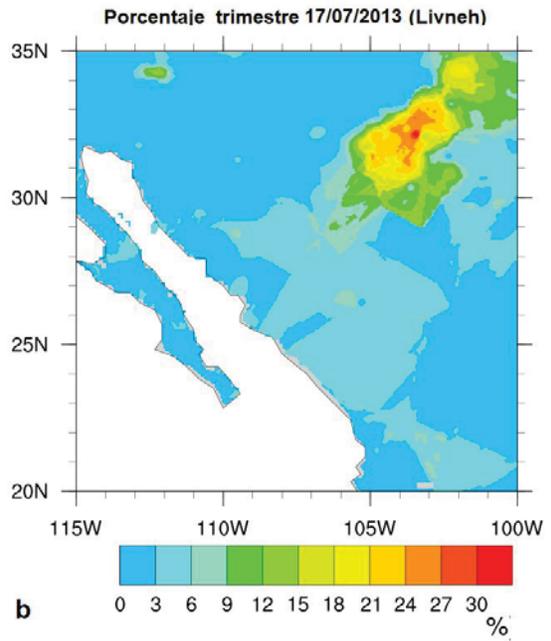
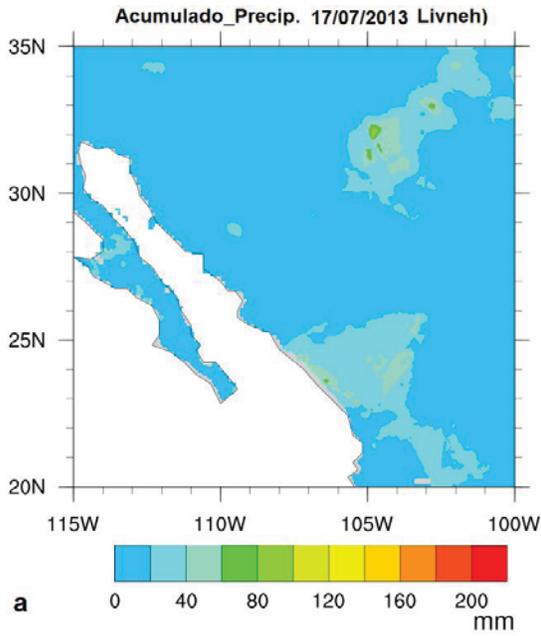
f

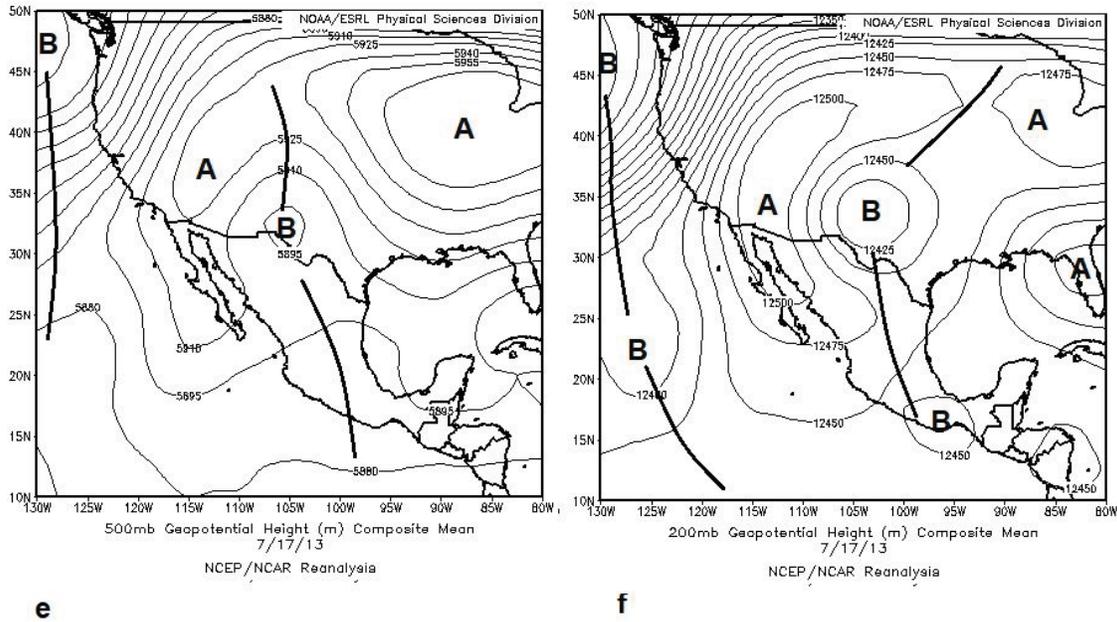
Caso 14 de agosto de 2005. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

### Caso 17 de julio de 2013

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





Caso 17 de julio de 2013. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

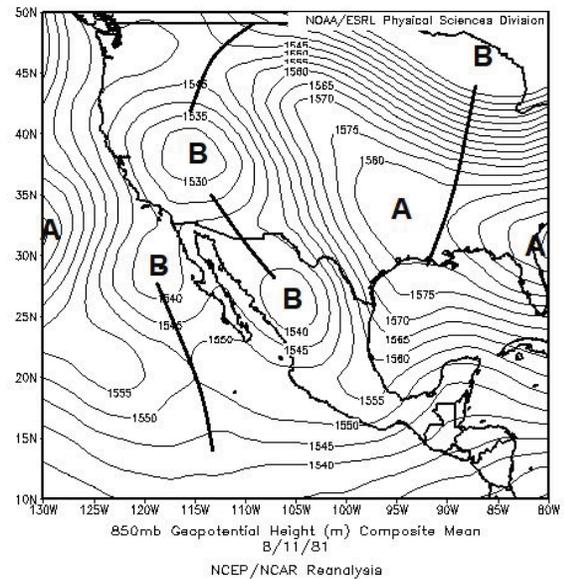
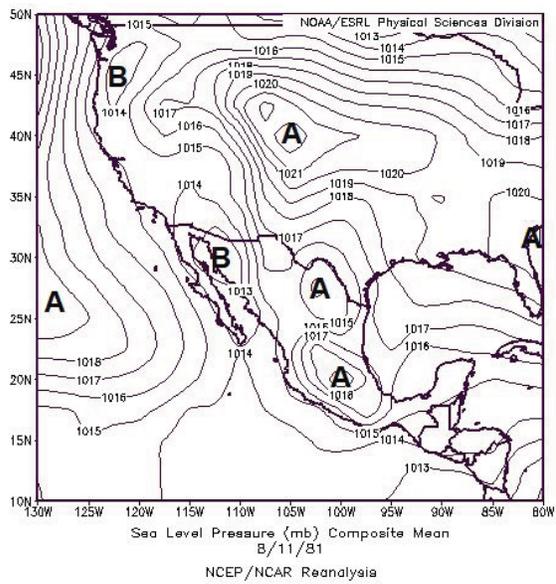
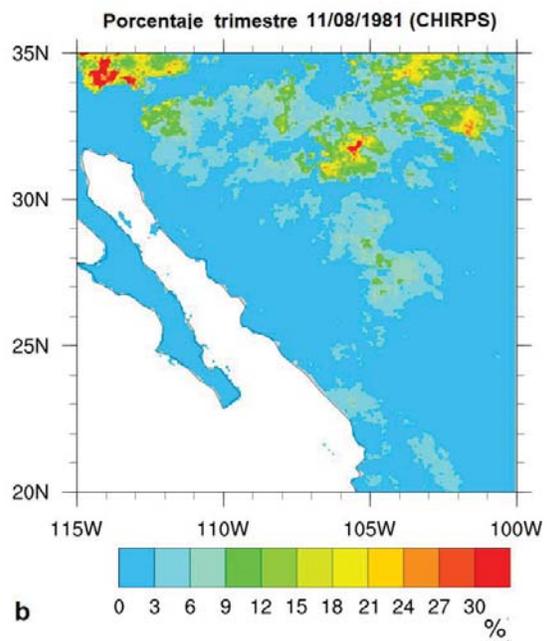
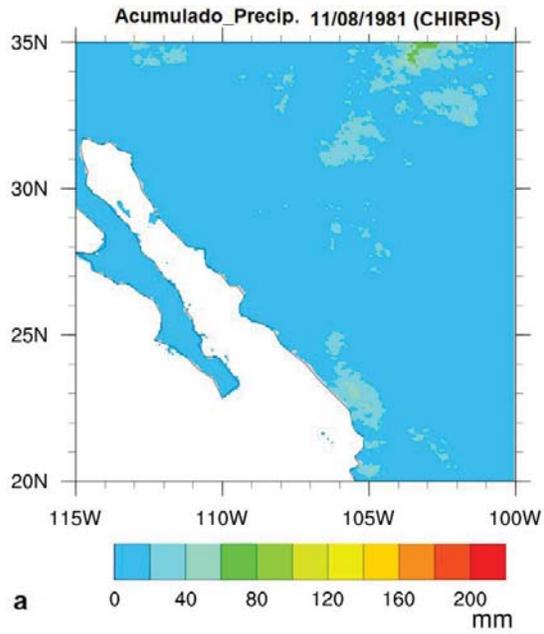
## CHIRPS

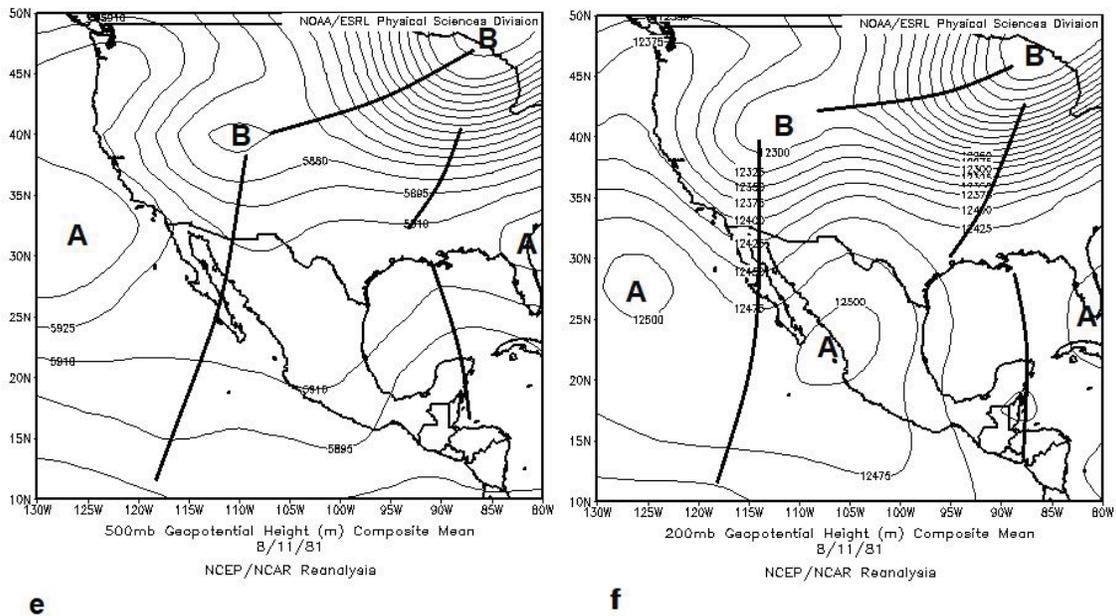
Caso 11 de agosto de 1981

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está

centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





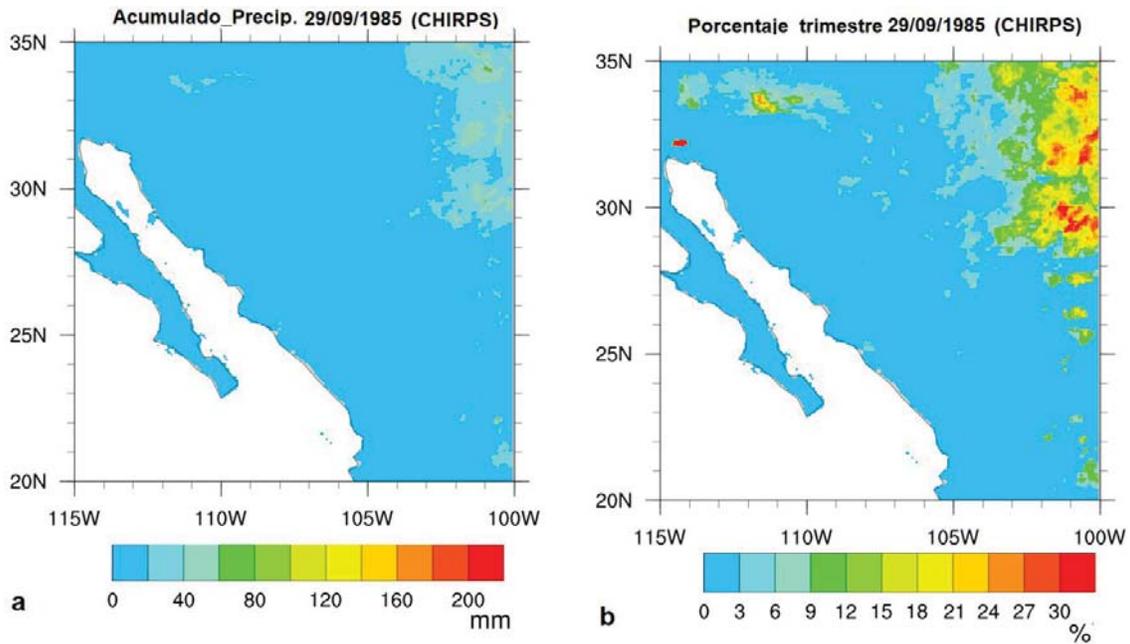
**Caso 11 de agosto de 1981. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

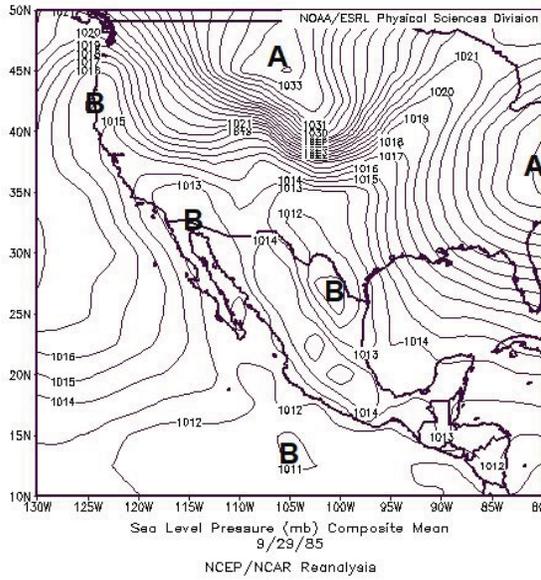
### Caso 29 de septiembre de 1985

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

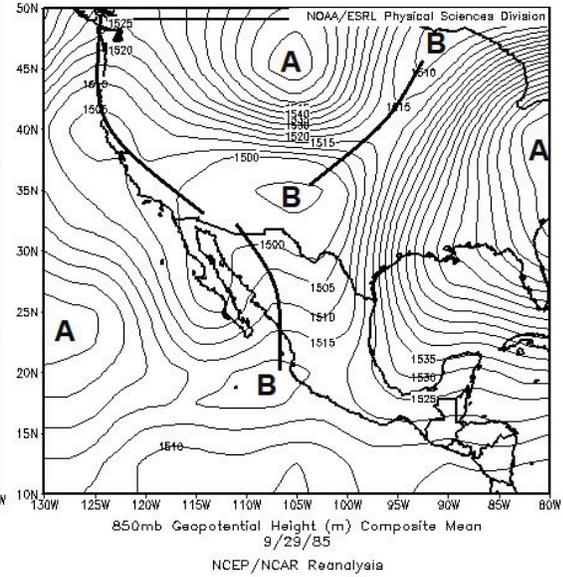
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

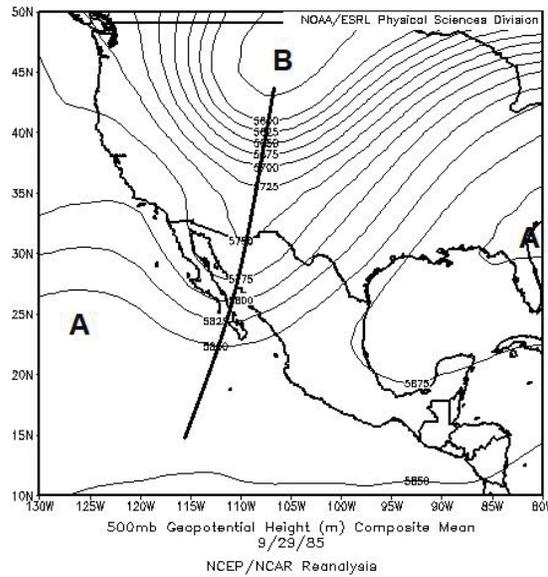




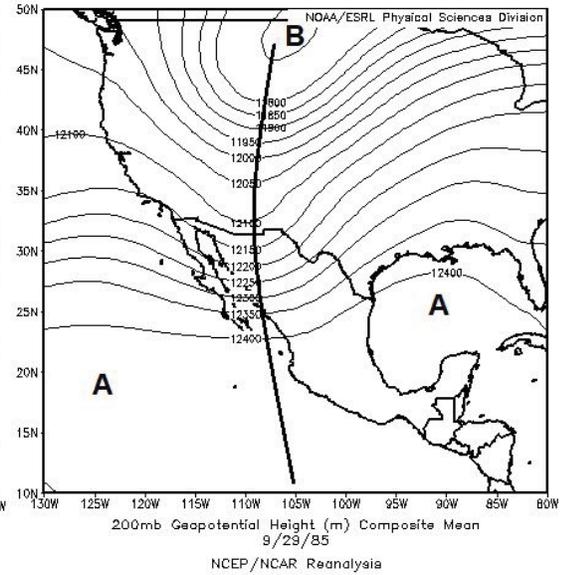
c



d



e



f

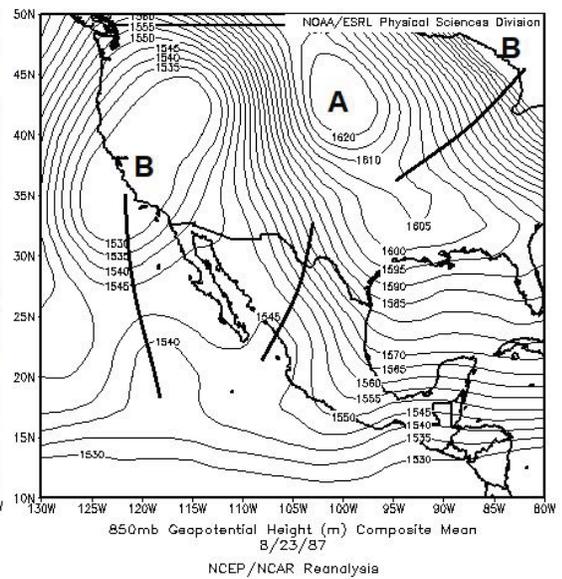
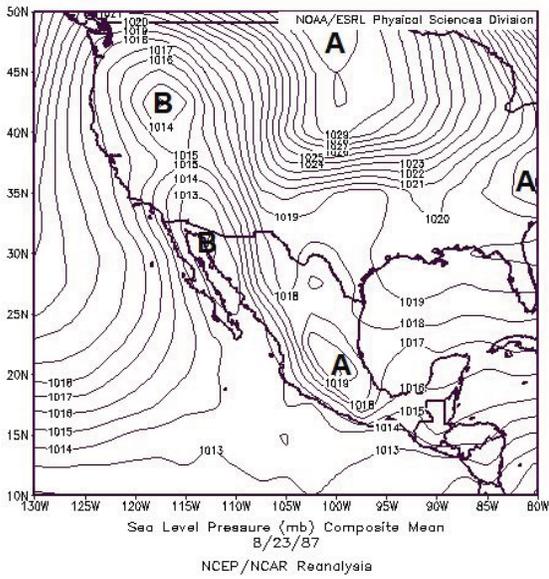
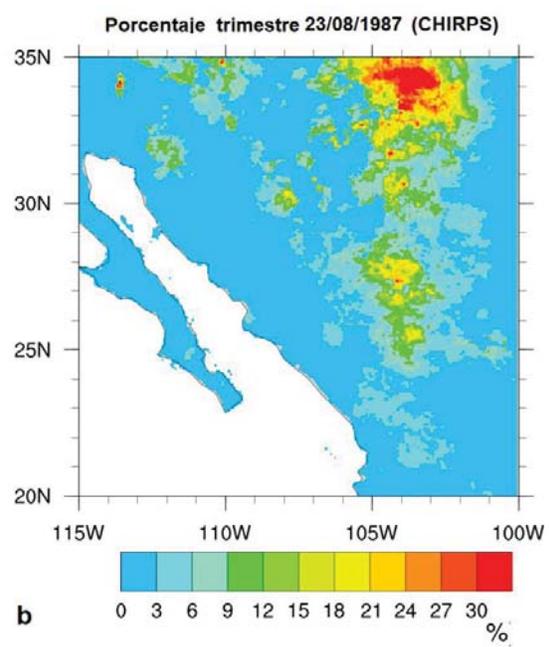
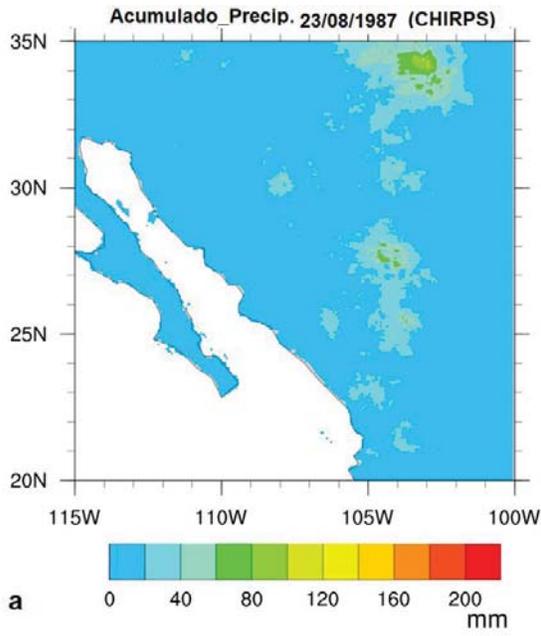
Caso 29 de septiembre de 1985. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

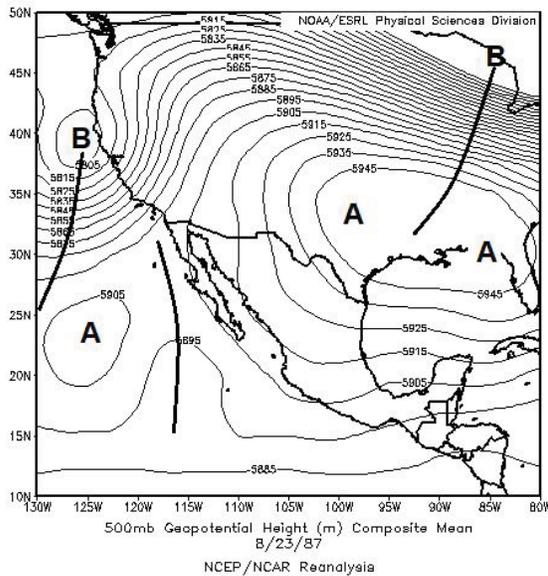
Caso 23 de agosto de 1987

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

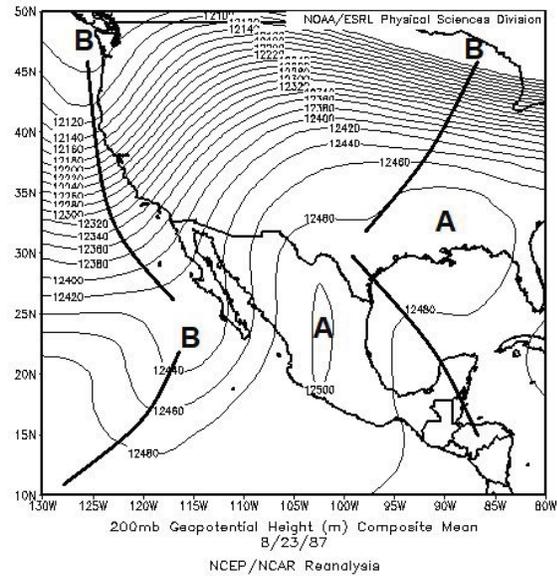
porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





e



f

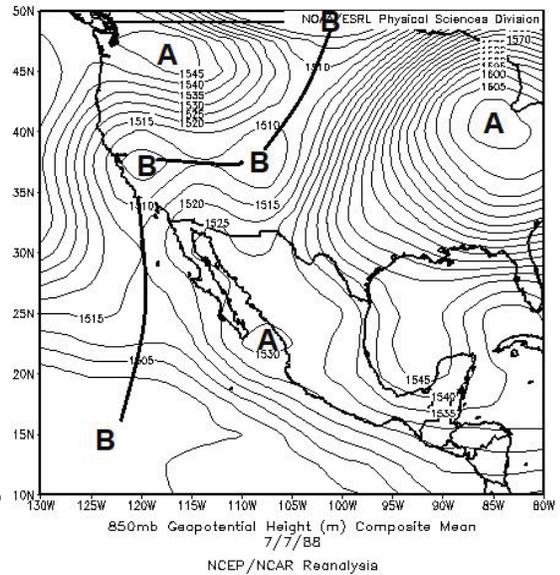
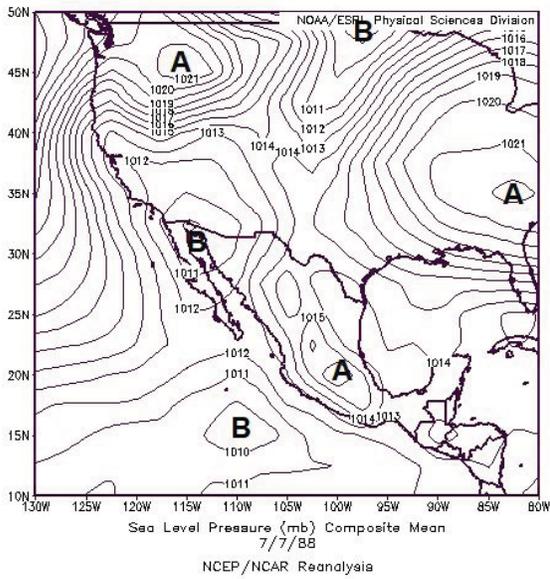
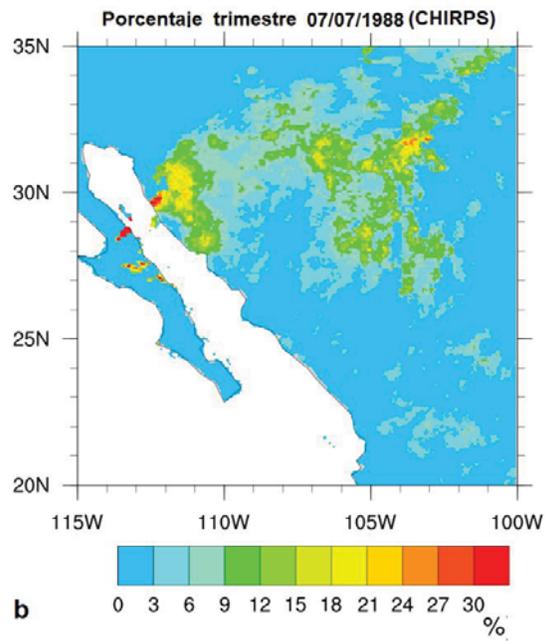
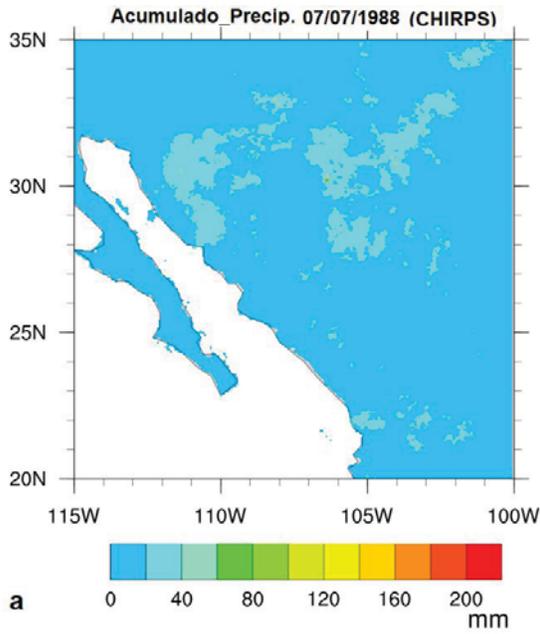
Caso 23 de agosto de 1987. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

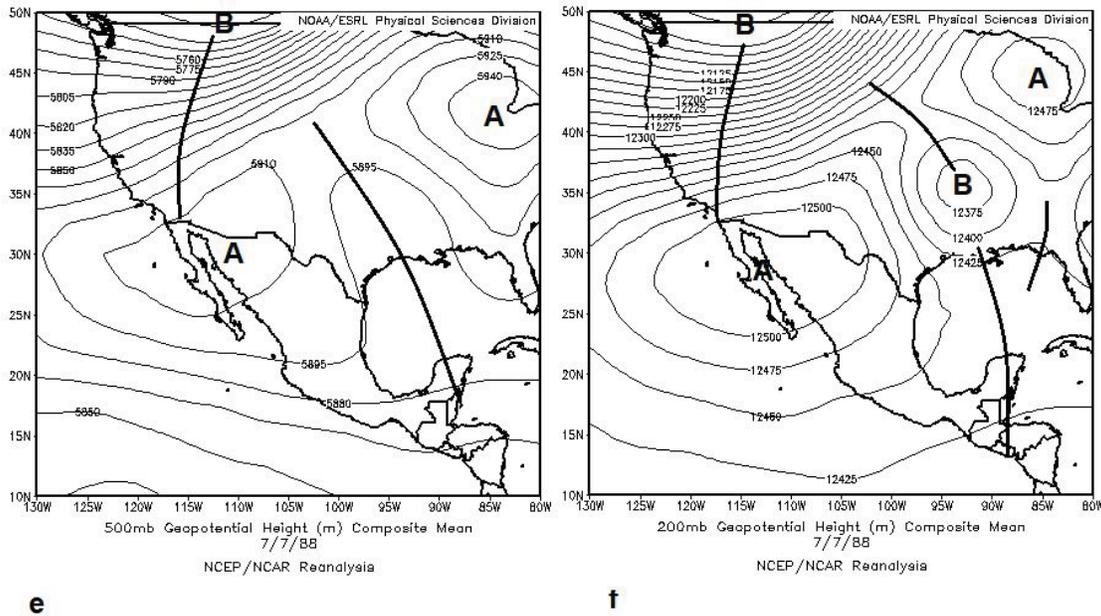
Caso 7 de julio de 1988

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





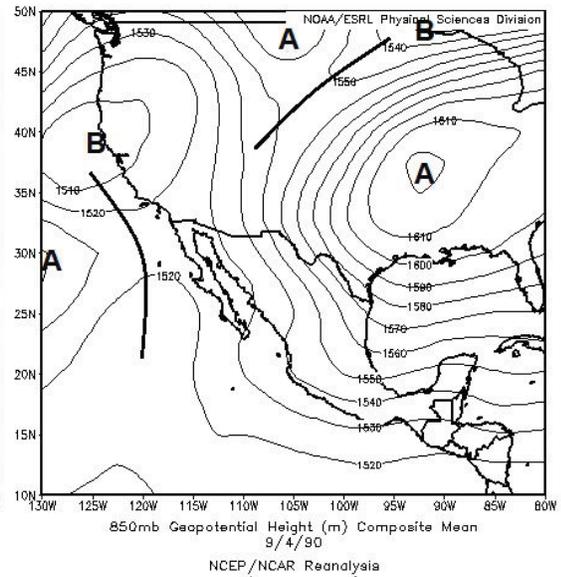
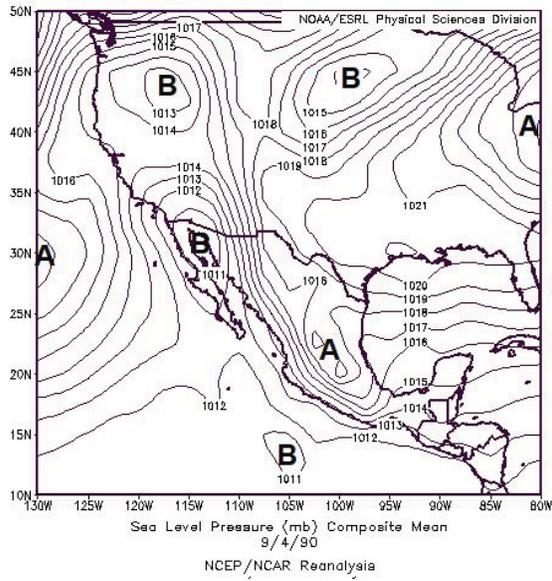
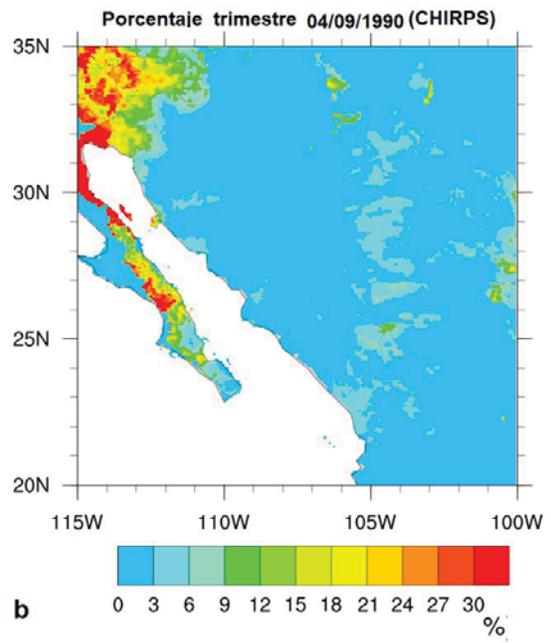
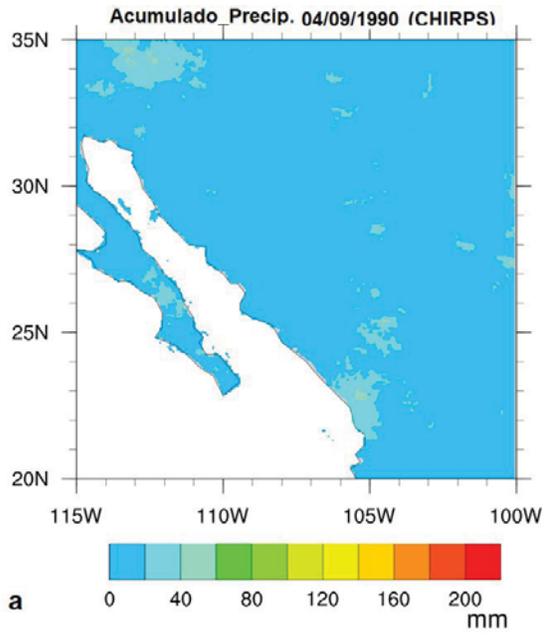
**Caso 7 de julio de 1988. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

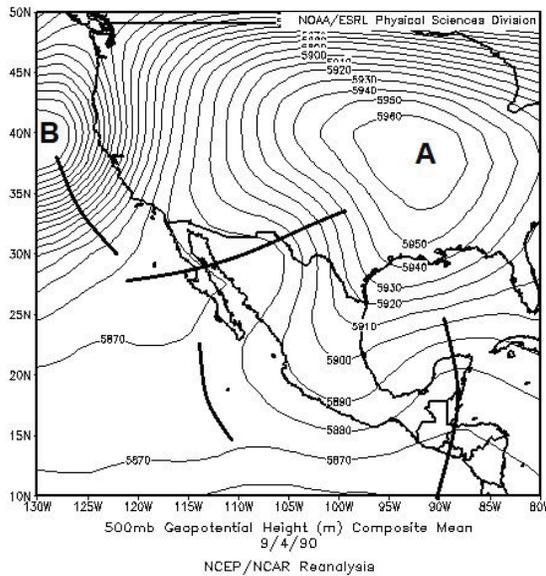
#### Caso 4 de septiembre de 1990

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

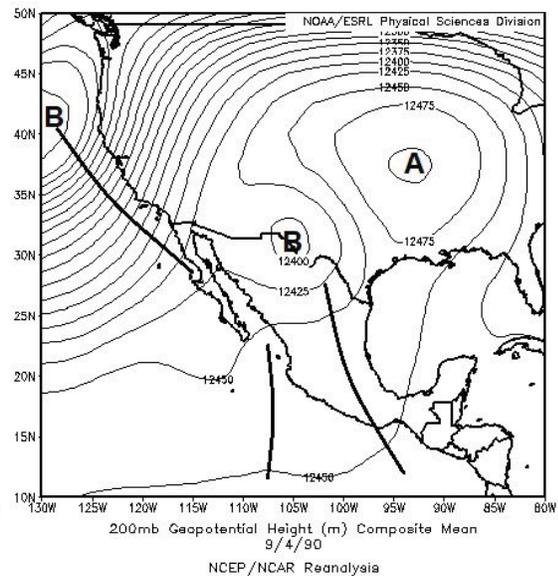
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





e



f

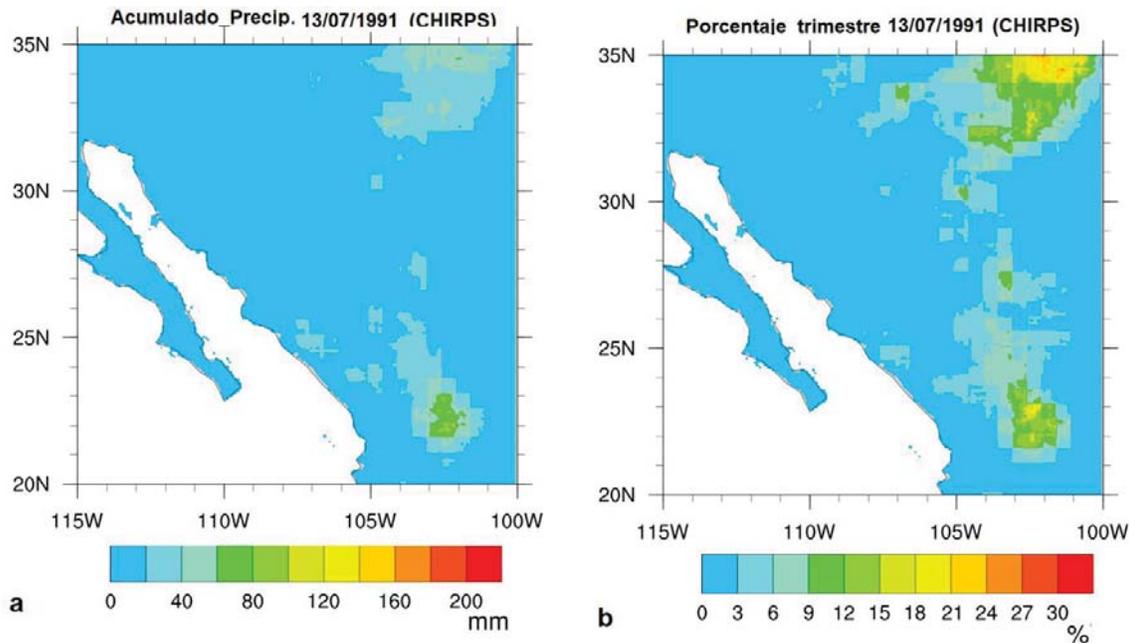
Caso 4 de septiembre de 1990. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

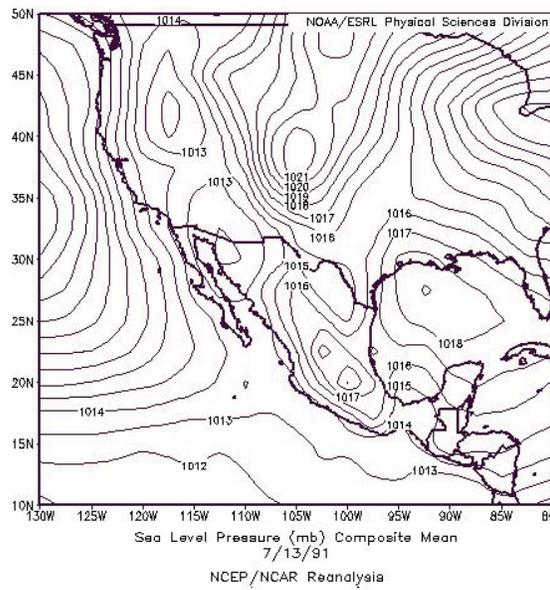
Caso 13 de julio de 1991

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

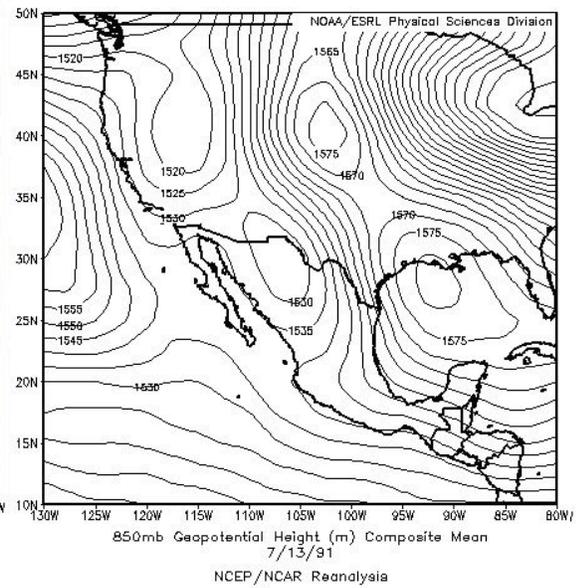
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con

dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

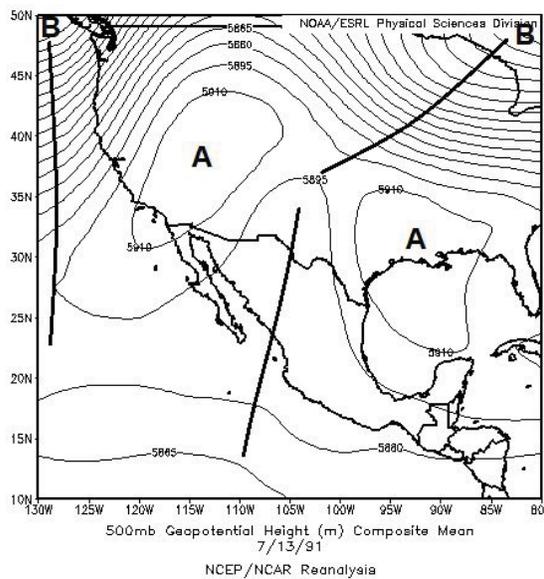




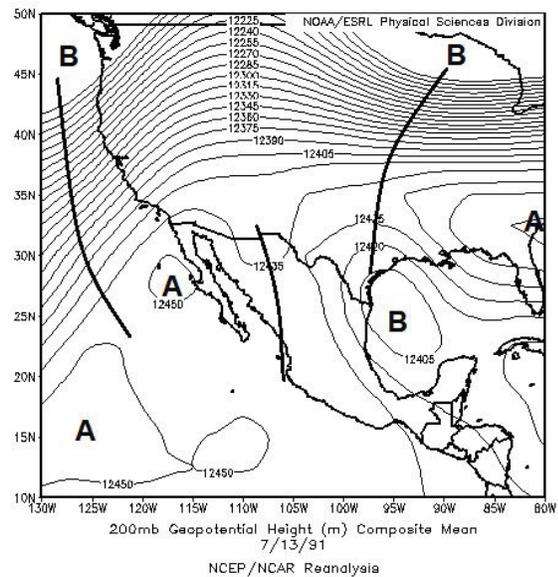
c



d



e



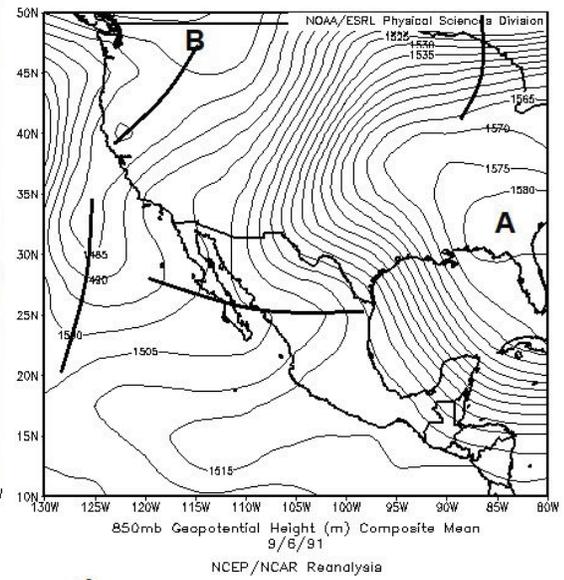
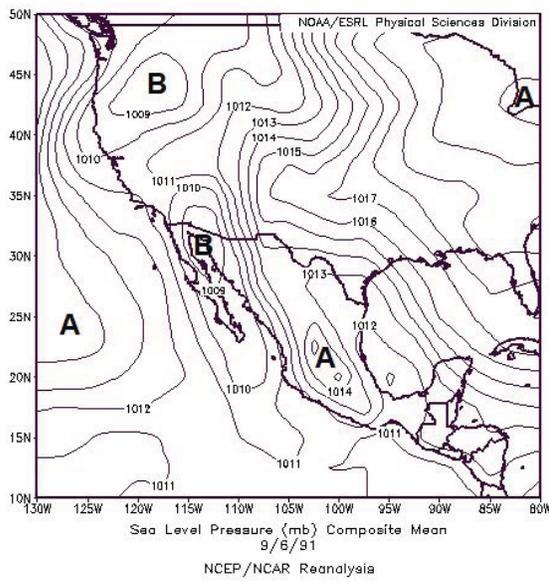
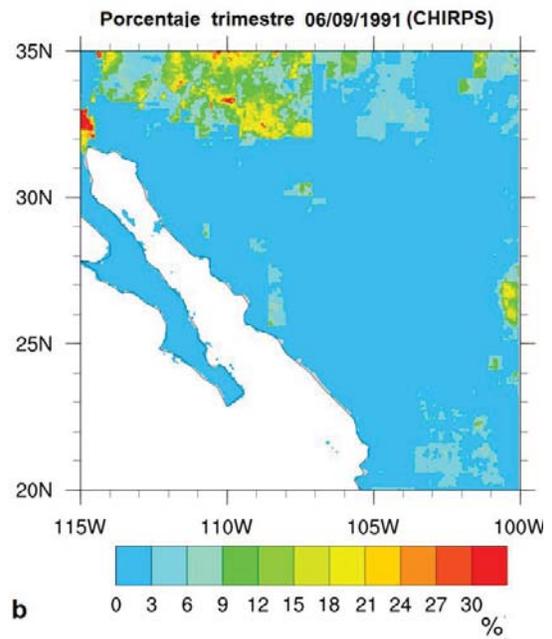
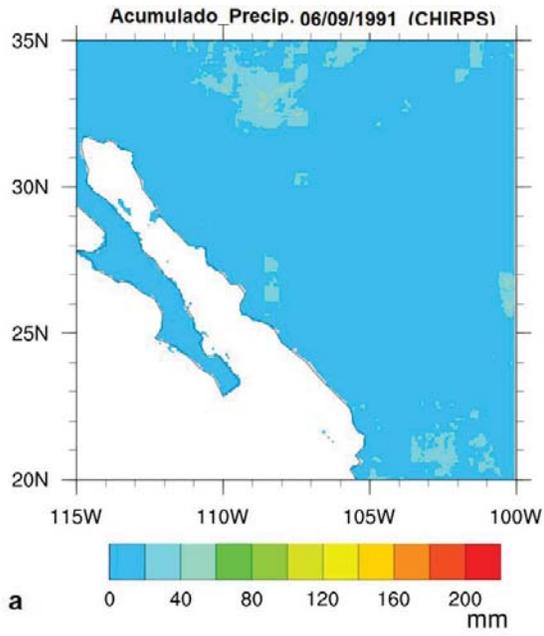
f

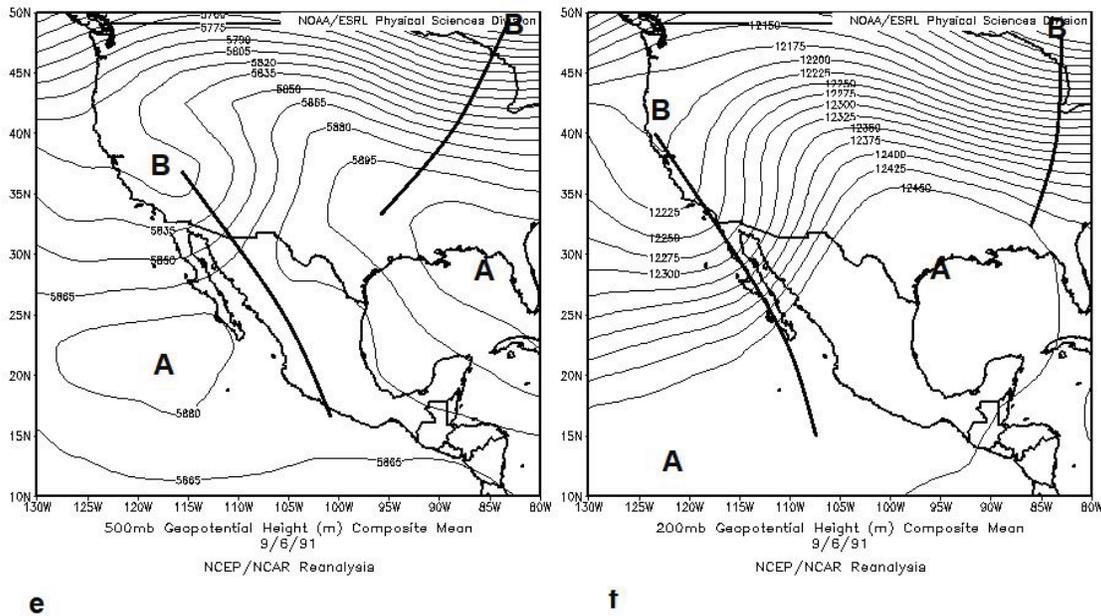
Caso 13 de julio de 1991. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

Caso 6 de septiembre de 1991

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





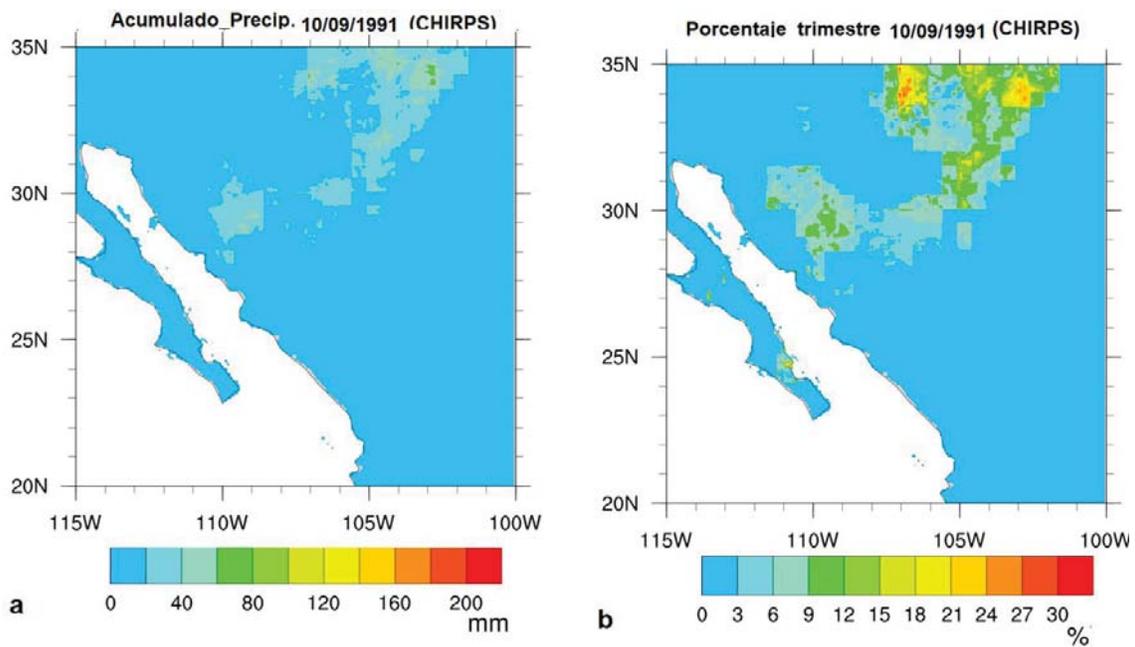
**Caso 6 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

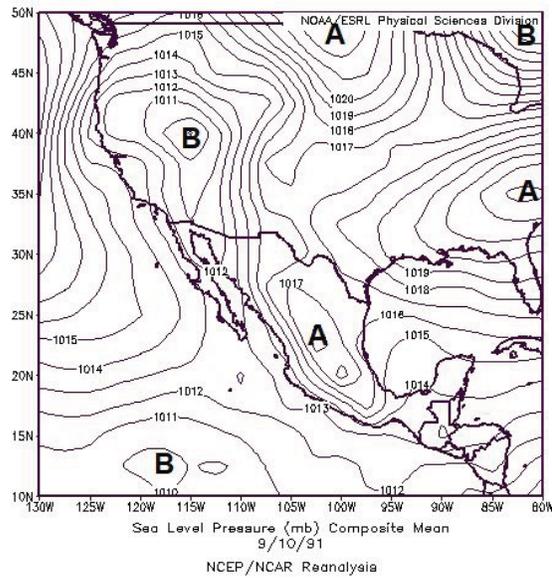
Caso 10 de septiembre de 1991

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

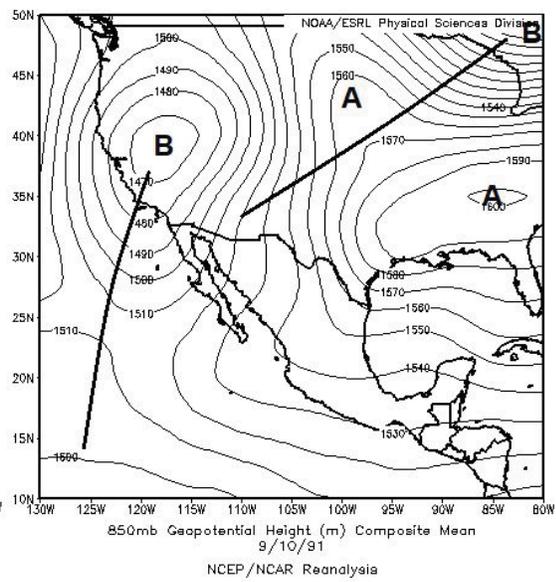
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

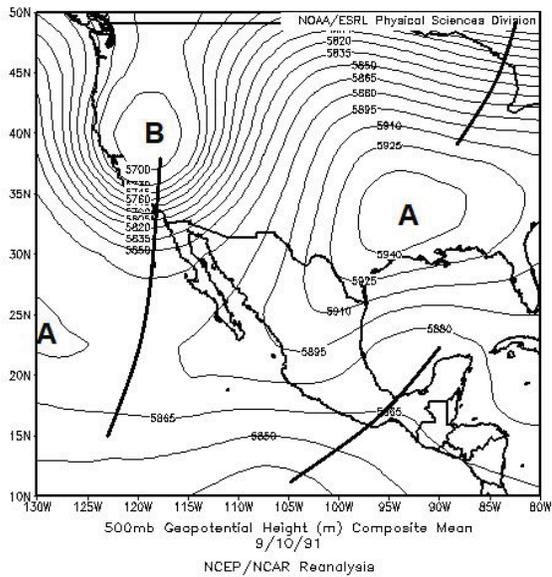




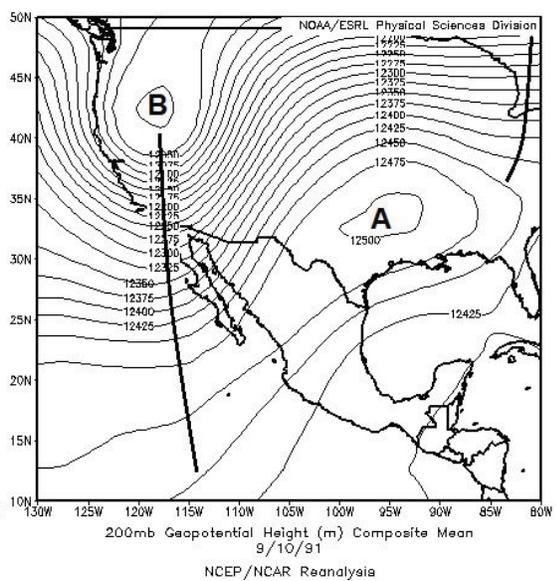
c



d



e



f

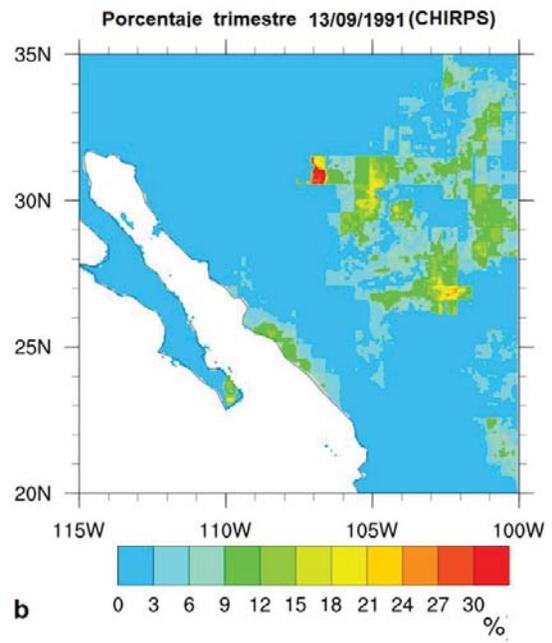
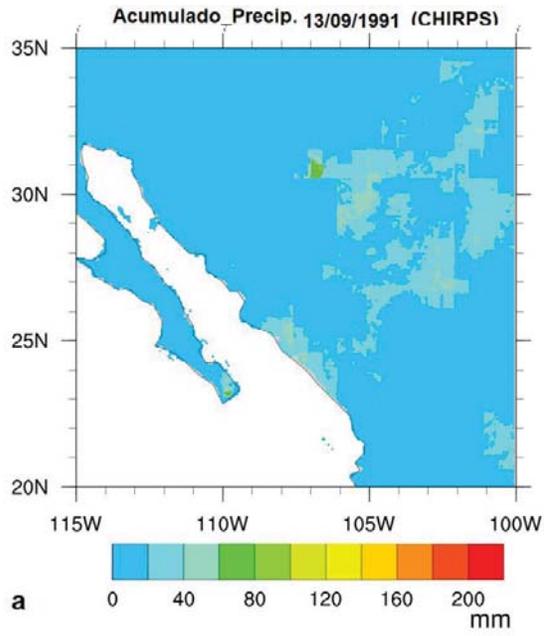
Caso 10 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

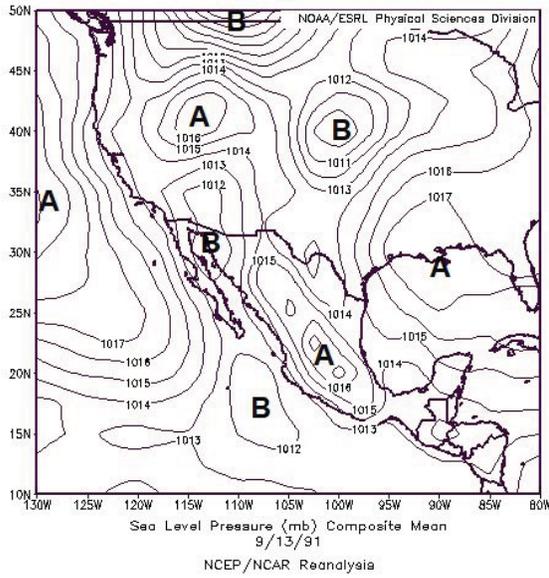
Caso 13 de septiembre de 1991

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

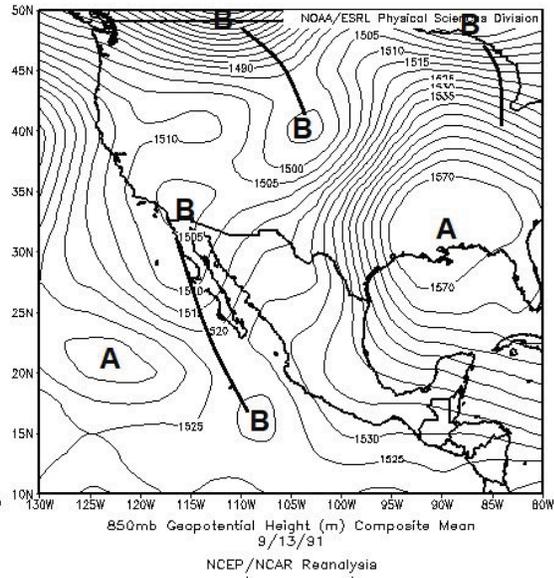
porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

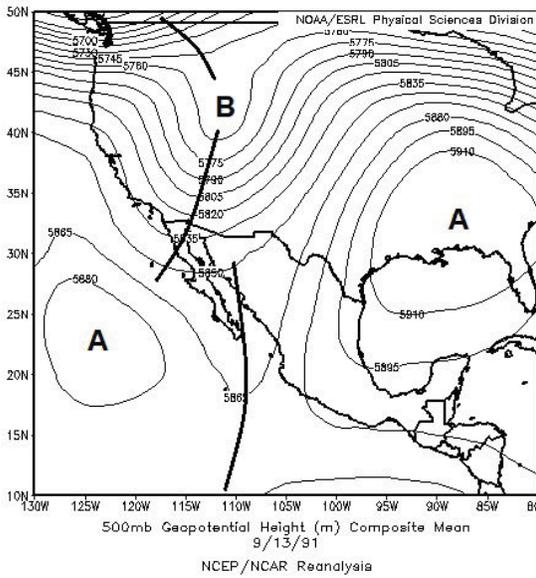




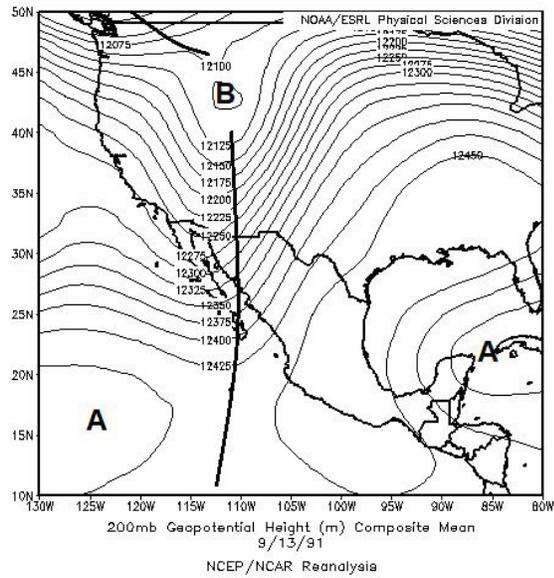
c



d



e



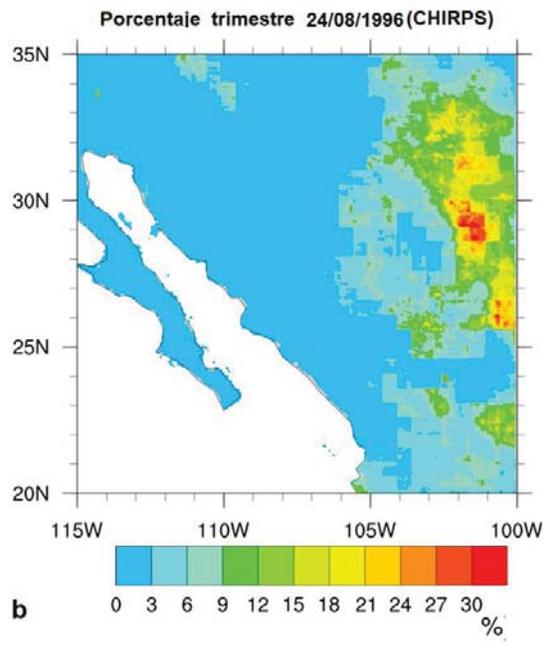
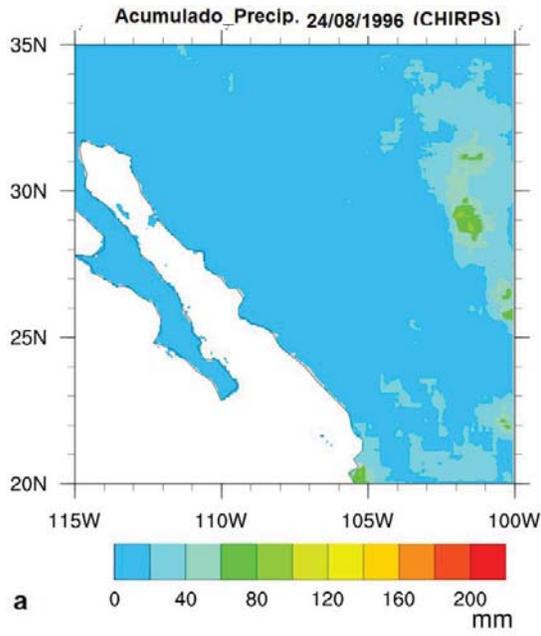
f

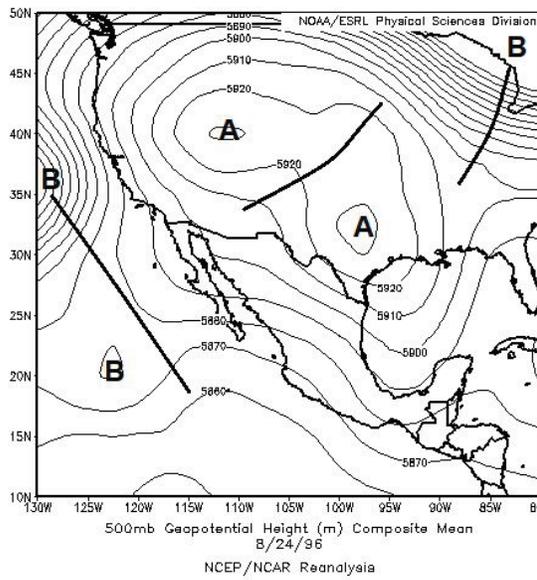
Caso 13 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 24 de agosto de 1996

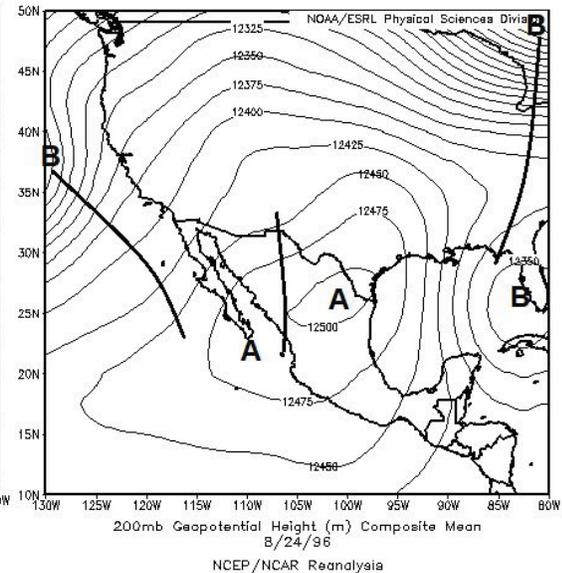
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

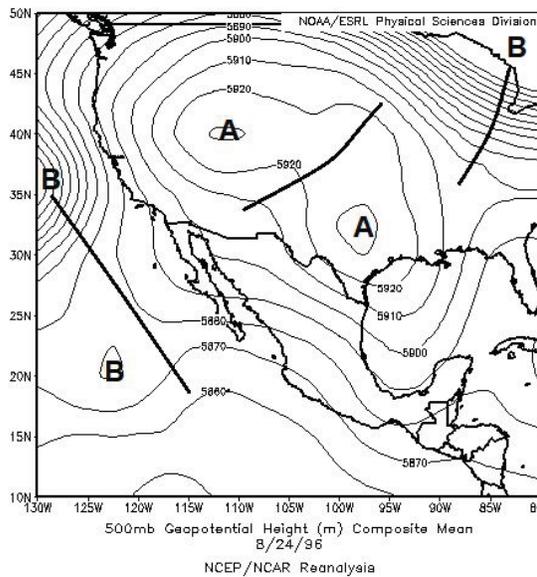




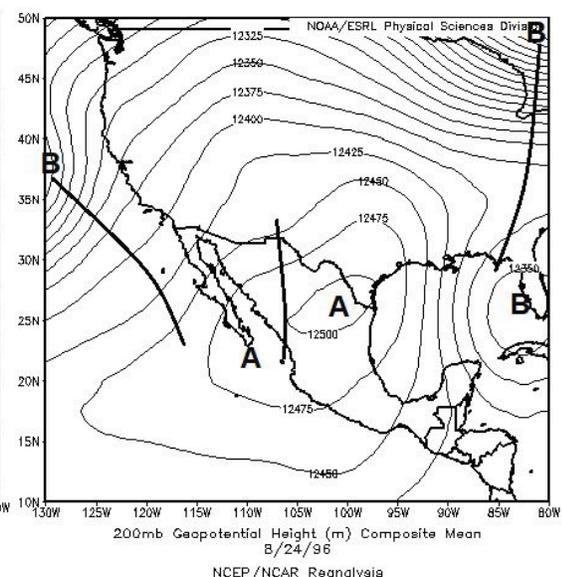
e



f



e



f

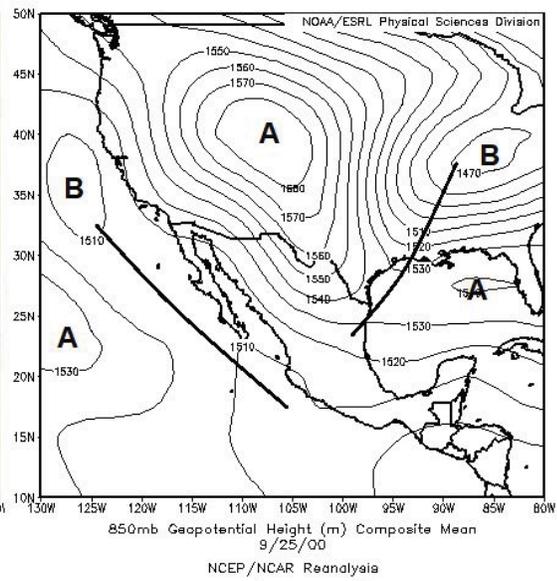
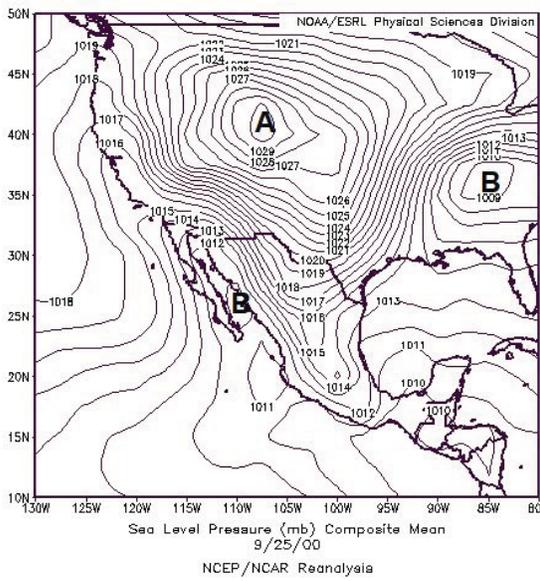
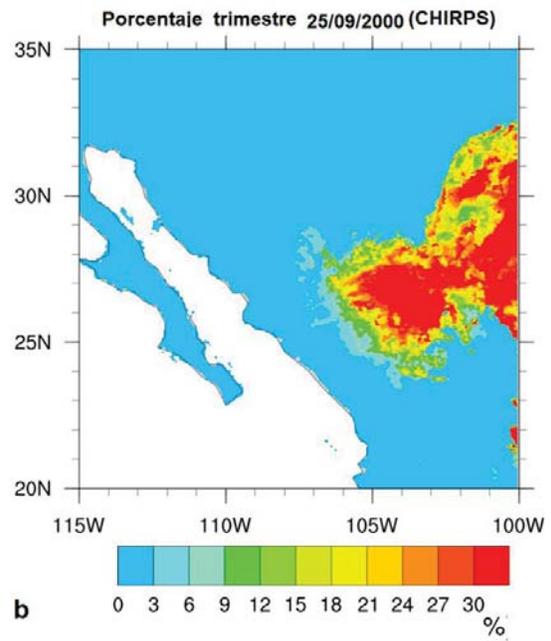
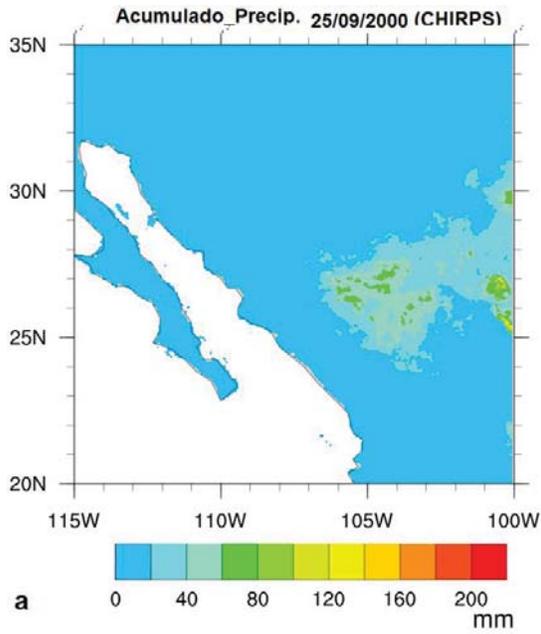
Caso 24 de agosto de 1996. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

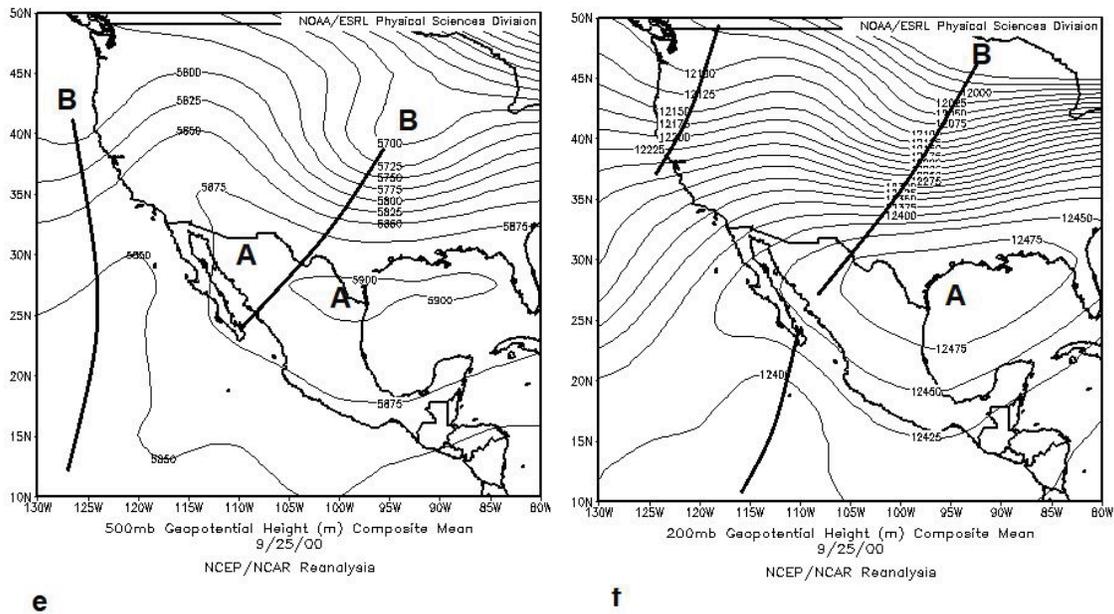
Caso 25 de septiembre de 2000

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la

porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





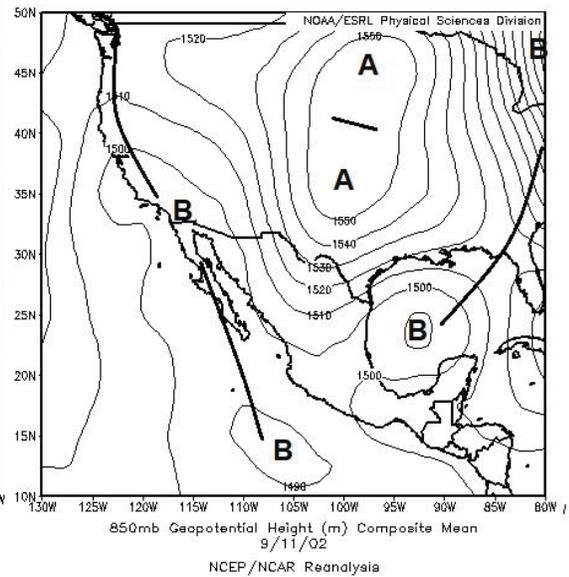
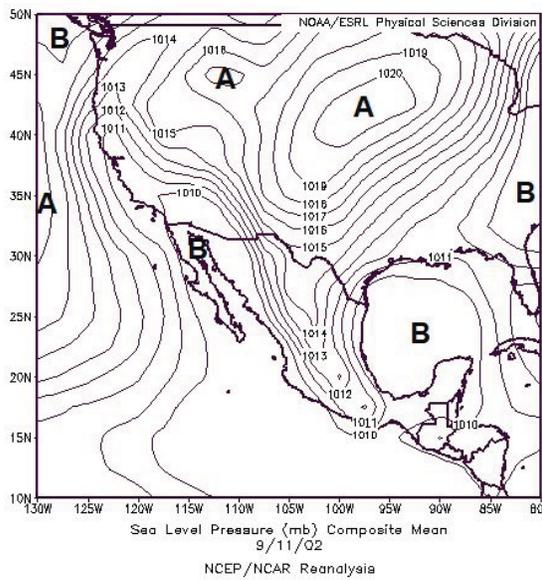
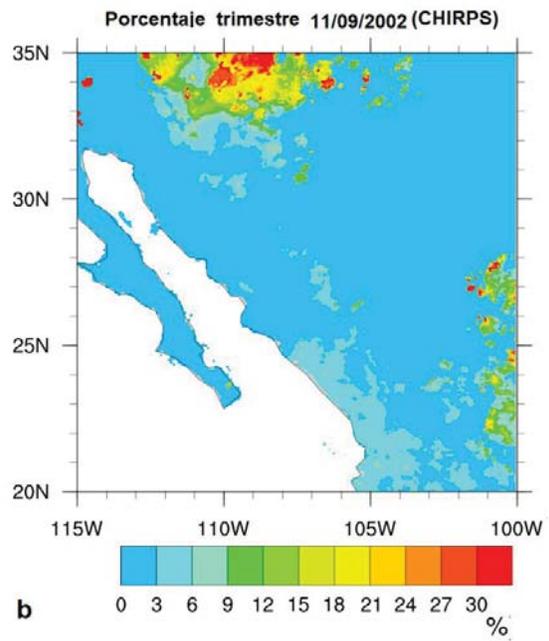
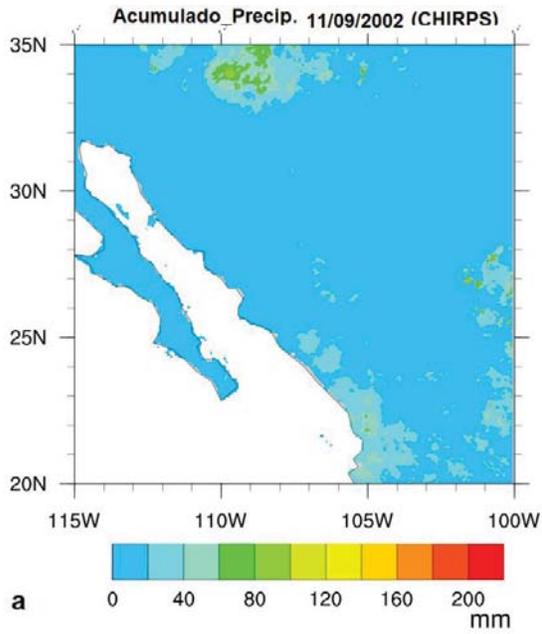
**Caso 25 de septiembre de 2000. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

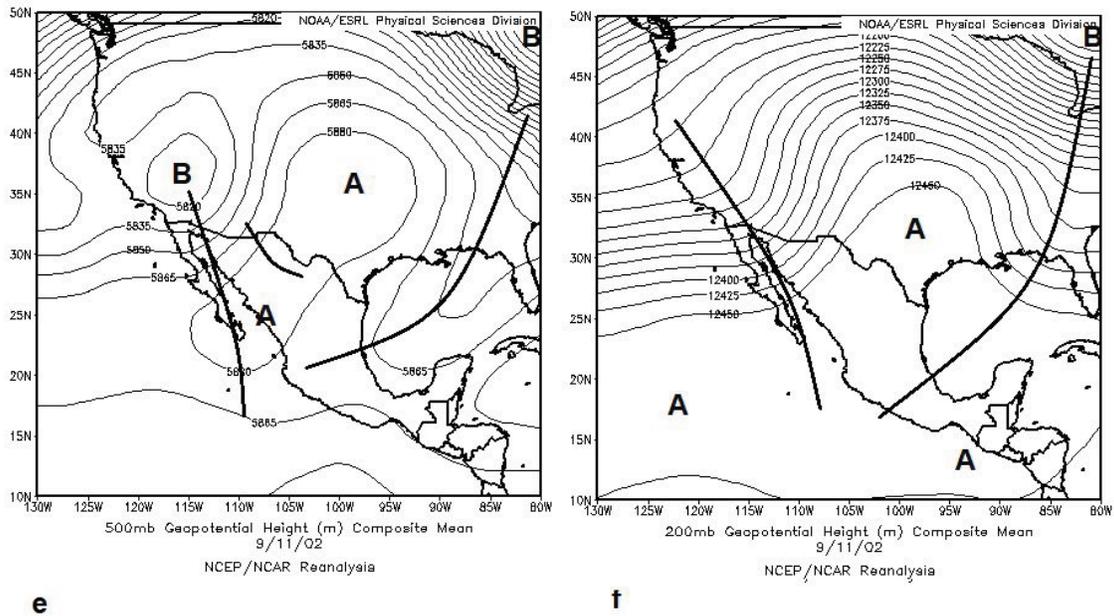
**Caso 11 de septiembre de 2002**

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con

dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





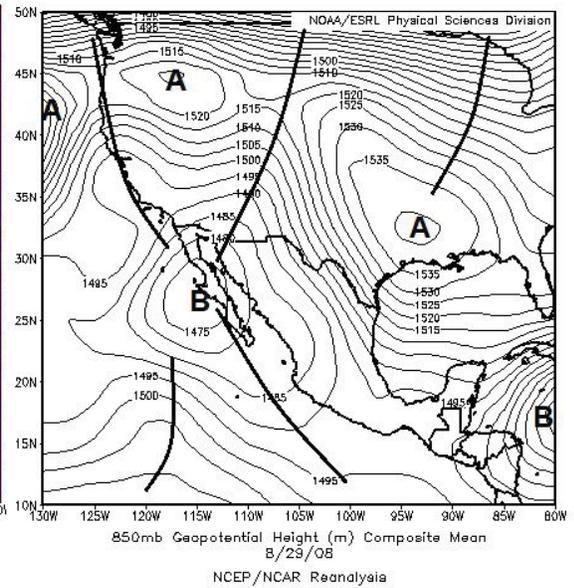
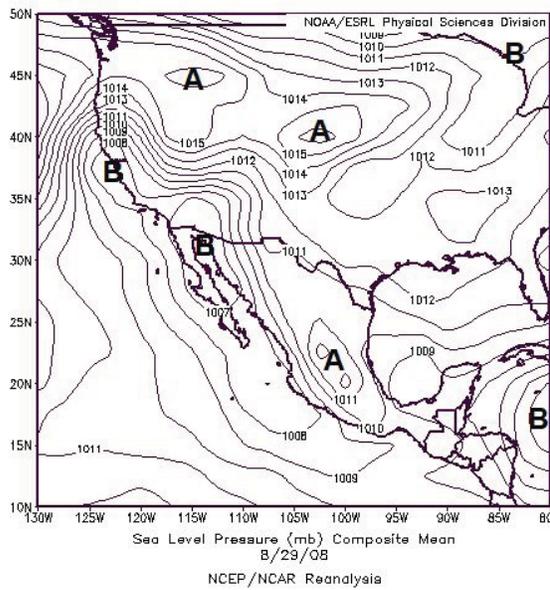
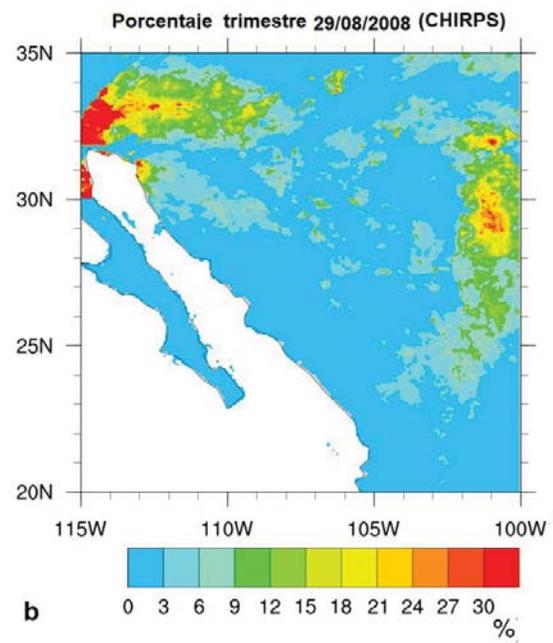
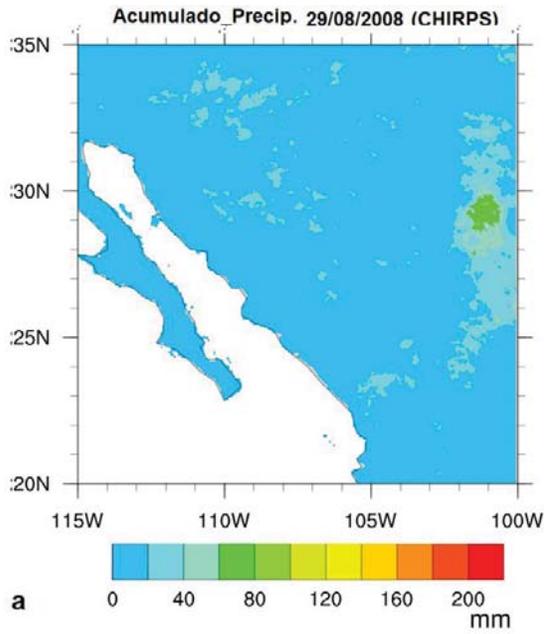
Caso 11 de septiembre de 2002. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.

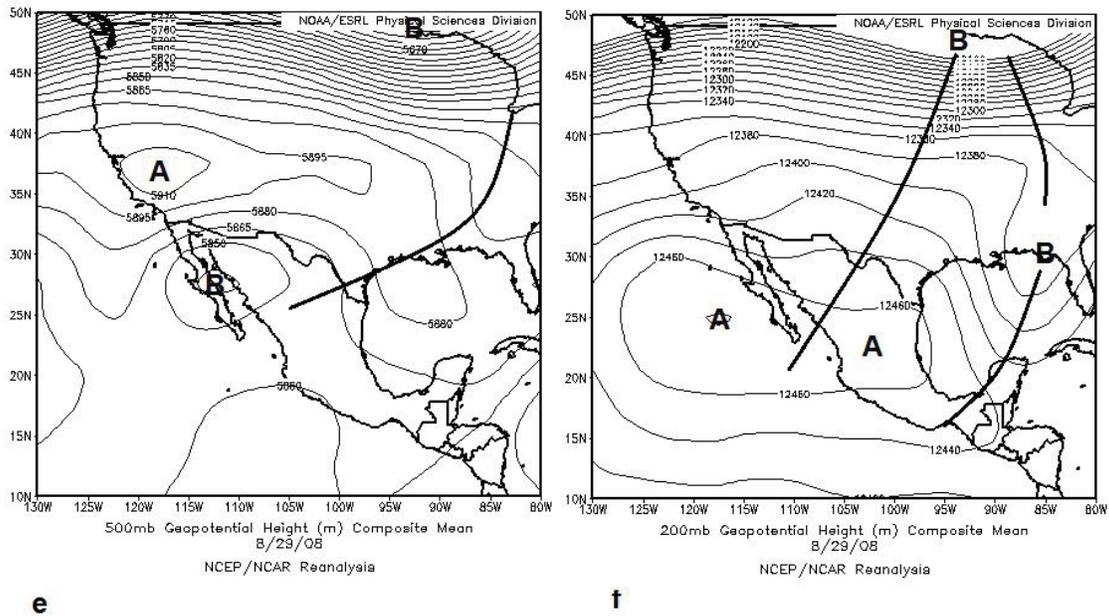
Caso 29 de agosto de 2008

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En

el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.





**Caso 29 de agosto de 2008. a) Acumulado de precipitación, b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre, c) Mapa de presión en superficie, d) Mapa de presión en 850 hPa, e) Mapa de presión en 500 hPa, f) Mapa de presión en 200 hPa.**

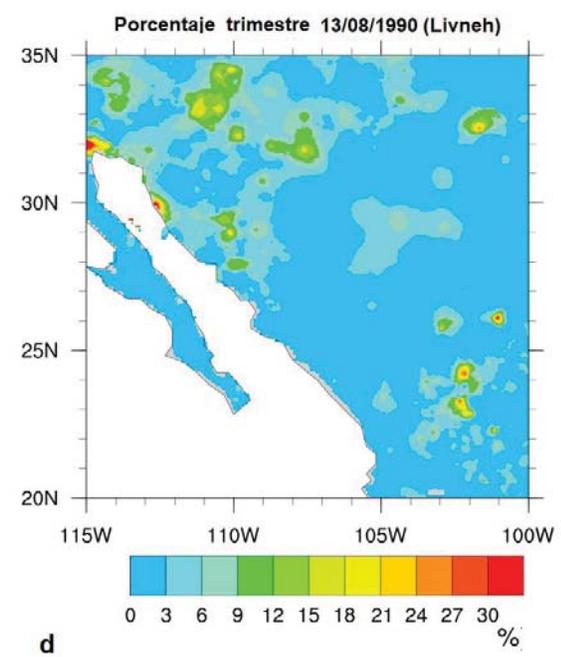
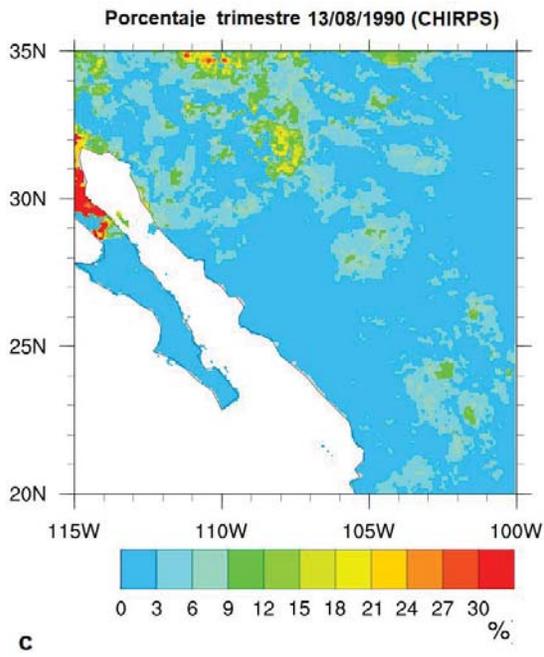
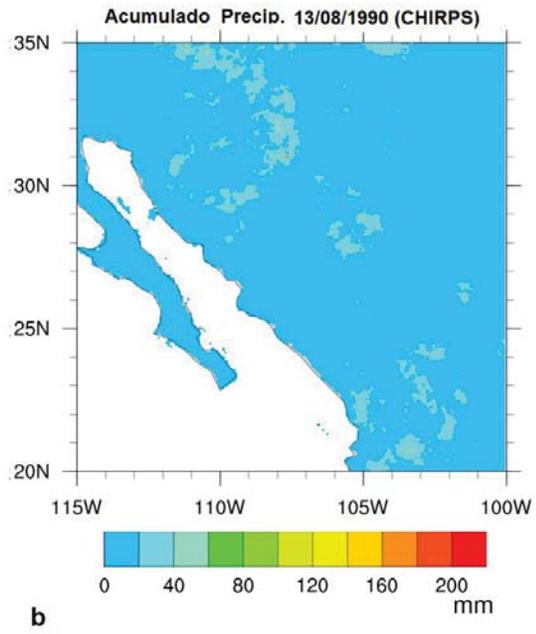
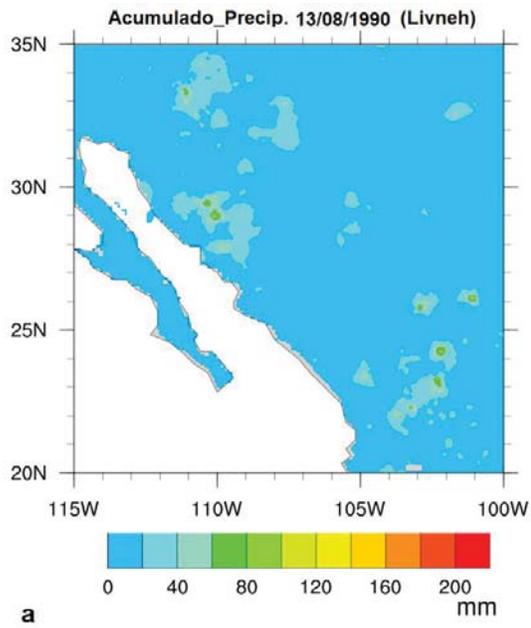
### **Casos observados en ambas bases de datos**

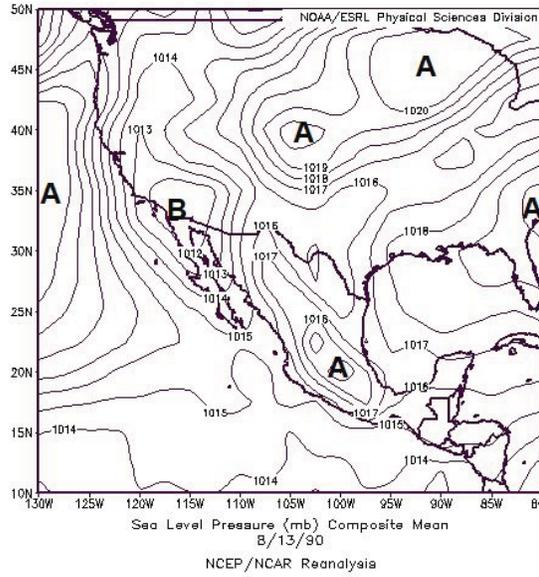
Caso 13 de agosto de 1990

La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

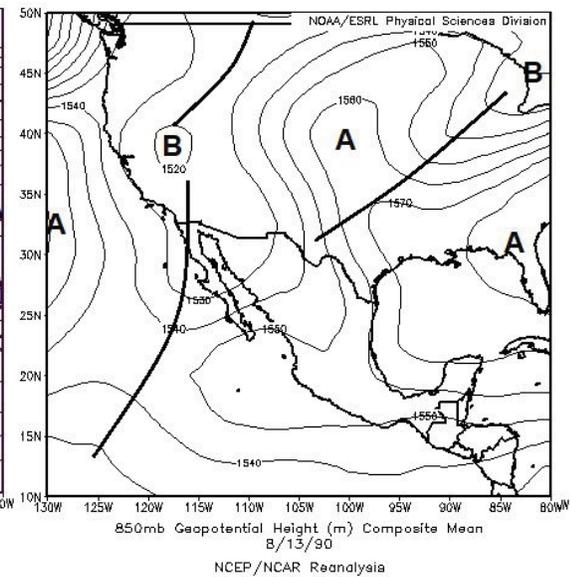
A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está

centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

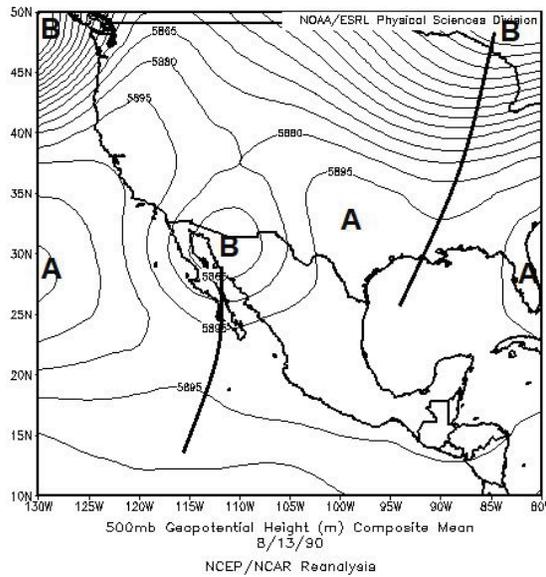




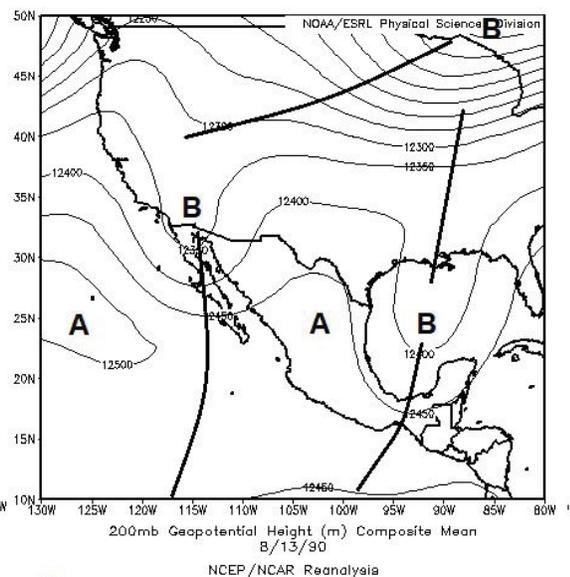
e



f



g



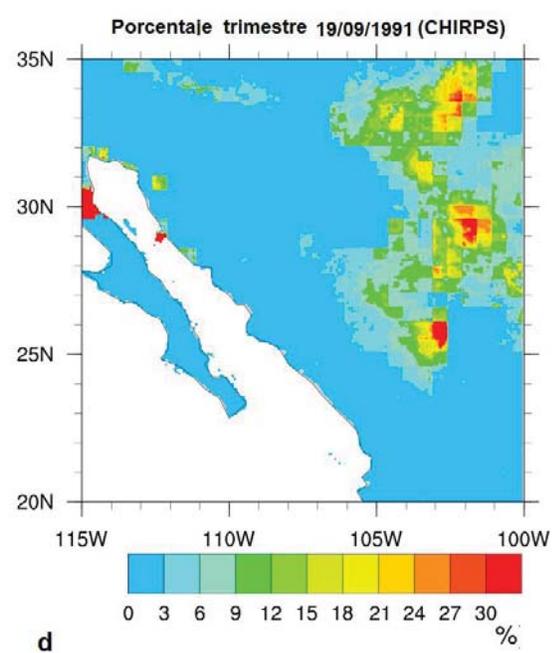
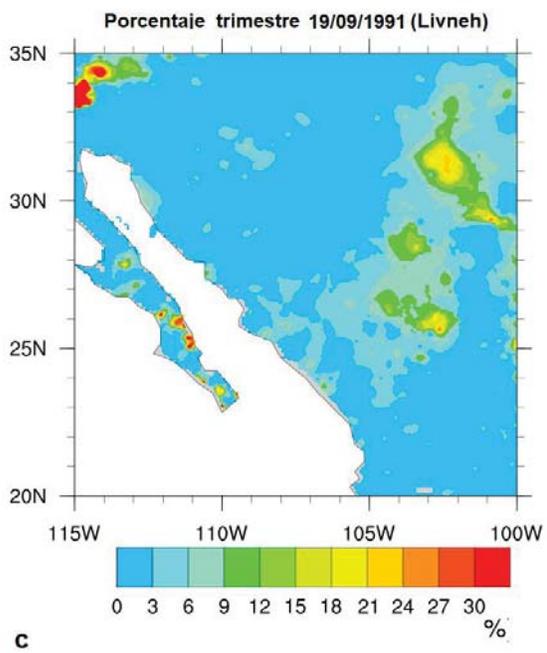
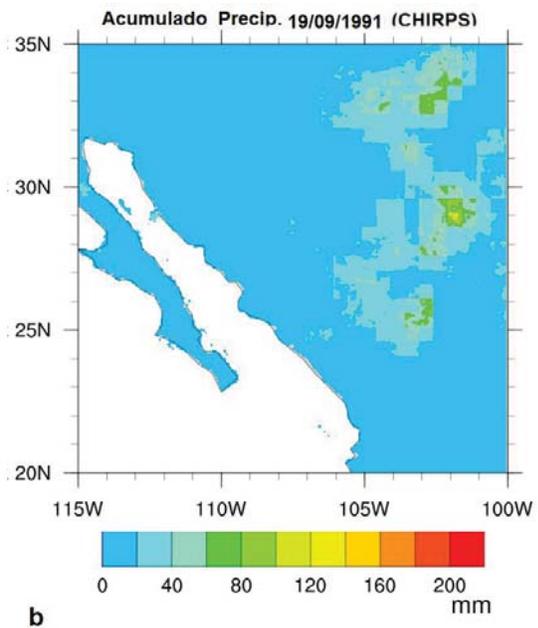
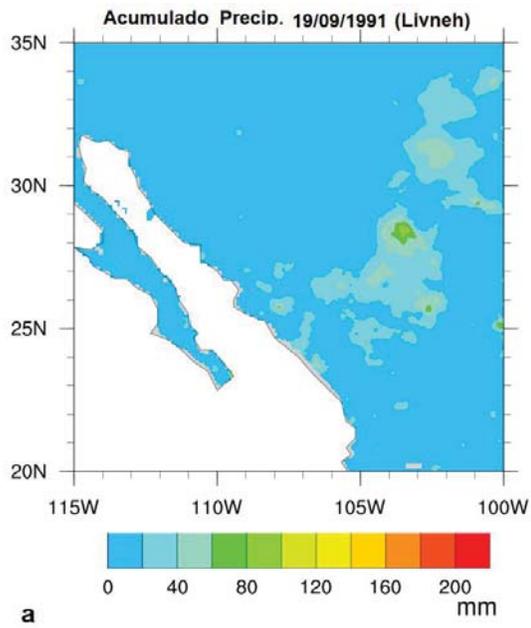
h

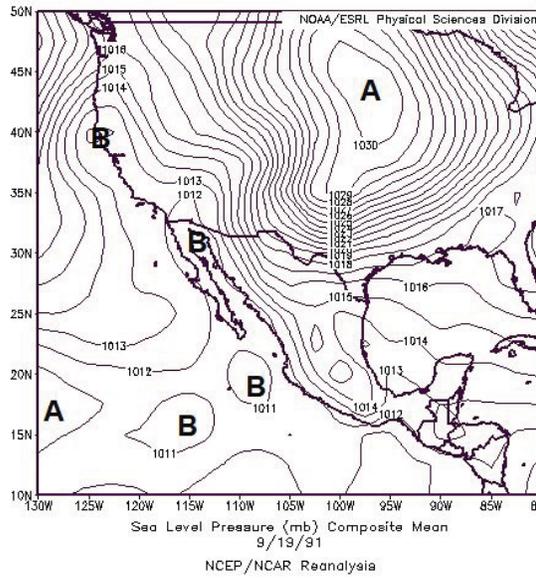
Caso 13 de agosto de 1990. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 19 de septiembre de 1991

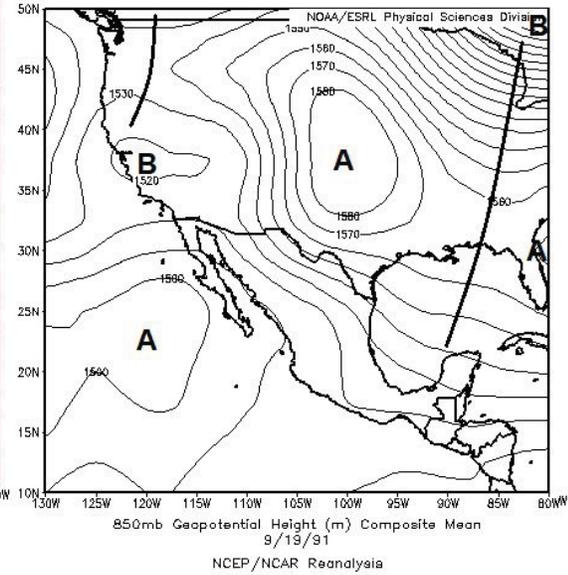
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

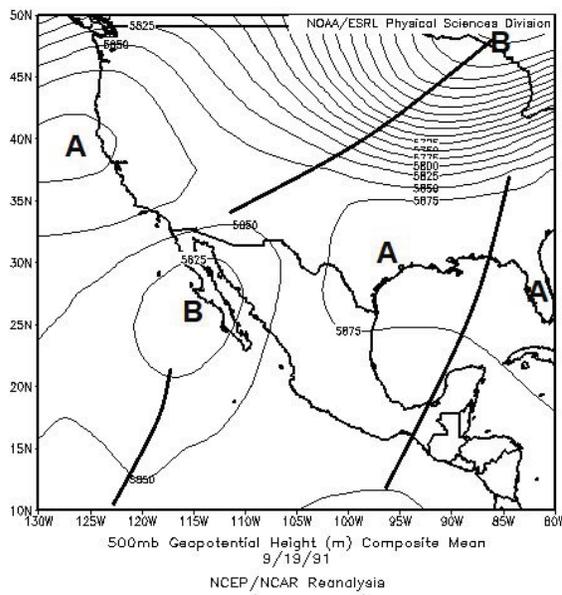




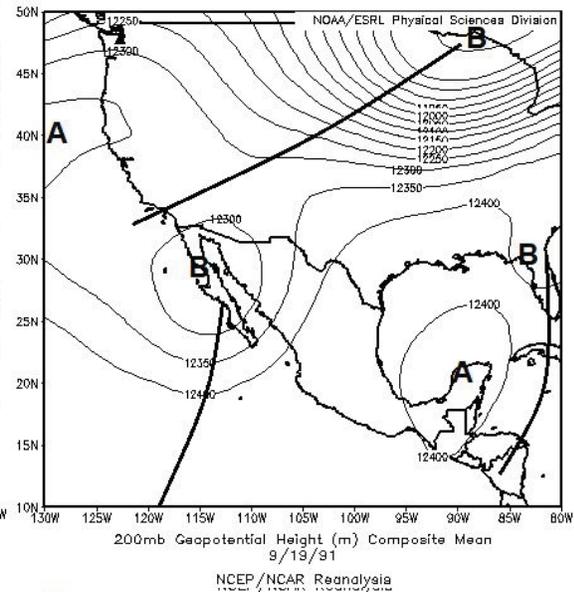
e



f



g



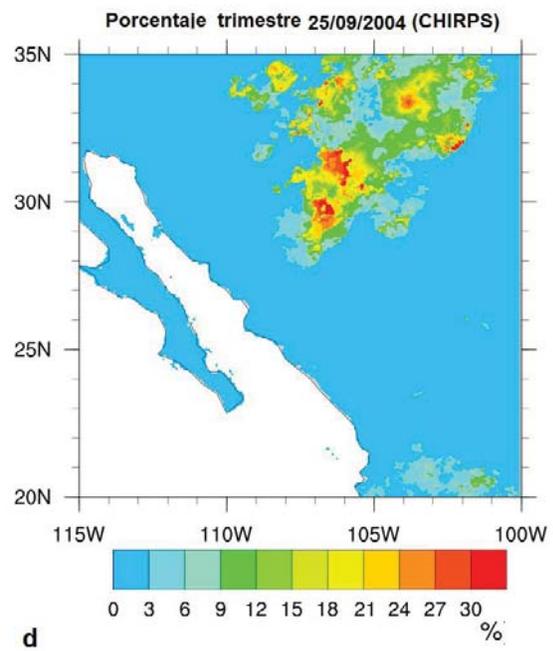
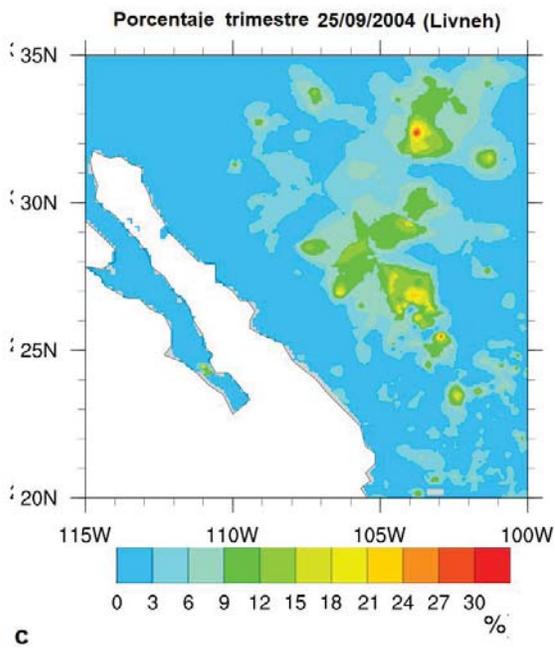
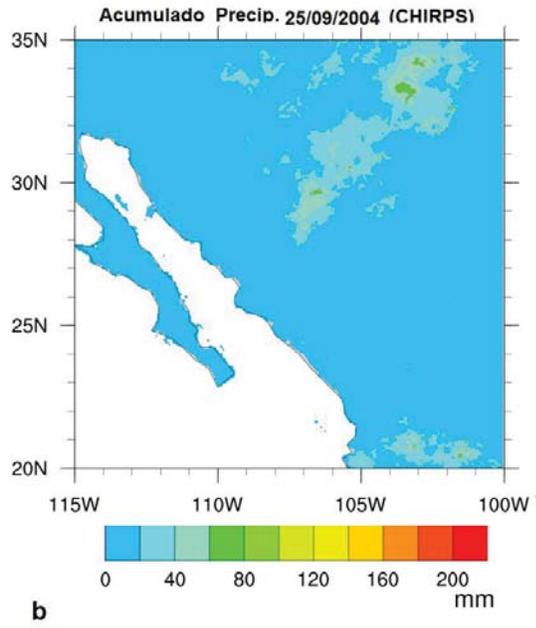
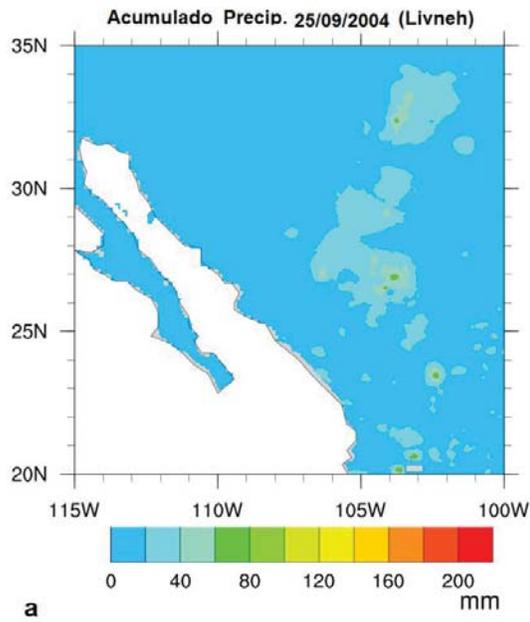
h

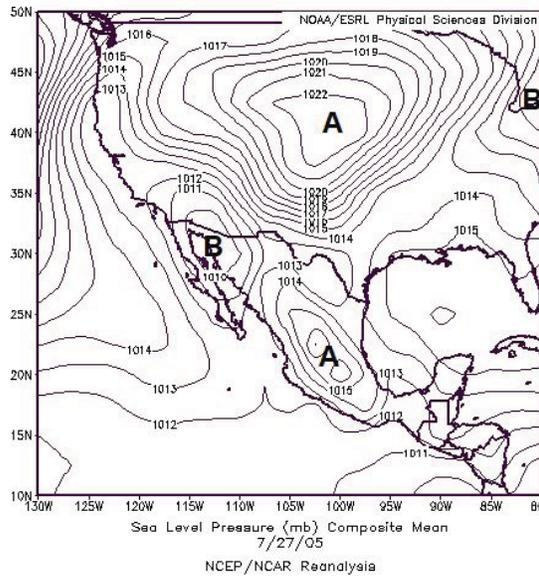
Caso 19 de septiembre de 1991. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

Caso 25 de septiembre de 2004

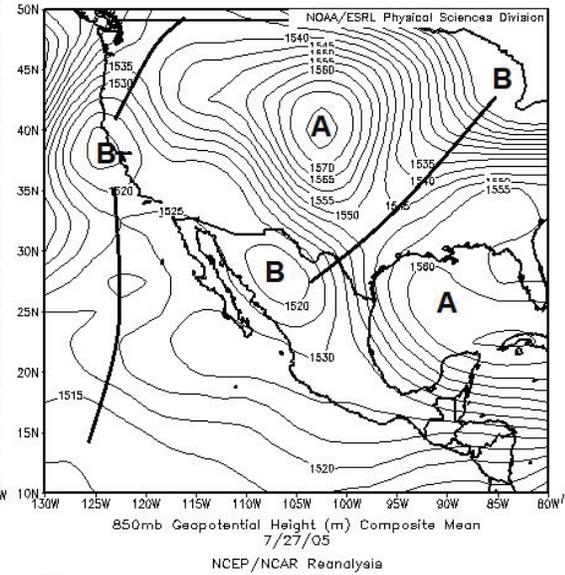
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

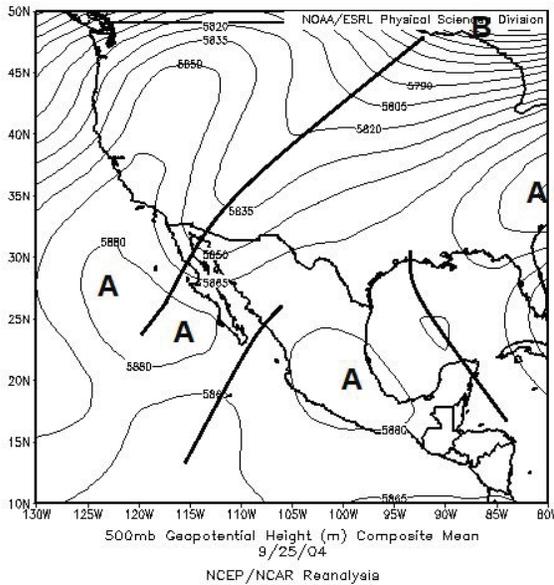




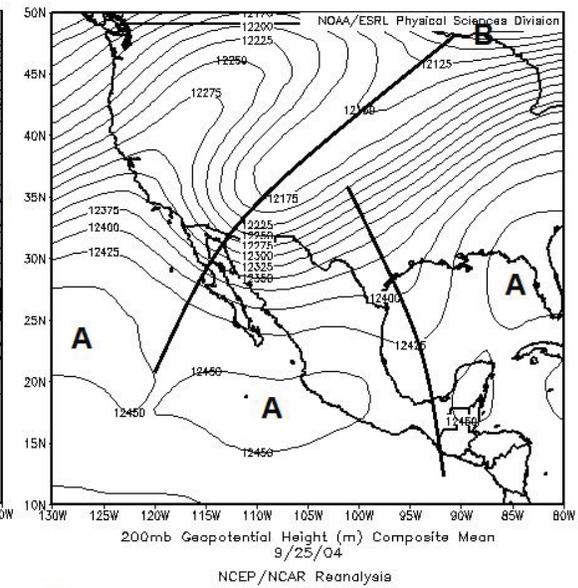
e



f



g



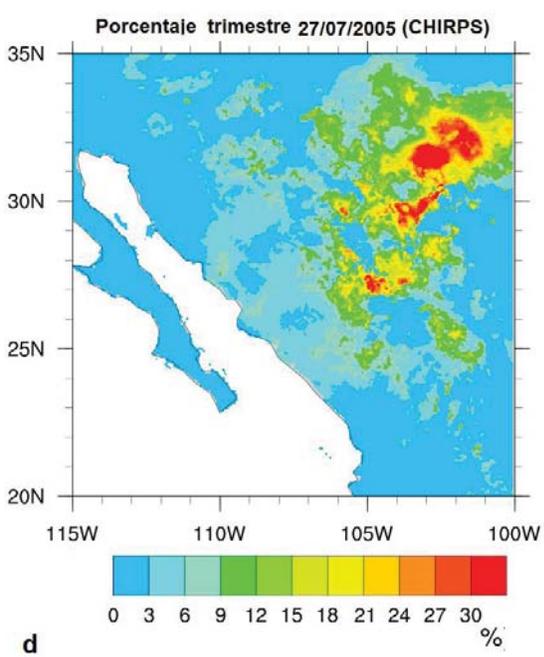
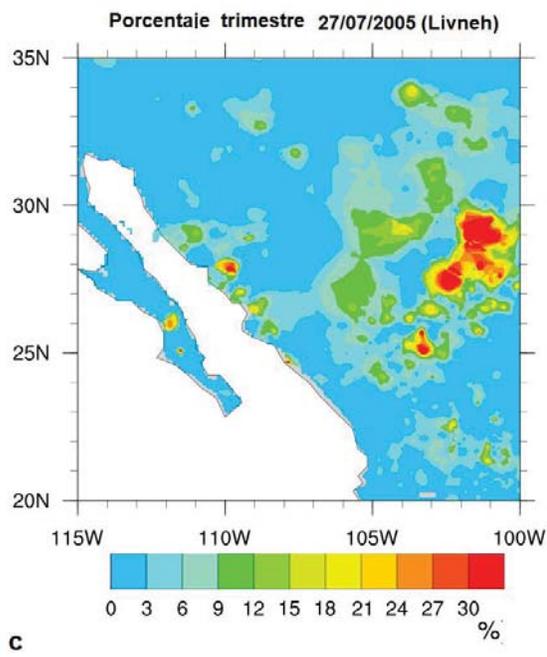
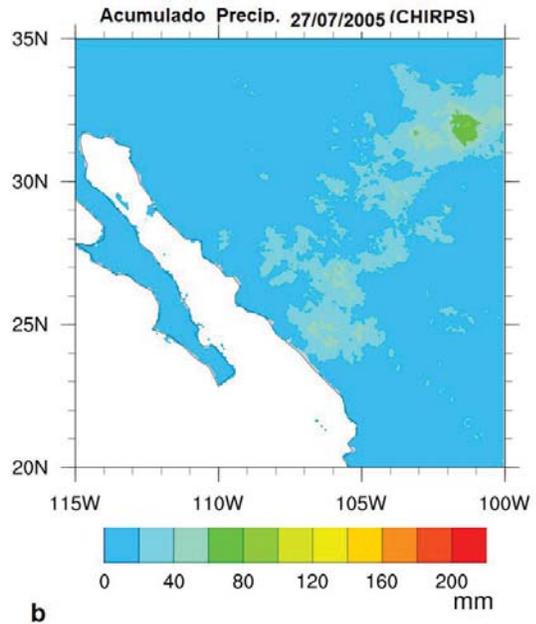
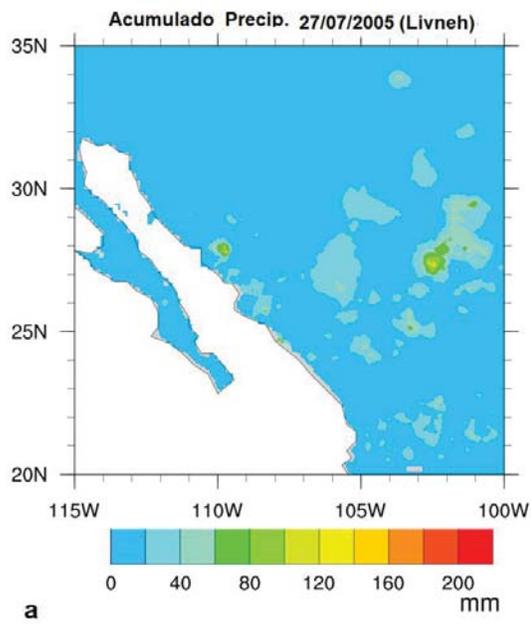
h

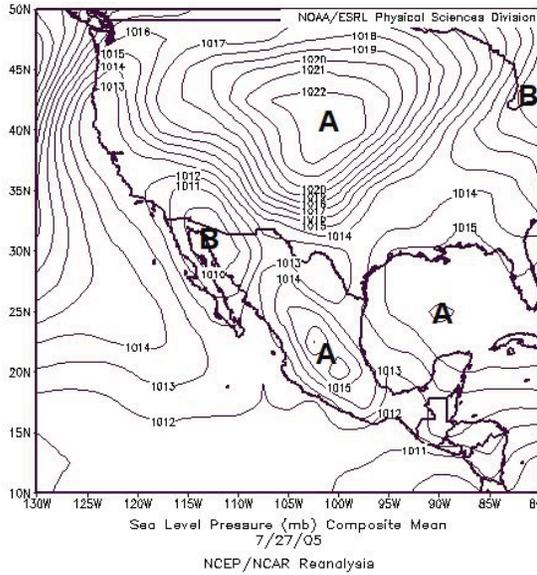
Caso 25 de septiembre de 2004. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 27 de julio de 2005

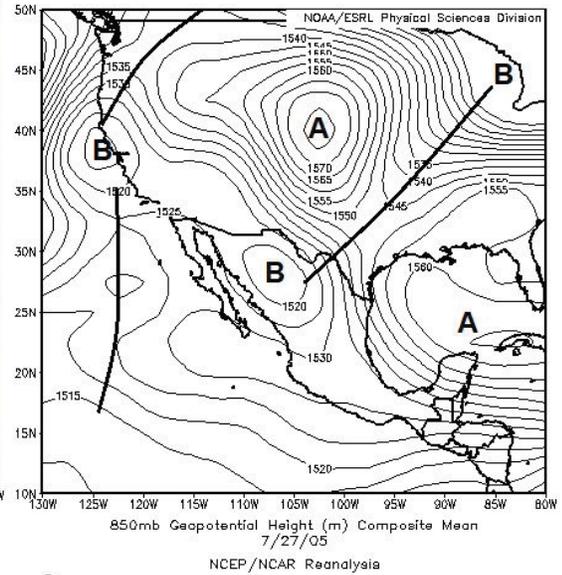
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

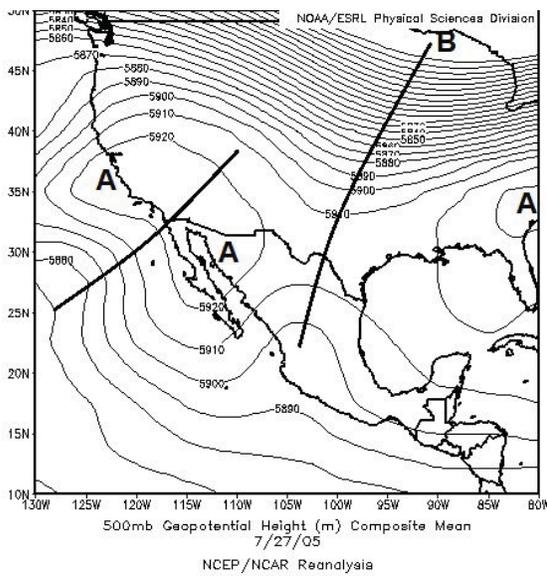




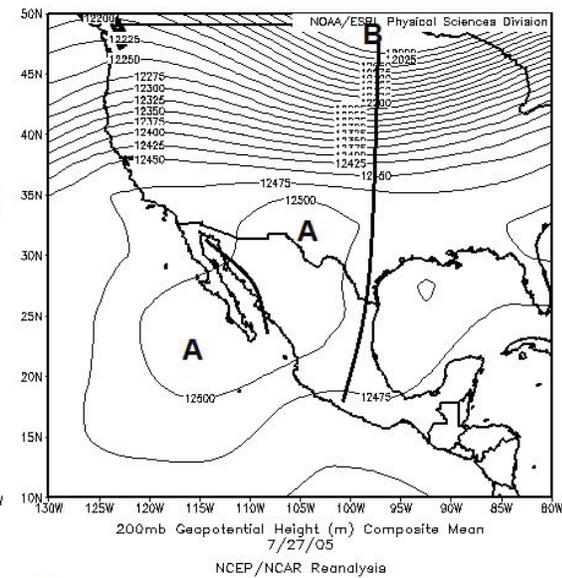
e



f



g



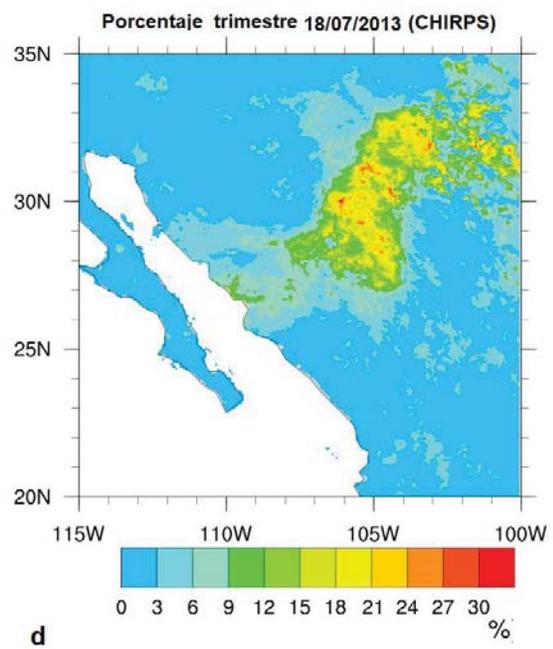
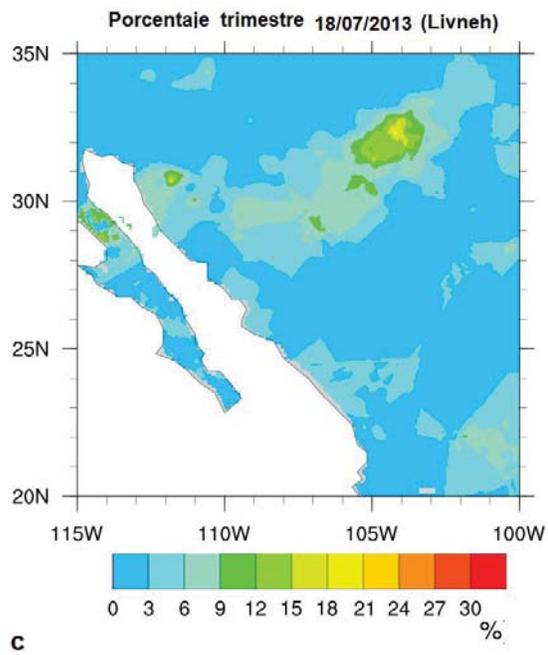
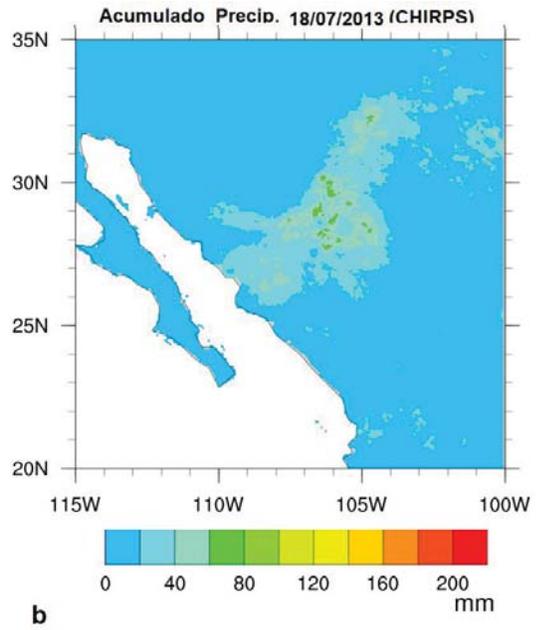
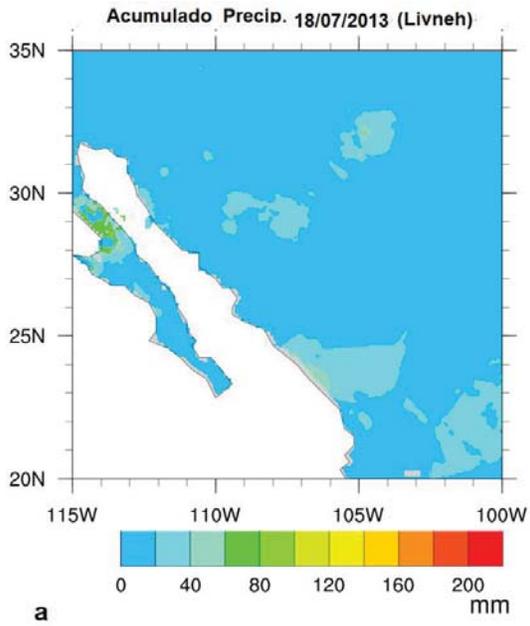
h

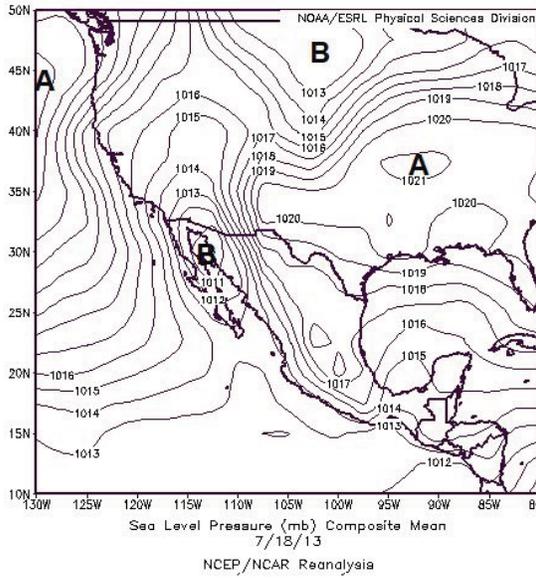
Caso 27 de julio de 2005. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.

## Caso 18 de julio de 2013

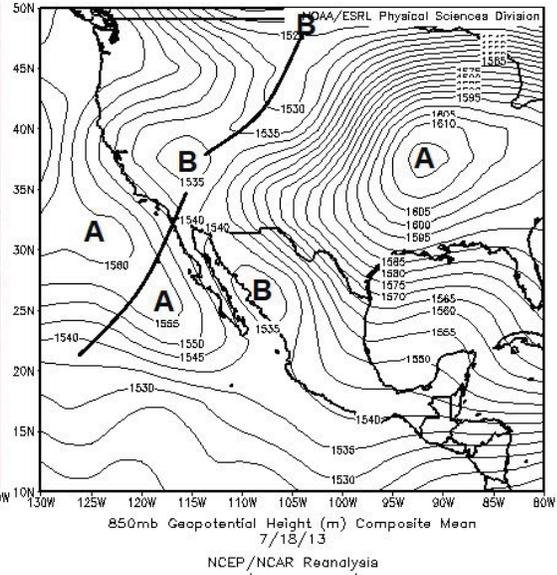
La precipitación acumulada por este evento fue superior a los 20 mm, incluso superior a los 60 mm en puntos localizados al noreste del área de estudio. Hacia la porción noroeste de la región el algoritmo detectó puntos de la malla que sobrepasaron el umbral extremo, sin embargo, en la lámina de precipitación estos acumularon un valor inferior a los 20 mm, justo en esta porción el umbral ronda los 5 mm. De manera general, este caso aportó más del 3 %, aunque se destaca que en la porción noreste y hacia el centro de la imagen el acumulado superó el 15 %; aún más notorio es hacia el noroeste donde se rebasó el 30 %.

A partir del análisis del campo de presión en superficie se observa una amplia zona de bajas presiones elongada, con eje orientado norte-sur, el centro de la baja está centrado al noroeste del área de estudio. Esta configuración aporta un flujo del sur y sureste en el área, flujo que proviene del océano Pacífico y del golfo de Cortés. En el nivel de 850 hPa persiste el aporte del flujo proveniente del océano pero con dirección suroeste. Para este nivel se observa un centro de bajo valor de geopotencial, el cual constituye la representación del centro de bajas presiones de superficie. Este centro de bajo valor de geopotencial está desplazado más hacia la porción del suroeste de EE.UU respecto a superficie. Para la superficie de 500 hPa persiste el centro de bajo valor de geopotencial en el suroeste de EE.UU del cual parte una vaguada con eje orientado noreste-suroeste; la configuración mantiene un flujo del suroeste como sucedió en 850 hPa. En el nivel de 200 hPa la vaguada muestra una mejor estructura respecto a 500 hPa, su eje muestra una orientación con componente norte-sur, dicho eje se extiende al oeste del área de estudio. En los niveles analizados se observó un flujo de origen oceánico, además del acople en la vertical tanto del centro de bajas presiones como de la vaguada.

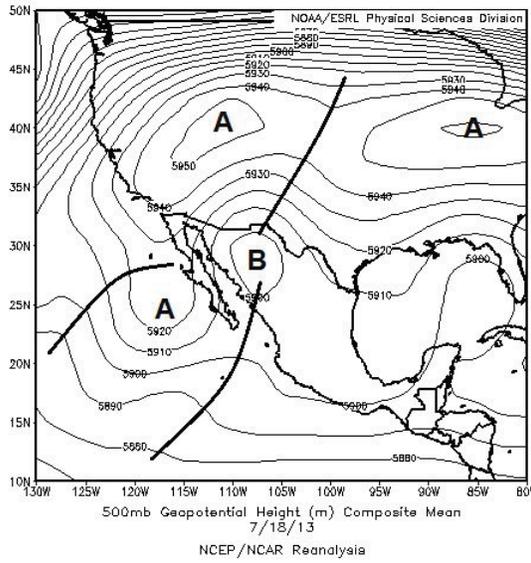




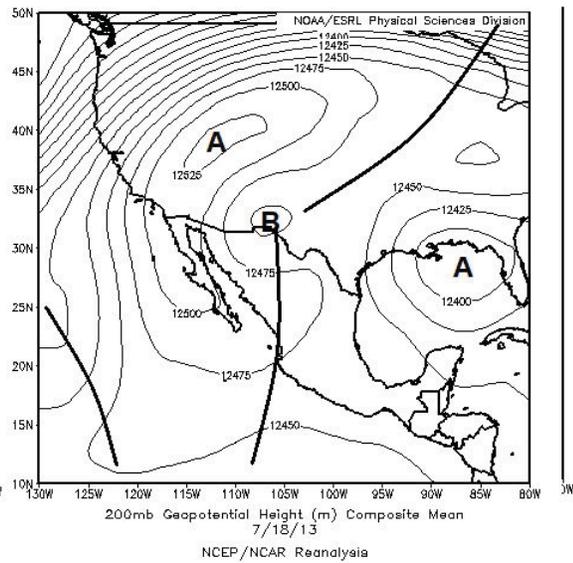
e



f



e



f

Caso 18 de julio de 2013. a) Acumulado de precipitación (Livneh), b) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (Livneh), c) Acumulado de precipitación (CHIRPS), d) Porcentaje respecto a la lámina del trimestre (CHIRPS), e) Mapa de presión en superficie, f) Mapa de presión en 850 hPa, g) Mapa de presión en 500 hPa, h) Mapa de presión en 200 hPa.