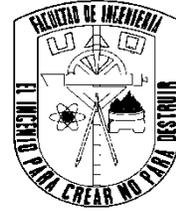




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGÉNEAS**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**MARTÍN RODRÍGUEZ BOCANEGRA.**

DIRIGIDO POR

**DR. ALFONSO GUTIÉRREZ LÓPEZ**

**SINODALES:**

DR. ALFONSO GUTIÉRREZ LÓPEZ.  
DIRECTOR.

\_\_\_\_\_  
FIRMA.

DR. EDUARDO ÁLVAREZ MENDIOLA.  
SECRETARIO.

\_\_\_\_\_  
FIRMA.

M.I. PABLO TALAMANTES CONTRERAS.  
VOCAL.

\_\_\_\_\_  
FIRMA.

M.C. FELIPE ORTÍZ ARREDONDO.  
SUPLENTE.

\_\_\_\_\_  
FIRMA.

M.C. ALFREDO JIMÉNEZ TRIGOS.  
SUPLENTE.

\_\_\_\_\_  
FIRMA.

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. MARZO 2013.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecerle a mis padres: Martín Rodríguez y Carmen Bocanegra, por brindarme la posibilidad de recibir la mejor educación posible y por ser el ejemplo más grande de mi vida, respeto, honestidad y cariño. Ellos me guiaron siempre para mantenerme firme en mis propósitos e ideales y me han dado fuerza para vencer todos esos obstáculos, también quiero agradecer a mis hermanos: Luis Ángel y Carmen Paola, porque aunque no estuvimos juntos a lo largo de mi carrera, siempre fueron un aliciente más para seguir adelante, gracias por ser mis amigos, cómplices y hermanos.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Alfonso Gutiérrez López, por sus conocimientos, orientación y amistad, que fueron fundamentales para lograr este cometido, también quiero agradecer al programa PROMEP SEP por la beca otorgada durante mi trabajo de tesis, a mis sinodales M.C. Pablo Talamantes, Ing. Alfredo Jiménez, M.C. Felipe Ortiz, Dr. Eduardo Álvarez M. agradeciéndoles sus valiosos comentarios y recomendaciones en mi trabajo de tesis. A todos mis profesores ya que contribuyeron en enseñarme sus conocimientos para ser una persona mejor preparada.

A mis compañeros de la licenciatura en Ingeniería civil, con los cuales compartí 5 años de sacrificios y esfuerzos en el transcurso de la carrera, los más gratos recuerdos y las experiencias más divertidas.

Finalmente quiero agradecer a mis grandes amigos de la vida, por apoyarme y ayudarme en todos los momentos importantes, tanto en los felices como en los tristes, sin duda ustedes también formaron parte de éste logro.

¡Gracias a todos!

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### INDICE:

1.	Introducción	2
2.	Motivación	3
3.	Objetivos	3
4.	Estado del arte	4
5.	Recolección de datos climatológicos	9
	5.1 Descripción de las Estaciones Meteorológicas automáticas.	9
	5.2 Recopilación de datos geográficos y climatológicos.	9
6.	Identificación de regiones hidrológicamente homogéneas	12
	6.1 Técnicas de regionalización.	12
	6.2 Combinación de variables hidroclimatológicas para el análisis de regionalización.	14
	6.3 Uso del software para el análisis de regionalización.	14
	6.4 Presentación de resultados, dendogramas y mapas para cada caso de regionalización.	15
7.	Regionalización óptima	46
	7.1 Selección de regionalización optima.	46
	7.2 Descripción de las regiones hidrológicamente homogéneas.	49
8.	Selección de estaciones representativas	49
9.	Trayectorias históricas de huracanes	51
	9.1 Selección de huracanes.	51
	9.2 Trayectoria de huracanes que afectan las regiones homogéneas.	53
10.	Análisis de los campos de lluvia	59
	10.1 Análisis de precipitación en eventos de huracanes.	59
	10.2 Representación grafica de la distribución de precipitaciones por día para cada subregión homogénea (curvas S).	64
	10.3 Determinación de curvas representativas para regiones hidrológicamente homogéneas	70
	10.4 Ficha técnica para cada región homogénea.	76
11.	Comparación de resultados	87
12.	Conclusiones	93
13.	Bibliografía	95

# **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

## **1. INTRODUCCION.**

Nuestro país, es sin duda uno de los más afectados en América Latina por los fenómenos de huracanes, siendo este uno de los desastres naturales que dejan pérdidas económicas millonarias cada año, al ocasionar inundaciones, daño en la infraestructura de las regiones afectadas, y lo más importante, pérdidas humanas cuando se presentan estos fenómenos de fuerte intensidad. Basta poner el ejemplo de la temporada de 1997 que fue muy activa, cuatro ciclones impactaron en forma consecutiva sobre las costas del Océano Pacífico, Nora, Olaf, Andrés, Pauline, Rick y Madeline (1998).

Por otro lado, Para determinar sus características, la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) tiene una red de estaciones meteorológicas automáticas a lo largo de todo el territorio nacional, las cuales transmiten información de precipitación media cada 10 minutos, además de otra variedad de datos climatológicos, esta información es pública y se encuentra en internet; sin embargo, hasta la fecha no se aprovecha para proyectos de investigación, sino solo para el monitoreo de la región en donde se encuentran éstas estaciones, y para formar una registro histórico de datos. También, desde hace muchos años, se tiene la necesidad de zonificar al país, de acuerdo a las características pluviométricas que se presentan en temporadas de huracanes. Es por ésta razón, que se propone utilizar ésta valiosa información para realizar un estudio de regionalización hidrológica con la finalidad de caracterizar al país en regiones que tengan comportamientos hidroclimatológicos similares. También se propone caracterizar los campos de lluvia generados por huracanes definiendo su comportamiento mediante ecuaciones matemáticas, esto tampoco se ha hecho con el rigor científico adecuado y que una vez evaluados y delimitados por los campos de peligro pueden servir para alertas, protección civil, y para tomar medidas de prevención de los desastres que son ocasionados por los huracanes.

Un factor importante por el que no se han investigado científicamente estos temas es por la fuerte variabilidad espacial de precipitación que se presenta en temporada de huracanes. Es aquí donde radica la fortaleza de este proyecto, pues surge la inquietud de conocer ésta variabilidad de las precipitaciones ocasionadas a lo largo de las trayectorias de los huracanes; la solución propuesta consiste en utilizar las técnicas de regionalización hidrológica para determinar regiones homogéneas y en ellas caracterizar el paso de estos fenómenos. Es decir, con base de los registros de lluvia de los meses afectados por huracanes, analizar su comportamiento en cuanto a su intensidad, lluvia máxima, duración, isoyetas de intensidades características, entre otros parámetros.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **2. MOTIVACIÓN.**

Las inundaciones son fenómenos recurrentes en nuestro país los cuales provocan año con año grandes pérdidas económicas a la infraestructura y a la agricultura. Pero sobre todo producen graves daños a la población en general. Las fuertes lluvias que se producen en el sureste de nuestro país ocasionadas por los fenómenos naturales como los huracanes y ciclones, en especial en el estado de Chiapas y la península de Yucatán, en donde la pluviosidad anual es alta; provocan inundaciones como las ocurridas en los años 1998 y 2007. Es por esto que se requiere ante todo un adecuado estudio de las precipitaciones extremas que ocurren en nuestro país. Adicionalmente, existen pocos estudios acerca de la predicción de trayectorias de huracanes y mucho menos de la lluvia que éstos producen. Si bien este trabajo comprende la parte de regionalización hidrológica, éste sentará las bases para comprender mejor la parte hidrológica del fenómeno, ya que en superficie las precipitaciones provocan escurrimientos súbitos susceptibles de producir daños materiales. Se pretende además que exista una herramienta matemática confiable que permita conocer el comportamiento de lluvia dentro de cuencas hidrológicamente homogéneas.

### **3. OBJETIVOS.**

1. Seleccionar las características significativas de las tormentas ocurridas en la REPÚBLICA MEXICANA, con el objeto de definir regiones homogéneas.
  
2. Definir zonas, cuencas, sub-cuencas o regiones hidrológicamente homogéneas, con base en las principales características de intensidades de tormenta.
  
3. Cartografiar y caracterizar las trayectorias de los huracanes que han impactado en las costas mexicanas, a través de la estimación de sus campos de lluvia.
  
4. Caracterizar a través de procedimientos de regionalización hidrológica, las tormentas que ocurren dentro de las regiones hidrológicamente homogéneas en las que se divide nuestro país.
  
5. Establecer y dar recomendaciones sobre los criterios de mitigación del riesgo para las condiciones de precipitación extrema producto de huracanes.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **4. ESTADO DEL ARTE.**

En estos tiempos de clima cambiante una de las mayores inquietudes de la población en general, de los gobiernos y de las autoridades a todos los niveles; es, sin duda, saber si seremos, o no víctimas de algún desastre hidrometeorológico. La situación se agrava año con año, pues el aumento de fenómenos hidrometeorológicos extremos y de los daños que ocasionan, como inundaciones, huracanes y lluvias torrenciales es un tema cotidiano y por desgracia al paso del tiempo, nuestra sensibilidad emocional disminuye convirtiendo estas desgracias en temas rutinarios y triviales. El análisis del riesgo y la vulnerabilidad de nuestro entorno es un concepto que utilizamos coloquialmente, sin embargo entender estos conceptos y sobre todo pasar a acciones claras y precisas para lograr mitigar los efectos de un desastre en nuestra comunidad o ciudad (entorno-región), basados precisamente en el cálculo del riesgo y la vulnerabilidad de una región no es una tarea fácil. La pregunta entonces sería cómo lograr esta cuantificación vital del riesgo y la vulnerabilidad.

En la actualidad la gestión del riesgo se lleva a cabo justamente cuantificando el riesgo. En muchos países esta cuantificación constituye una política gubernamental acorde a las situaciones de un país en materia de prevención de desastres, se convierte en un tema de seguridad nacional. Por ejemplo en Cuba y en los países del Caribe, el paso de los huracanes año con año genera grandes pérdidas económicas y humanas, por lo que un trabajo de la ciudadanía, protección civil, científicos y autoridades se convierte en una actividad prioritaria de nuestros gobiernos en Latinoamérica y el Caribe (Simpson, 1998).

En Estados Unidos, por ejemplo, desde los años ochenta se preveía que el impacto de grandes huracanes (categorías 3, 4 y 5) duplicaría las pérdidas económicas si no se realizaban acciones para mitigar estos catastróficos efectos (Pielke y Landsea, 1998). Basta mirar las noticias (1 de noviembre 2012) el Huracán Sandy afectó la costa este de los Estados Unidos, convirtiéndose en el segundo huracán más dañino después del Katrina. La ocurrencia de este evento en especial es importante pues proporciona una invaluable evidencia de nuestro cambiante clima. La previsión de ocurrencia de huracanes es común en nuestro continente, sobre todo en la región del Caribe, sin embargo este huracán Sandy se desplazó a latitudes superiores a las previstas por los expertos afectando ciudades como Nueva York y Washington, ciudades que no eran consideradas como amenazadas por este tipo de fenómenos. Es decir, el cambio en los patrones del clima ha provocado que fenómenos como los huracanes que normalmente ocurren en aguas calientes del caribe y que afectan ciudades en latitudes medias como Nueva Orleans (Katrina 2005); ahora se desplacen a latitudes altas afectando ciudades costeras con aguas predominantemente frías.

De lo anterior, podemos concluir que es evidente la necesidad de estudiar, investigar, trabajar y proponer acciones en el tema de la probabilidad de ocurrencia de fenómenos extremos, pero sobre todo en cómo la magnitud y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, se asocian a la vulnerabilidad del territorio; este es el objetivo principal de éste estado del arte.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

Para presentar un estado del arte en materia del análisis de la magnitud y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, asociados a la vulnerabilidad del territorio, se proponen tres líneas temáticas de artículos: (1) la cuantificación del riesgo, con base en la vulnerabilidad y las amenazas asociadas; (2) el estudio propio de fenómenos hidrometeorológicos extremos como huracanes y lluvias torrenciales y (3) la gestión del riesgo y adaptación de la población afectada.

### *Cuantificación del riesgo*

Respecto a la primera línea temática es importante, antes que nada, definir algunos conceptos como riesgo y vulnerabilidad. Debemos también reconocer que estos conceptos se encuentran interrelacionados y que además a ellos se agrega el concepto de peligro o amenaza definido éste como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural.

Es muy importante señalar que las amenazas se asocian a una cadena de efectos catastróficos (causa-efecto) y que dentro de la cadena de causa-efecto, la amenaza física directa es aquella que es percibida como tal por parte de la población. Es decir, un fenómeno natural extremo no constituye una amenaza por sí solo, sino está asociado a un efecto catastrófico. Si no hay fenómeno extremo que constituya un peligro, no hay elementos vulnerables y, por lo tanto, no hay amenaza. Y si no hay lugares amenazados con elementos vulnerables, tampoco hay riesgo, de manera que no hace falta realizar ni un análisis de amenaza ni de vulnerabilidad. Por ejemplo, una lluvia producida por un huracán en cierta zona podría ser benéfica, pues aumentaría el nivel de almacenamiento de presas, regaría zonas de cultivo, incrementaría el caudal ambiental en ríos y arroyos o aumentaría el nivel de recarga de los acuíferos. Sin embargo, esta misma lluvia huracanada, puede ser la causa para provocar daños en casas habitación que estén construidas sobre las márgenes de ríos y por ende vulnerables (efecto directo). Es así que las consecuencias producidas por estas lluvias huracanadas, constituyen las amenazas y las causas de daños directos (cadena de causas efectos). Entonces, *el objeto del análisis de la amenaza son las amenazas físicas directas como elementos de una cadena de causa-efecto que, posiblemente, sea más larga. Se llama amenaza física directa a aquella que es percibida como tal por parte de la población afectada. Por consiguiente, en el ejemplo que acabamos de citar, la amenaza física directa no es la lluvia huracanada sino las inundaciones, los derrumbes y la erosión que pueden producirse* (Kohler et al., 2004).

De lo anterior, podemos entonces decir que los elementos fundamentales para definir un riesgo son la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural peligroso y la vulnerabilidad como la propensión a sufrir daños en el momento de producirse el evento y como la capacidad de protegerse correspondientemente. El producto de estos dos elementos es el riesgo, que expresa la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de los posibles daños o pérdidas.

Sin embargo, antes de entrar al análisis de la vulnerabilidad de un determinado grupo poblacional y de sus bases de vida, es necesario analizar y estudiar los fenómenos naturales y los lugares amenazados por éstos. Esto es justamente lo que se propone como segunda línea temática del presente estado del arte.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### *Estudio de fenómenos hidrometeorológicos extremos*

En nuestro país pocos son los estudios detallados sobre la ocurrencia y el comportamiento hidrológico de tormentas severas, esto se debe a que es poca la información que se tiene disponible, referente a intensidades y duraciones de tormenta. Asimismo, la red meteorológica de nuestro país es escasa y día con día se pierde la cultura de la medición y el monitoreo de las variables hidrometeorológicas que nos afectan. En contraste, en países desarrollados, la inversión en medición es cada día mayor y la tecnología avanza en materia de radares y satélites meteorológicos. No sólo la medición es la base de este conocimiento científico, pues la heterogeneidad de regiones climáticas en el país representa un problema cuando se trata de estudiar la distribución espacio-temporal de la precipitación.

Los errores que pueden generarse al transferir información hidroclimatológica entre regiones no homogéneas, pudieran, en magnitud, ser del orden de un evento aislado o hasta del valor anual de un evento analizado. Normalmente se intenta disminuir la incertidumbre en esta transferencia de información, dividiendo una región en subregiones hidrológicamente homogéneas (Gutiérrez *et al.*, 2004). En este sentido, las técnicas de regionalización hidrológica han sido desarrolladas principalmente para estimar escurrimientos puntuales en sitios en donde no existen estaciones hidrométricas o que la información hidrométrica es limitada o escasa (Taffa, 1991).

En América Latina, en donde las estaciones climatológicas son en general, más abundantes que las estaciones hidrométricas; el concepto de regionalización de la precipitación adquiere un valor particularmente importante en un estudio de aprovechamientos hidráulicos (Rasmussen *et al.*, 1994; Loukas, 2002). Gracias a la robustez de los procedimientos regionales, éstos son una excelente herramienta para estimar eventos extremos en países en donde las redes de medición aún no se encuentran muy desarrolladas (Koutsoyiannis *et al.*, 1998; Ouarda *et al.*, 2001). Existen numerosas ventajas al utilizar un procedimiento regional sobre un grupo de cuencas hidrológicamente homogéneas, comparado por ejemplo, con un análisis de frecuencias (análisis de probabilidades) sobre un solo sitio de medición. Todos estos estudios de transferencia de información hidrológica a sitios sin registros culminan en el cálculo de las llamadas curvas de intensidad, duración de tormenta y frecuencia de ocurrencia (periodo de retorno), también conocidas como curvas i-d-t o i-d-f. Esto quiere decir que si se logra definir la intensidad, duración y frecuencia de un evento extremo, estaremos en posibilidad de conocer plenamente su comportamiento y por ende se podrá realizar una caracterización, con el objeto de definir la amenaza y vulnerabilidad (frecuencia); y un pronóstico de su magnitud, con el propósito de definir los planes de alertamiento.

Respecto al análisis detallado del fenómeno existe mucha literatura, sobre todo científica en revistas y Journals altamente especializados. En este estado del arte se tomaron sólo algunos de ellos, los más sencillos, simplemente con el objeto de ejemplificar la sofisticación con la que los científicos estudian, por ejemplo, los huracanes.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

En lo que se refiere a la forma de los huracanes, el estudio de su patrón anular es de los temas prioritarios en Estados Unidos, sobre todo la evolución temporal del diámetro del fenómeno presentado en diagramas de Hovmöller (Knaff *et al.*, 2003; Weng *et al.*, 2007); Estos diagramas son mapas espaciales que presentan el fenómeno en tres dimensiones: tiempo, localización espacial y magnitud del fenómeno. Este tipo de diagramas son muy utilizados en estudios del fenómeno del Niño y la Niña (aumento y disminución de la temperatura del mar) por ejemplo.

La forma de los huracanes es de gran importancia cuando se trata de estudiar su comportamiento, los investigadores analizan no sólo su forma sino, incluso la presencia de algo que llaman meso-vórtices en el ojo de un huracán y que constituyen una característica de peligrosidad muy importante (Kossin y Schubert, 2004). Estos meso-vórtices están asociados a perturbaciones en el vórtice u ojo del huracán, lo que proporciona una mayor fuerza destructiva de estos fenómenos (Kwon y Frank, 2005).

Otro tema muy importante es la idea de clasificar los huracanes en patrones de trayectorias, esta idea no es nueva y aporta un gran conocimiento de estos fenómenos, sobre todo en su viaje paralelo a las costas (Elsner, 2003). Huracanes como el Catarina en 2004, sin duda han sido de los más catastróficos pero también de los más estudiados (McTaggart-Cowan *et al.*, 2005). Estudiar la evolución de un huracán utilizando los campos de lluvia, genera una gran expectativa en la comunidad científica mundial y constituye al menos en nuestro país una importante línea de investigación y de trabajo para los futuros ingenieros, hidrólogos y meteorólogos (Ewing *et al.*, 2006).

### *Gestión del riesgo y adaptación de la población*

Respecto al tema de riesgo y adaptación, se puede mencionar que una vez que se ha entendido el concepto de riesgo, (amenaza por vulnerabilidad) y el cómo se producen los fenómenos amenazadores, el siguiente paso es llevar a la realidad las ideas de la gestión del riesgo y adaptación de la población. En especial se ha desarrollado una metodología que incluye la estimación de un índice de vulnerabilidad contra inundaciones en ciudades costeras (*Coastal City Flood Vulnerability Index CCFVI*). Este indicador se basa en el cálculo de la exposición de las ciudades al peligro, la probabilidad de ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos y en la capacidad de la comunidad en volver a la normalidad después del desastre (resiliencia). Esta metodología ha permitido identificar las ciudades más vulnerables de los Estados Unidos y dirigir las acciones desde los ámbitos hidro-geológicos, socio-económicos y político- administrativos. Este índice varía entre cero y uno e indica la vulnerabilidad de una zona habitada, ante fenómenos extremos (Balica y Wright, 2012).

Otro aspecto coyuntural para la adaptación de la población es la estimación de los daños y las pérdidas económicas producto de las inundaciones. En este aspecto se consultó literatura especializada sobre todo enfocada a la estimación de las curvas denominadas “tirantes-daños”. Estas curvas constituyen el elemento fundamental de planeación para las empresas aseguradoras, que constituyen, además de los fondos gubernamentales de

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

reconstrucción, el único elemento económico que le permite a la población volver a la normalidad. Las curvas tirantes daños se refieren a la profundidad (tirante) que puede ocasionar el desbordamiento de río y a los daños, expresados como pérdidas económicas, asociados a dicha profundidad.

Es importante señalar que la base científica de la estimación de estas curvas se basa justamente en los conceptos de los apartados anteriores: (1) información detallada del fenómeno perturbador causante de daños y (2) en el análisis de la exposición al peligro de la población (Jonkman *et al.*, 2008).

Sin duda la línea predominante en los artículos consultados es la de riesgo, amenaza y vulnerabilidad, y es la que más aporta al estado del arte. Sin embargo, la descripción detallada del fenómeno huracán constituye un tema muy importante de investigación en la comunidad científica. Si bien los artículos consultados son altamente especializados y no todos los conceptos son entendidos por la población en general, si son evidencia clara que los fenómenos hidrometeorológicos extremos son complejos, pero también son altamente estudiados por expertos y constituyen la sólida base científica para los estudios de riesgo y vulnerabilidad.

Una conclusión muy importante es mencionar que la combinación de los conceptos de magnitud y frecuencia es de suma importancia ya que proporciona la combinación necesaria para entender y estudiar la vulnerabilidad a la que está expuesta una comunidad o región. De esta forma podemos garantizar que conocemos el “régimen” de un evento hidrometeorológico, cuando podemos asignarle una magnitud y frecuencia de ocurrencia. Es decir, “*el régimen*” de un evento hidrometeorológico estará dado por su magnitud y frecuencia. Por ejemplo, *el régimen de una inundación* en una cierta zona vulnerable, podría quedar definido como: un metro y medio de agua (magnitud) durante tres semanas (frecuencia). Esto nos lleva a una conclusión muy importante en el sentido que debemos de aprender a definir correctamente el régimen de los eventos hidrometeorológicos estudiados y sobre todo que es necesario conocer el régimen de las amenazas, para definir correctamente el riesgo hidrometeorológico.

Respecto a la gestión del riesgo de desastres, ponemos concluir, primeramente que las medidas de gestión se deben basar en el exhaustivo análisis del riesgo. Para esto se proponen los siguientes componentes. (1) Análisis de amenazas, estará basado en un análisis geográfico (localización); análisis del régimen (curvas i-d-t; magnitud y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos). (2) Análisis de vulnerabilidad, estará basado en la identificación de elementos y personas potencialmente amenazados, determinando los factores de vulnerabilidad y análisis de causas (físicas, económicas, sociales y ambientales); asimismo, en la estimación de los probables daños o pérdidas. Adicionalmente, el análisis de vulnerabilidad podrá ser acompañado de un análisis de la capacidad de protección a nivel de familia o comunidad. Finalmente, el último componente se refiere a la (3) prevención y mitigación, en donde deben de considerarse las medidas de planificación, prevención, creación de capacidades institucionales y la preparación de planes de emergencia, de evacuación y sistemas de alerta temprana.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **5. RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMATOLÓGICOS.**

Para el estudio correspondiente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, y los peligros que representan para la población es necesario el recopilar información hidrometeorológica para analizarla y comprender el comportamiento de dichos fenómenos.

#### **5.1 Descripción de las Estaciones Meteorológicas Automáticas.**

Una EMA (Estación Meteorológica Automática) es una versión automatizada de la tradicional estación meteorológica, lo cual nos ayuda a realizar mediciones en lugares remotos en los cuales es difícil de transportarse diariamente para hacer la lectura de las precipitaciones.

Actualmente existe 136 Estaciones Meteorológicas Automáticas a lo largo de todo el territorio mexicano, las cuales son monitoreadas por la CONAGUA, Una EMA está equipada para que pueda reportar en tiempo real vía satélite, o tienen la capacidad de salvar los datos para así recuperarlos después, su función principal es el monitoreo y recopilación de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables que registra.

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura y humedad relativa
- Radiación solar
- Precipitación

De esta manera se tiene un registro a cada 10 minutos, lo que permite conocer el número de tormentas que ocurrieron en un día, y el comportamiento de cada una de ellas a lo largo del tiempo, a diferencia de las estaciones climatológicas convencionales, las cuales proporcionan un registro de lluvia en 24 horas.

#### **5.2 Recopilación de datos geográficos y climatológicos.**

De las estaciones EMAs, se recopilan datos geográficos como: Longitud, Latitud, Elevación; y climatológicos obtenidos por Ramírez, (2011), tales como los coeficientes K, M, N (ecuaciones i-d-t) estos coeficientes son constantes que se obtienen de la muestra histórica de precipitación para cada una de las EMAs, también se recopilaron las intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno y duraciones de lluvia (D=30min T= 2 y 10 años; D= 60 min T= 2 y 10 años; D= 24 h. T= 2 y 10 años).

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

Para la determinación de estos coeficientes, el autor hizo una selección en la cual descarto todas aquellas EMAs que tuvieran menos de 5 años de registro, por lo que finalmente trabajo únicamente con 61 EMAs de las 136 existentes, las cuales se muestran en la tabla 5.2.y en la figura 5.2.1 se presenta un mapa con su ubicación geográfica.

Tabla 5.2 EMAs utilizadas para el análisis de regionalización.

<b>EDO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD</b>
<b>BC</b>	BAHÍA DE LOS ÁNGELES	28.896388	-113.56027	10
	PSA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	32.44722	-116.9083	156
	PSA EMILIO LÓPEZ ZAMORA	31.891388	-116.60333	32
	S QUINTÍN	30.5316667	-115.8375	32
<b>BCS</b>	CABO S LUCAS	22.88111	-109.92638	224
	CD CONSTITUCIÓN	25.009722	-111.66333	28
	GUSTAVO DÍAZ ORDAZ	27.64277	-113.4575	37
	STA ROSALÍA	27.338055	-112.269444	53
<b>CAMP</b>	CAMPECHE	19.836111	-90.507222	11
	CD DEL CARMEN	18.648055	-91.8225	8
<b>CHIS</b>	PALENQUE	17.525833	-91.990277	52
<b>CHIH</b>	BASASEACHI	28.199166	-108.208889	1973
	CHINATÚ	26.22944	-106.770556	1982
	CHINIPAS	27.392777	-108.536389	431
	GUACHOCHI	26.813611	-107.073056	2390
	MAGUARICHI	27.858333	-107.994444	1663
	URIQUE	27.265555	-107.916944	577
<b>DF</b>	AEROPUERTO	19.4402778	-99.0761111	2075
	ESC NAL DE CIEN BIOL	19.453611	-99.171111	2389
	SMN	19.403611	-99.196944	2320
	TEZONTLE	19.385277	-99.099722	2358
<b>DGO</b>	LAS VEGAS	24.185833	-105.466111	2398
<b>GTO</b>	PSA ALLENDE	20.848333	-100.824722	1915
<b>GRO</b>	ACAPULCO	16.763333	-99.7488888	76
<b>HGO</b>	PACHUCA	20.096944	-98.7141667	2423
	HUEJUTLA	21.154722	-98.3686111	115
<b>JAL</b>	CHAPALA	20.290277	-103.201667	1493
	JOCOTEPEC	20.283055	-103.416389	1506
	LOS COLOMOS	20.706666	-103.392778	1571
	RÍO TOMATLAN	19.998611	-105.133611	141
	TIZAPAN	20.169444	-103.043889	1503
<b>MÉX</b>	ATLACOMULCO	19.791666	-99.8697222	2600
	CERRO CATEDRAL	19.541944	-99.5191667	3754

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

	NEVADO DE TOLUCA	19.116666	-99.7666667	4139
	PSA MADÍN	19.524444	-99.2680556	2364
<b>MICH</b>	ANGAMACUTIRO	20.125277	-101.7225	1730
<b>MOR</b>	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA	18.883888	-99.1594444	1355
<b>NL</b>	PSA EL CUCHILLO	25.733055	-99.3208333	134
<b>OAX</b>	PINOTEPA NACIONAL	16.349722	-98.0525	195
	PUERTO ÁNGEL	15.671111	-96.4972222	91
<b>PUE</b>	UNIV TECNOL DE TECAMACHALCO	18.866388	-97.7216667	2047
	IZÚCAR DE MATAMOROS	18.616666	-98.4519444	1353
<b>QRO</b>	HUIMILPAN	20.3902777	-100.283611	2280
<b>Q ROO</b>	CANCÚN	21.075	-86.7758333	50
	CHETUMAL	18.5005556	-88.3277778	14
	SIAN KA'AN	20.1277777	-87.4655556	8
<b>SON</b>	ALAMOS	27.0216666	-108.937778	409
<b>TAMPS</b>	MATAMOROS	25.885833	-97.5186111	4
	SAN FERNANDO	24.8427778	-98.1575	45
	ALTAMIRA	22.3875	-97.9255556	61
<b>TLAX</b>	HUAMANTLA	19.383333	-97.95	2222
<b>VER</b>	ALVARADO	18.715	-95.6325	113
	CD ALEMAN	18.189166	-96.0975	107
	CENTRO DE PREVISIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO	19.1427777	-96.1113889	19
	JALAPA	19.5297222	-96.9247222	1439
	PSA LA CANGREJERA	18.1058333	-94.3313889	34
	TUXPAN	20.96	-97.4169444	5
<b>YUC</b>	CELESTÚN	20.8580555	-90.3830556	10
	MÉRIDA	20.9463888	-89.6516667	18
	RÍO LAGARTOS	21.5711111	-88.1602778	5
<b>ZAC</b>	ZACATECAS	22.7466666	-102.506111	2270

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS

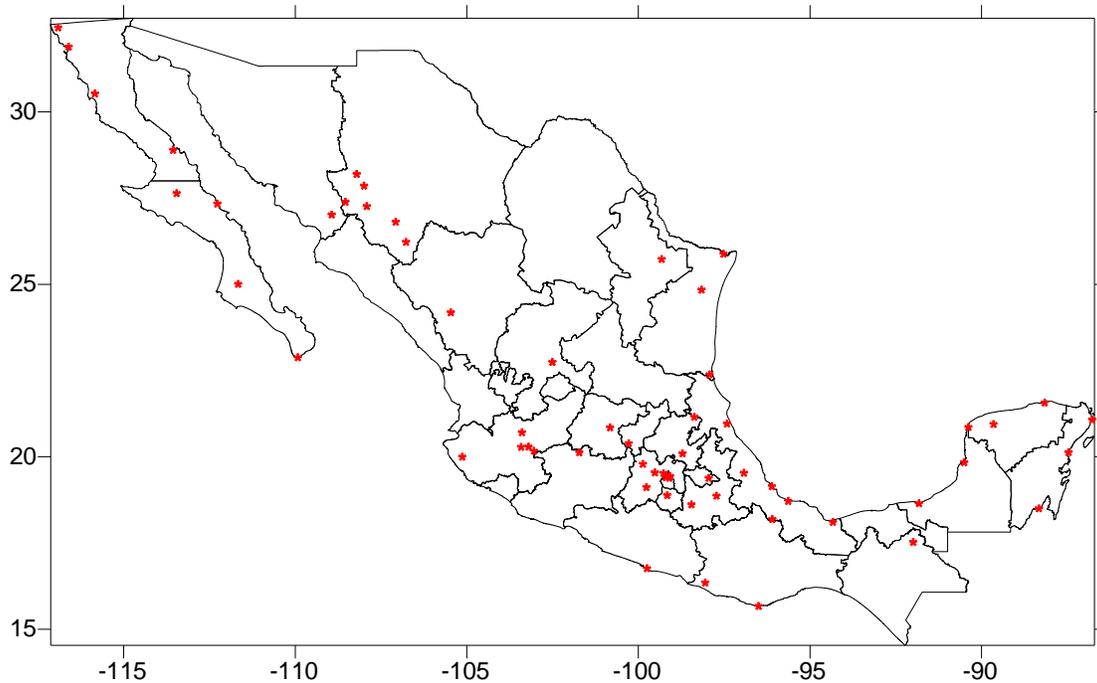


Figura 5.2.1 Distribución geográfica de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs).

## 6. IDENTIFICACIÓN DE REGIONES HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS.

### 6.1 Técnicas de regionalización.

La heterogeneidad de las regiones climáticas representa un gran problema cuando es necesario el estudiar la distribución espacial y temporal de la precipitación, (Gutiérrez, et. al., 2004) ya que el transferir información hidroclimatológicas de una región a otra, puede representar un gran error si estas regiones no tienen el mismo comportamiento. Otra de las dificultades frecuentes encontradas por los hidrólogos, cuando se trata de proyectos de recursos hídricos, se relaciona con la ausencia de un historial suficientemente largo de las observaciones hidrológicas para la correcta estimación de eventos con un alto periodo de retorno en un punto específico de interés en una determinada región en la que se es necesario hacer una estudio hidrológico para la construcción de alguna obra hidráulica, por lo que es necesario el usar técnicas de regionalización para así poder dividir una región hidrológica en sub regiones hidrológicamente homogéneas y de esta manera disminuir la incertidumbre en la transferencia de información y para obtener una estimación real y muy aproximada en zonas en las que no se tienen datos hidroclimatológicos, el paso crítico en este tipo de análisis es sin duda la definición de las regiones homogéneas.

A continuación se describe la aplicación de estos métodos de regionalización (Mkhandi y Parida, 2000; Fill y Stedinger, 1995), para caracterizar y regionalizar la República mexicana en sub regiones hidrológicamente homogéneas con base en las principales características de intensidades de tormenta, ya que estos acontecimientos de tormentas

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

están asociados con el diseño y operación de estructuras hidráulicas además de la prevención de desastres ocasionados por una precipitación excedente que no se logra captar o desalojar de las zonas urbanizadas.

En cuanto a las técnicas de regionalización y delimitación de cuencas hidrológicamente homogéneas, básicamente comprenden tres etapas fundamentales:

### 1.- Índices de proximidad.

Anderberg presento en 1973 una minuciosa revisión de las diferentes medidas matemáticas de asociación y sus interrelaciones, sin embargo no quedo del todo clara su aplicación a los campos de la ciencia; a no ser la de agrupar datos numéricos en grupos y sub grupos semejantes. A estas medidas se les conoce con el nombre de índices de proximidad y representan en forma matemática, la semejanza o desigualdad entre dos configuraciones, es decir, entre dos puntos. Su aplicación en la hidrología consiste en obtener dichos índices a partir de configuraciones específicas (Gutiérrez, et. al., 2004), formadas por características hidrológicas medibles y continuas en una proporción de escala conocida.

Existen varios métodos para calcular el índice de proximidad:

- Distancia Euclidiana
- Distancia Euclidiana al cuadrado
- Distancia de City-block (Manhattan)
- Distancia de Tchebychev

### 2. - Reglas de agregación.

La primera etapa luego que cada objeto individualmente forma una clase, es definir las distancias entre ellos utilizando alguna de las anteriormente mencionadas. De esta forma se tendrá una primera agrupación, pero ahora es necesario determinar la distancia entre estos nuevos grupos, en otras palabras, es necesario una regla de agregación para determinar en qué momento dos grupos son lo suficientemente similares para fusionarse en uno solo. Se pueden ligar dos clases o elementos cuando sus distancias son próximas respecto a su algoritmo de agregación correspondiente.

Para esta etapa existen las siguientes reglas de agregación.

- Vecino próximo
- Media ponderada por grupos
- Método de Ward (inercia mínima)

### 3.- Clasificación Jerárquica

- Árbol Jerárquico (dendograma)

La Clasificación Jerárquica Ascendente (CJA) es un método que parte de individuos aislados y en cada etapa los dos individuos más cercanos se fusionan formando un nuevo grupo, hasta que no existen más individuos solos y se procede a fusionar grupos de la misma manera. Este procedimiento continúa hasta que solo queda un gran grupo con todos

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

los elementos incluidos, este algoritmo permite describir de manera grafica y explicita la estructura final de la clasificación obtenida.

### **6.2 Combinaciones de variables hidroclimatólogicas para el análisis de regionalización.**

Con los datos recopilados, es necesario el determinar diferentes combinaciones de variables hidro-climatólogicas para realizar un análisis de homogeneidad para llegar a una regionalización óptima. Por lo que se generaron diferentes combinaciones de variables. (Lin y Chen, 2006),

Las combinaciones propuestas son las siguientes:

- Longitud, latitud, elevación, K
- Longitud, latitud, elevación, M
- Longitud, latitud, elevación, N
- Longitud, latitud, elevación, K, M, N
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D30T2
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D30T10
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D60T2
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D60T10
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D24hT2
- Longitud, latitud, elevación, intensidades para D24hT10
- Longitud, latitud, elevación, todas las intensidades mencionadas.
- Intensidades.

Cada una de estas combinaciones se analizó con la ayuda de un software estadístico para generar subregiones homogéneas, usando diferentes índices de proximidad y distancias de agregación, esto con el motivo de tener una variedad de regionalizaciones para compararlas entre sí, ver sus semejanzas y diferencias para así poder seleccionar de manera acertada la regionalización óptima.

### **6.3 Uso del software para el análisis de regionalización.**

Es necesario el ayudarnos de herramientas de cómputo para realizar éste tipo de análisis de regionalización ya que el procedimiento es muy complicado, y el grado de complejidad de el análisis incrementa a medida que se tiene un mayor número de variables, como es el caso de esta regionalización, se tiene una gran cantidad de variables, diferentes combinaciones entre las variables y entre las técnicas de regionalización, por lo que el análisis para obtener una regionalización se hizo con la ayuda de un software llamado “STATISTICA 7.0” el cual posee un gran paquete de análisis estadístico.

Los pasos para el uso del software se encuentran en el “Anexo 1” de este documento, usando como ejemplo la combinación número 4 con las siguientes variables: Longitud, latitud, elevación, K, M, N

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **6.4 Presentación de resultados, dendogramas y mapas para cada caso de regionalización.**

En este apartado se muestran los resultados de las distintas combinaciones de variables. En el orden que se muestra a continuación se presentan los dendogramas y los mapas de la distribución geográfica de la agrupación de regiones homogéneas mediante un mapa de la república mexicana con división política.

1. Longitud, latitud, elevación, K
2. Longitud, latitud, elevación, M
3. Longitud, latitud, elevación, N
4. Longitud, latitud, elevación, K, M, N
5. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D30T2
6. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D30T10
7. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D60T2
8. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D60T10
9. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D24hT2
10. Longitud, latitud, elevación, intensidades para D24hT10
11. Todas las intensidades mencionadas.

Estas combinaciones se analizaron en el programa con el índice de proximidad “distancia Euclidiana” y como regla de agregación se usó el “ligado simple” (single linkage), una vez que se muestran todos los resultados de las combinaciones mencionadas anteriormente y sus mapas de distribución geográfica, se hace una comparación entre ellos.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

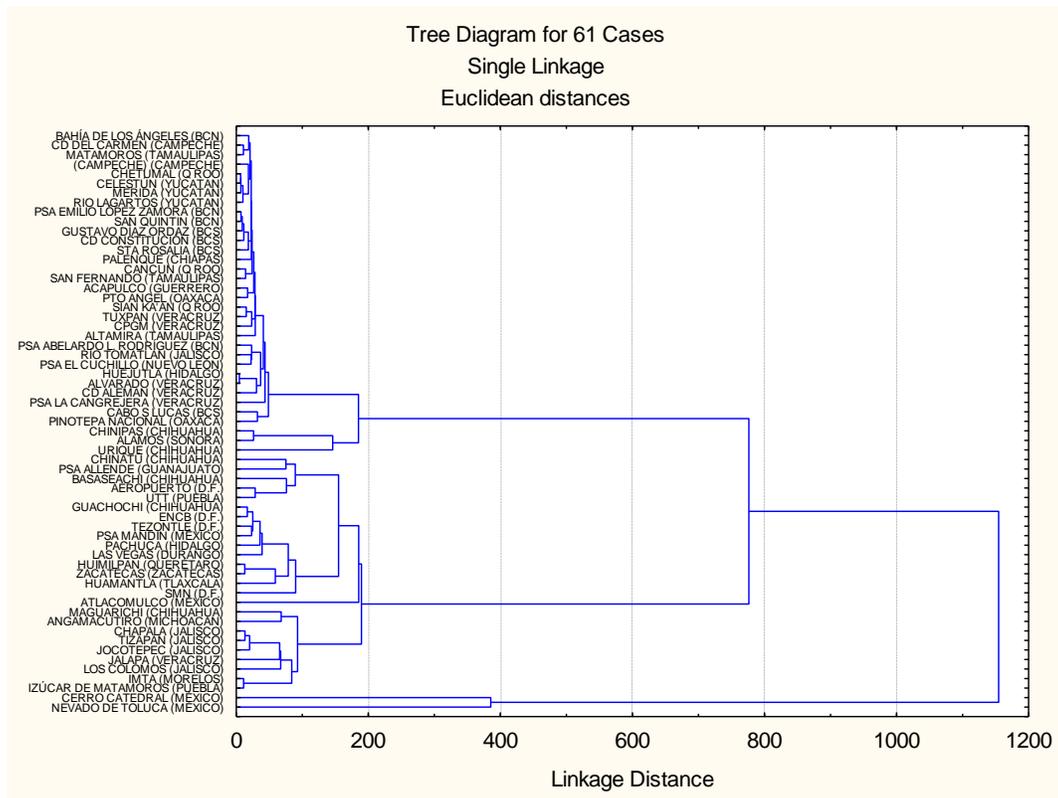


Figura 6.4.1 Dendrograma para la combinación 1.

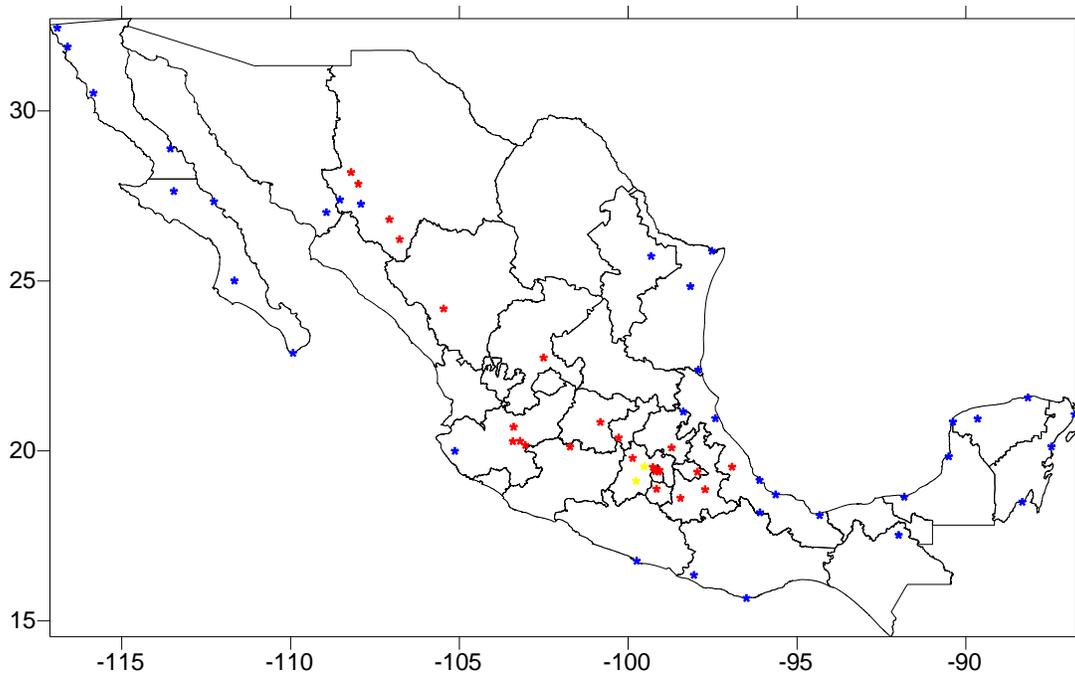


Figura 6.4.2 Distribución geográfica de la combinación 1.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

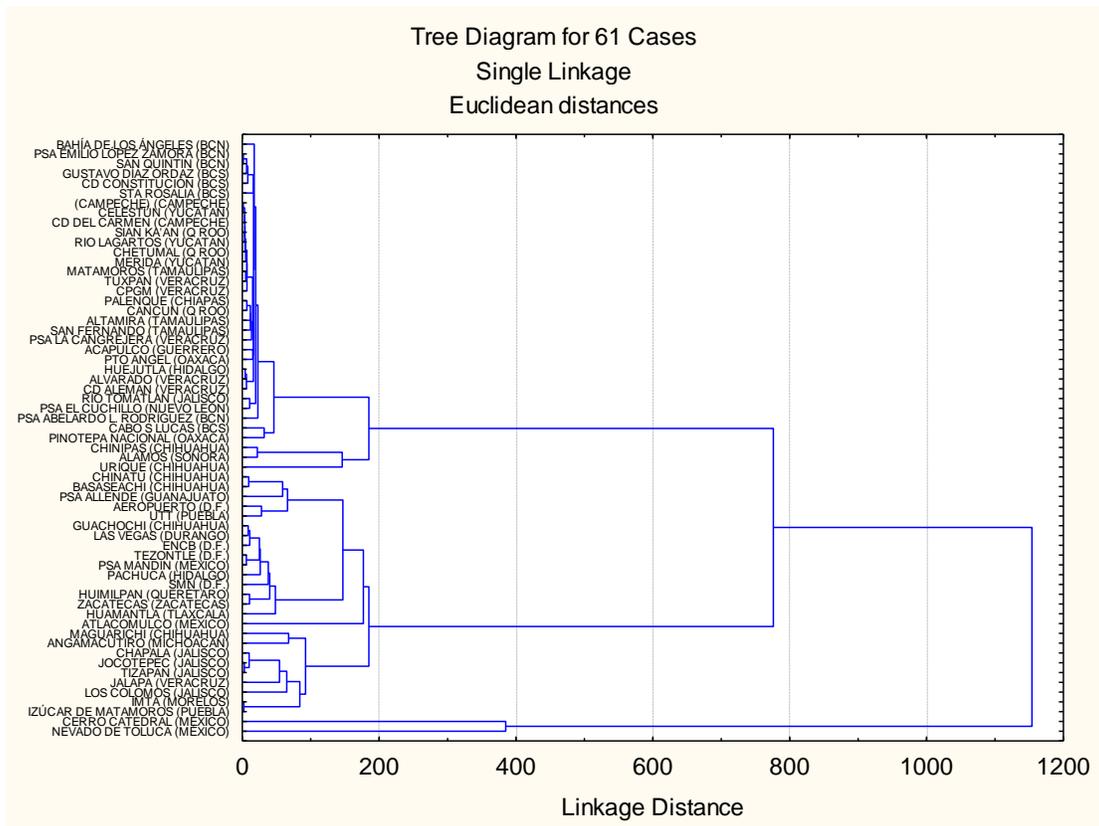


Figura 6.4.3 Dendrograma para la combinación 2.

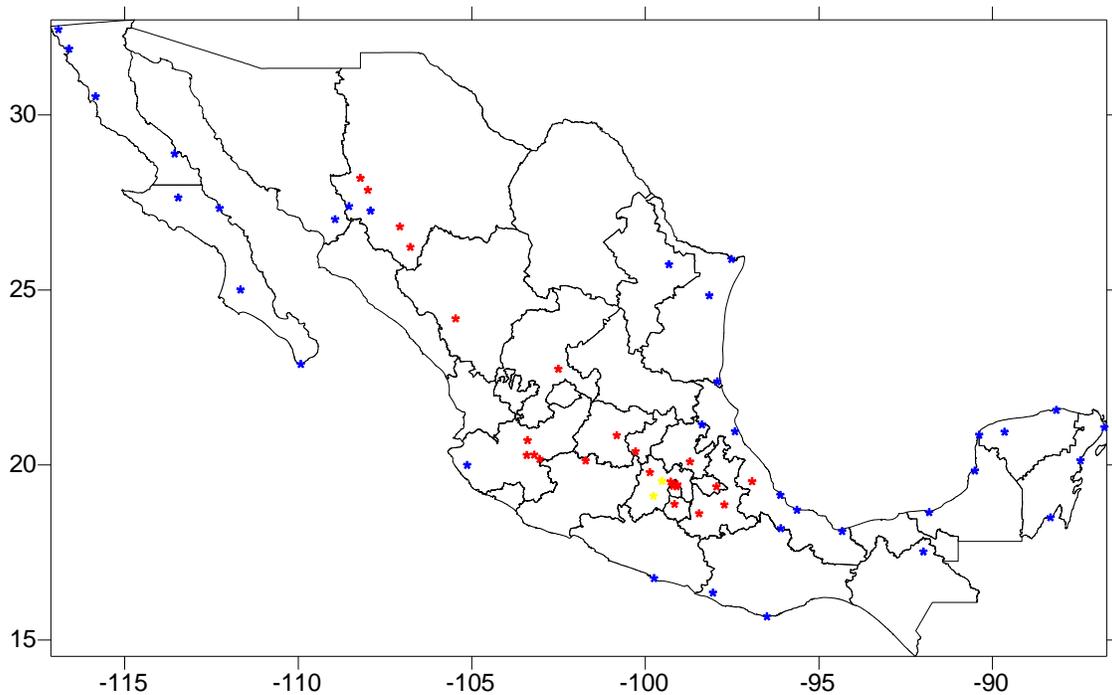


Figura 6.4.4 Distribución geográfica para la combinación 2.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

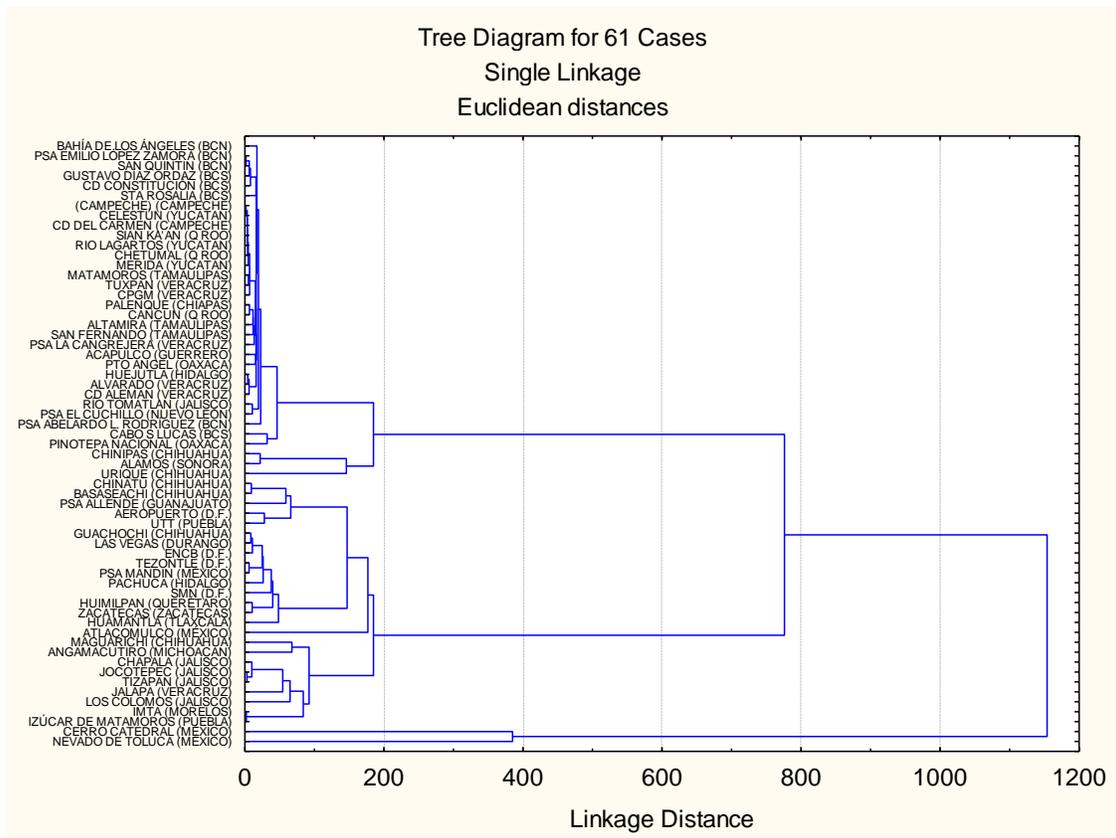


Figura 6.4.5 Dendrograma para la combinación 3.

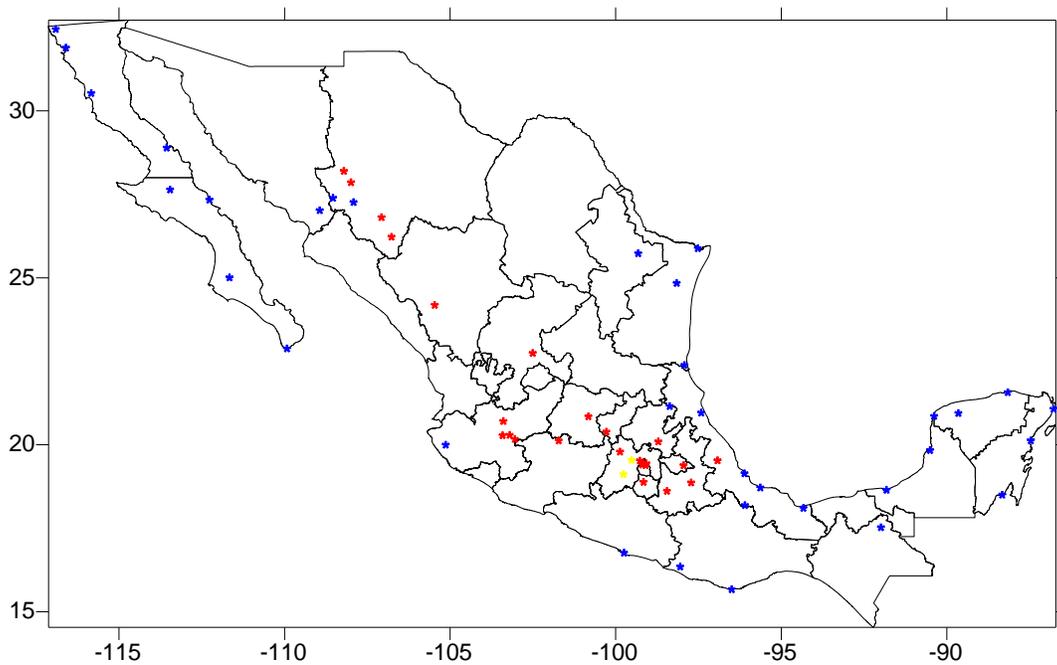


Figura 6.4.6 Distribución geográfica para la combinación 3.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

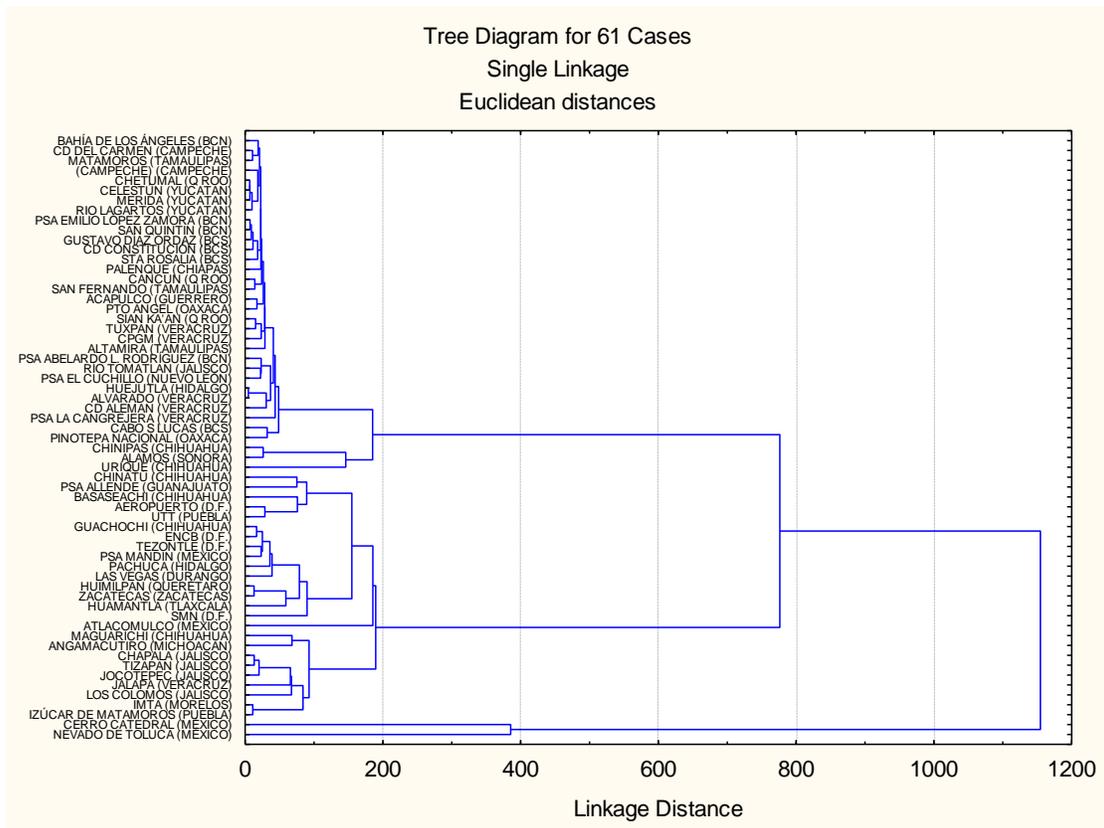


Figura 6.4.7 Dendrograma para la combinación 4.

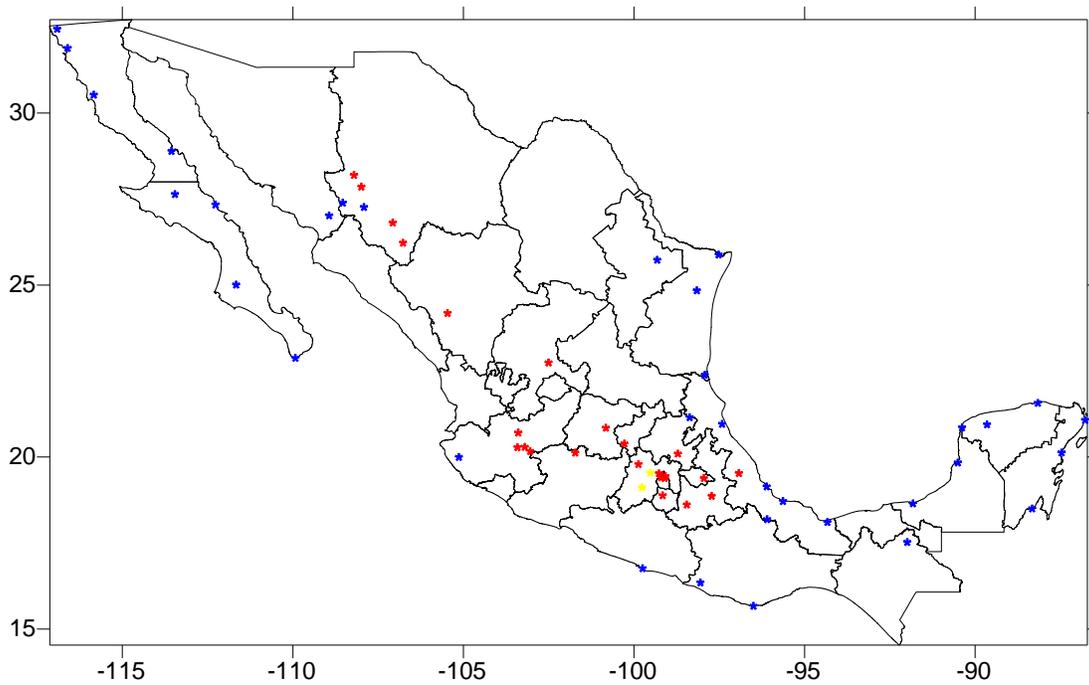


Figura 6.4.8 Distribución geográfica para la combinación 4.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

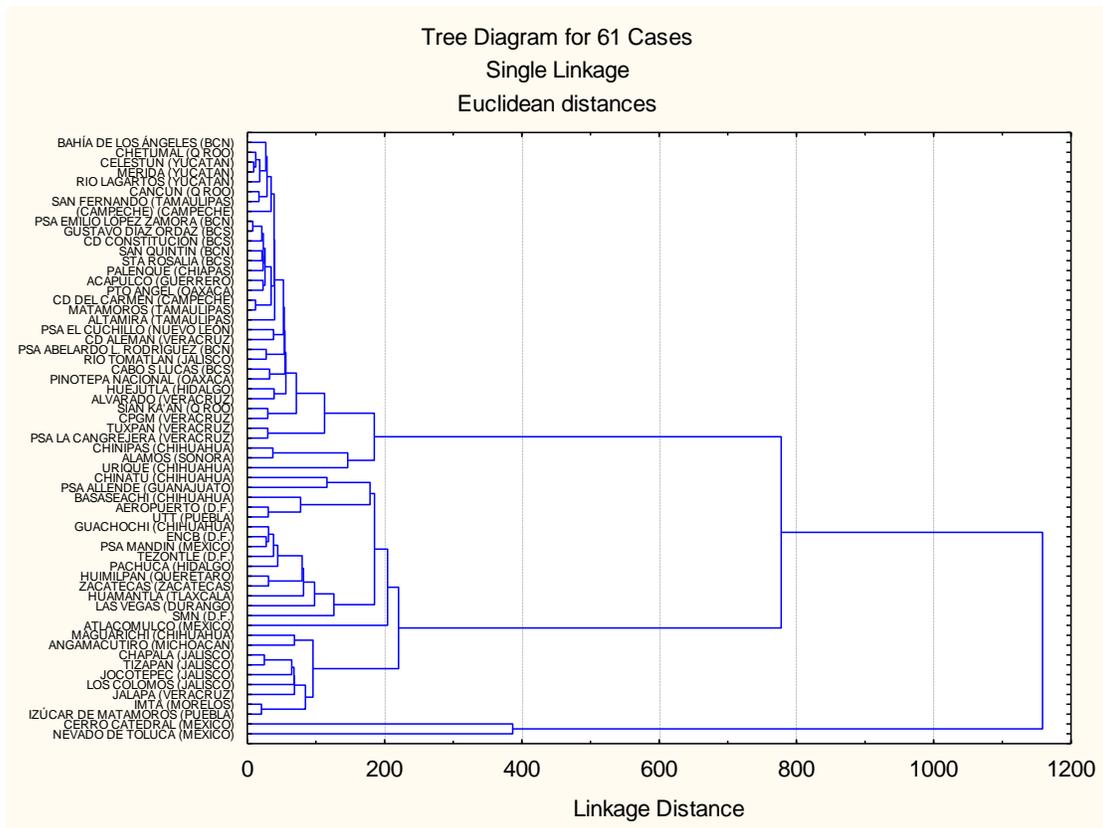


Figura 6.4.9 Dendrograma para la combinación 5.

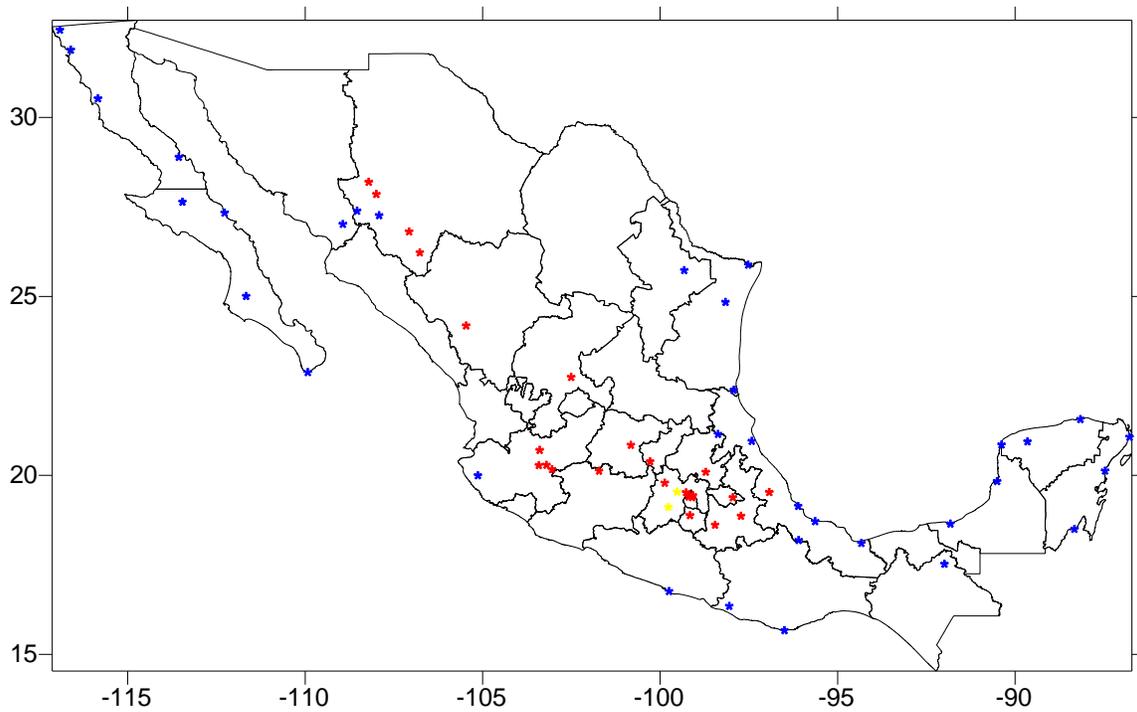


Figura 6.4.10 Distribución geográfica para la combinación 5.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

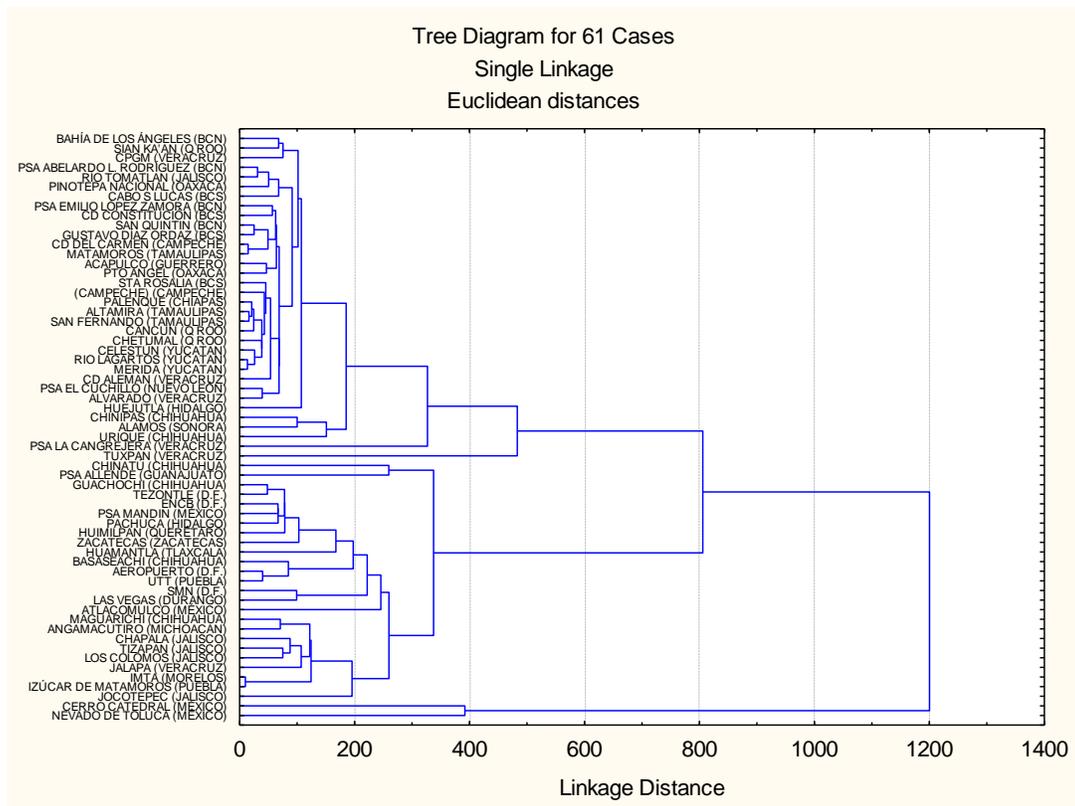


Figura 6.4.11 Dendrograma para la combinación 6.

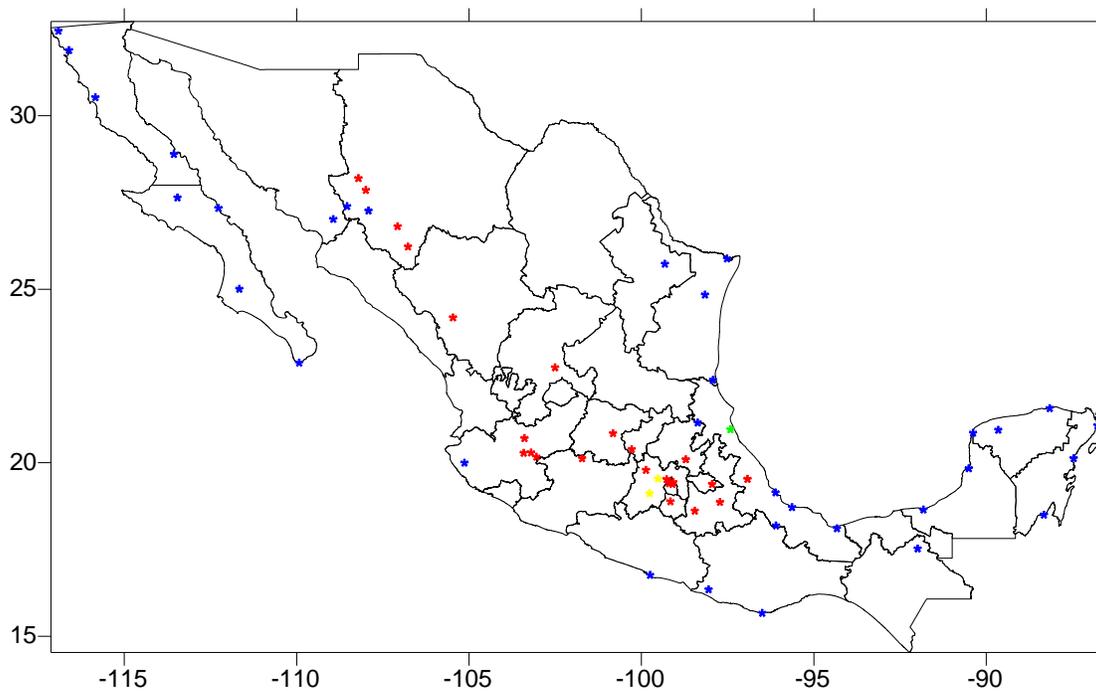
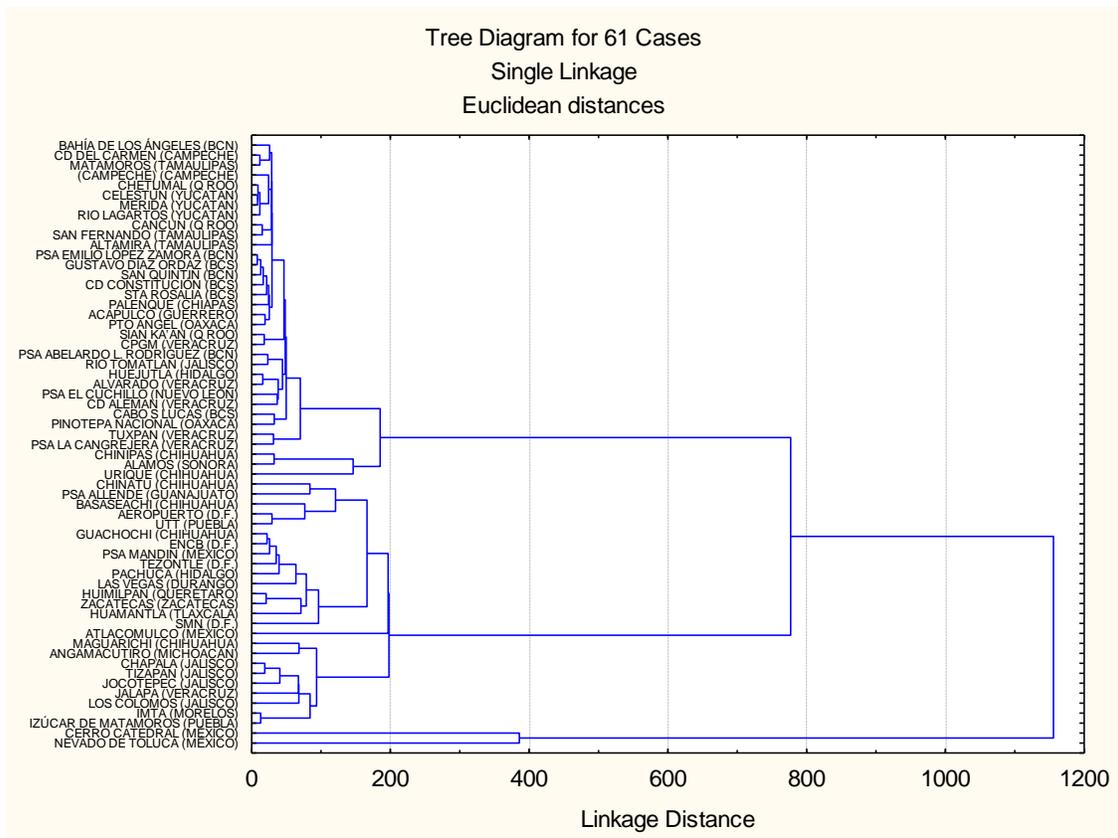


Figura 6.4.12 Distribución geográfica para la combinación 6.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS



Se Figura 6.4.13 Dendograma para la combinación 7.

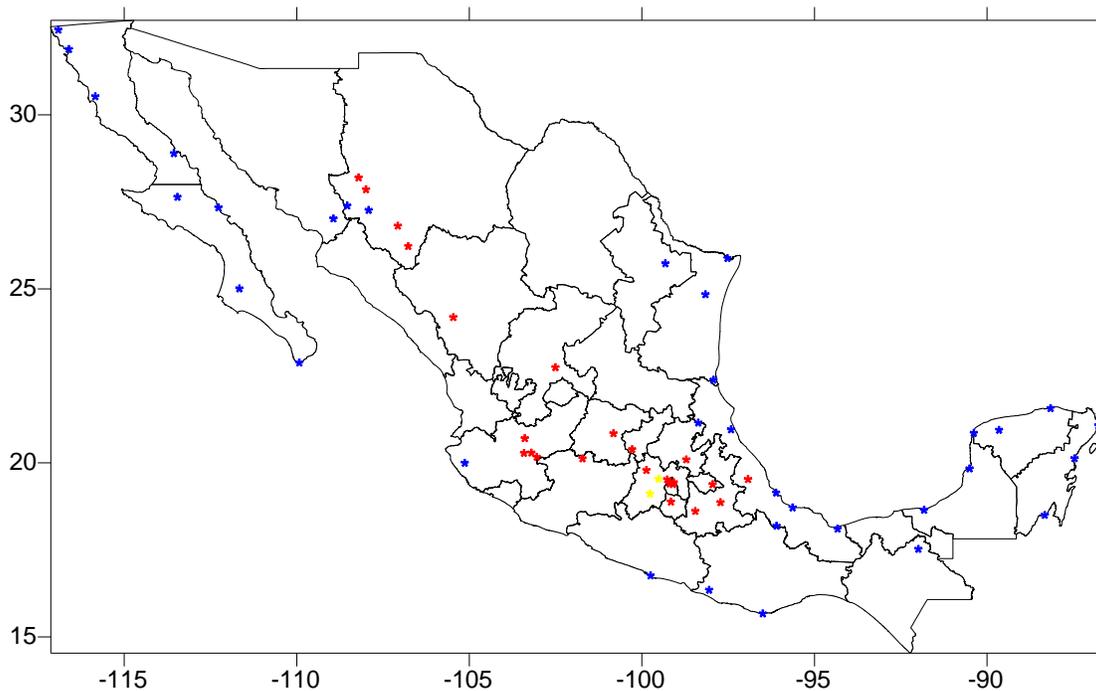
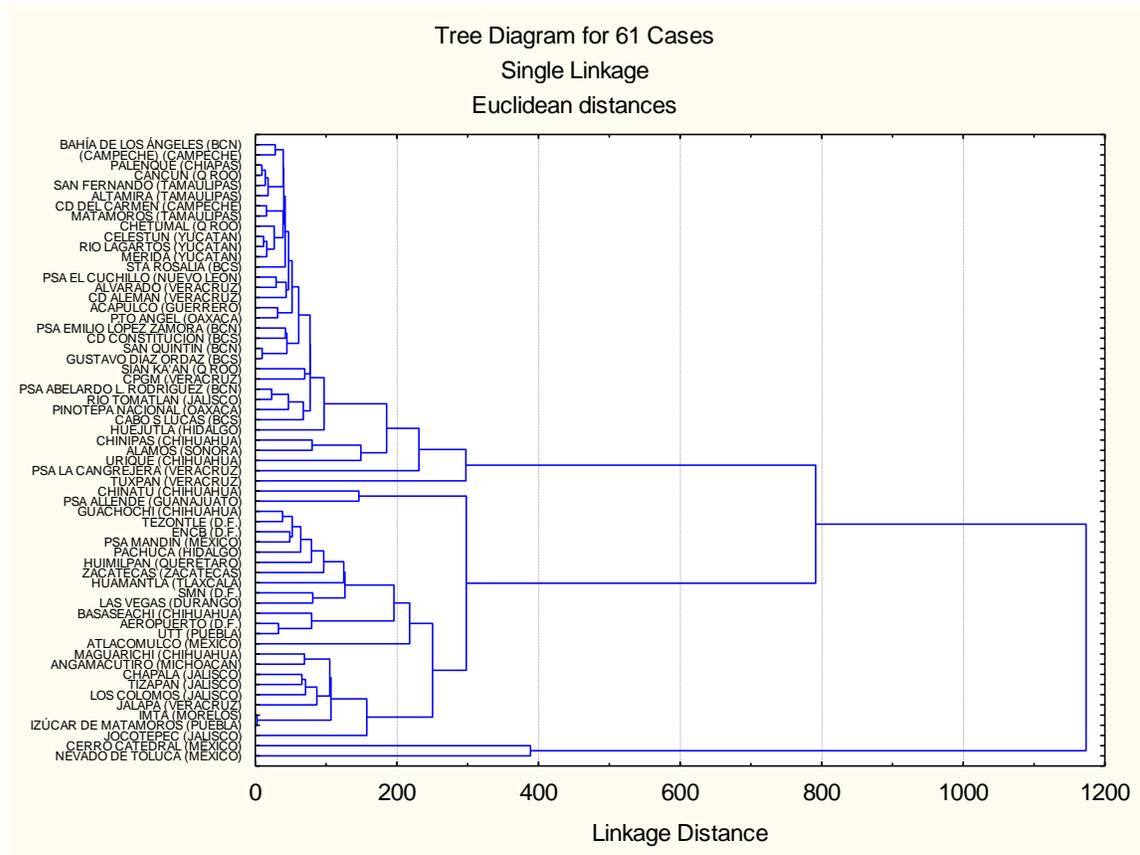


Figura 6.4.14 Distribución geográfica para la combinación 7.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS



Se Figura 6.4.15 Dendrograma para la combinación 8.

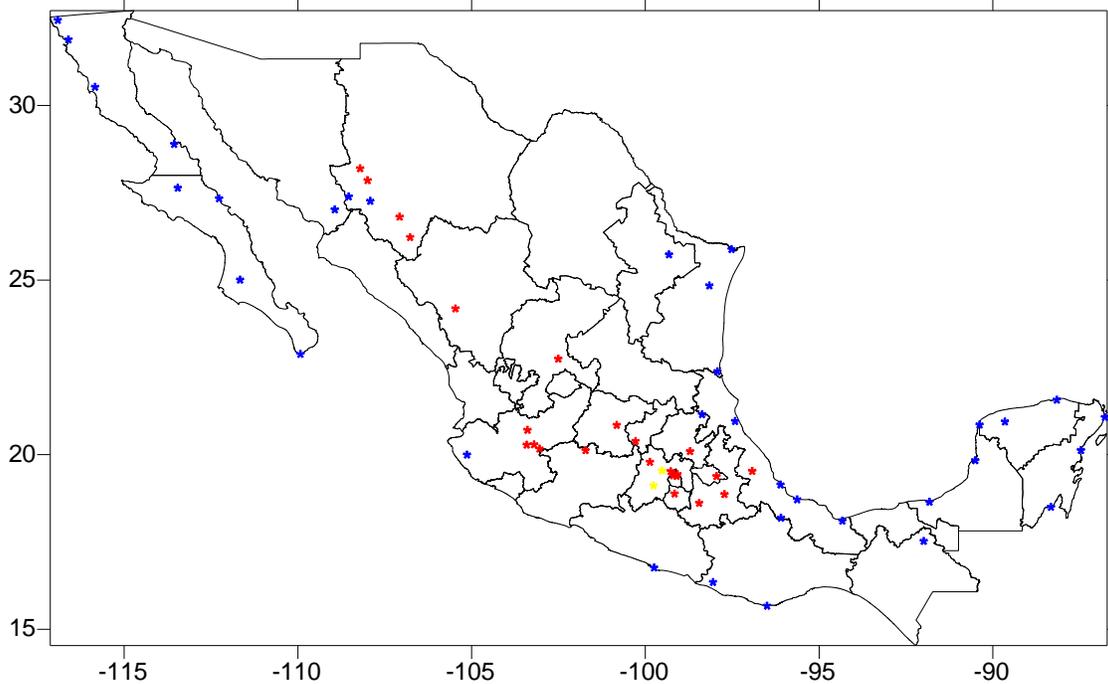


Figura 6.4.16 Distribución geográfica para la combinación 8.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

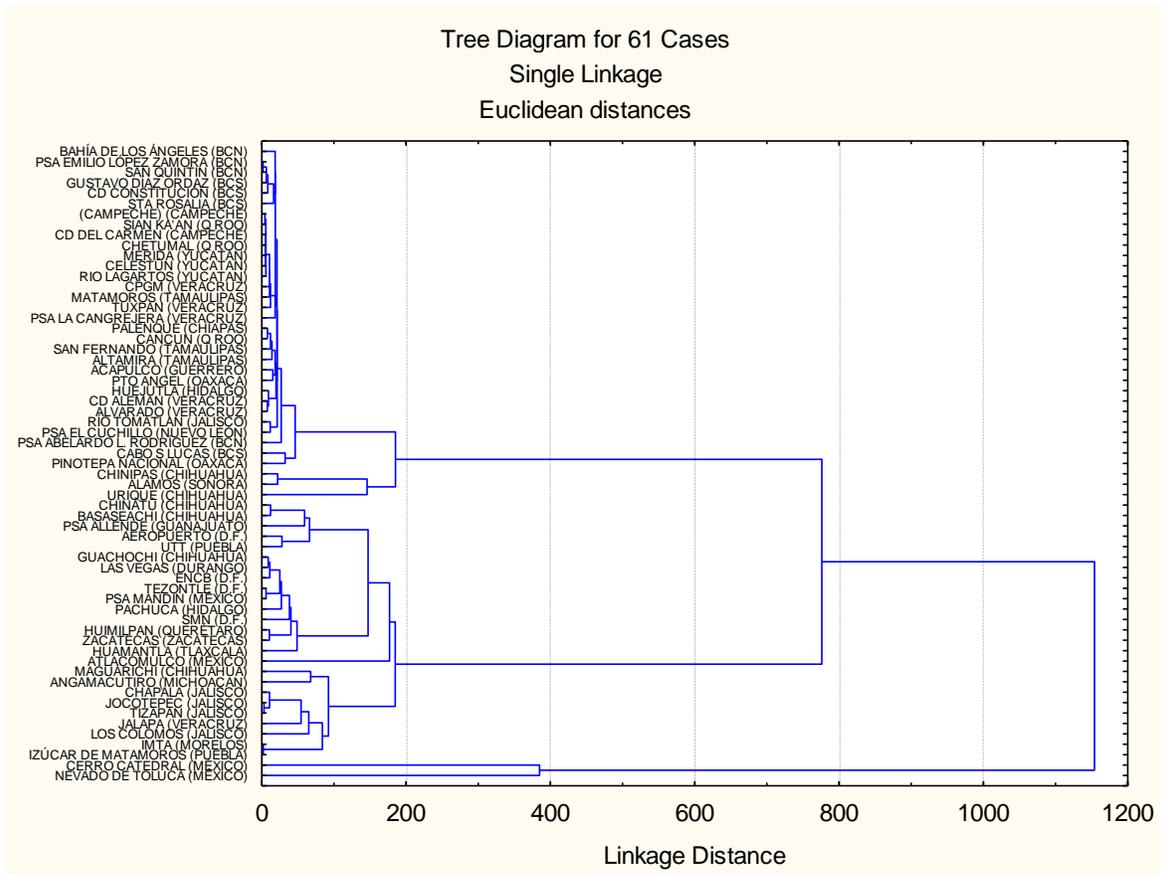


Figura 6.4.17 Dendrograma para la combinación 9.

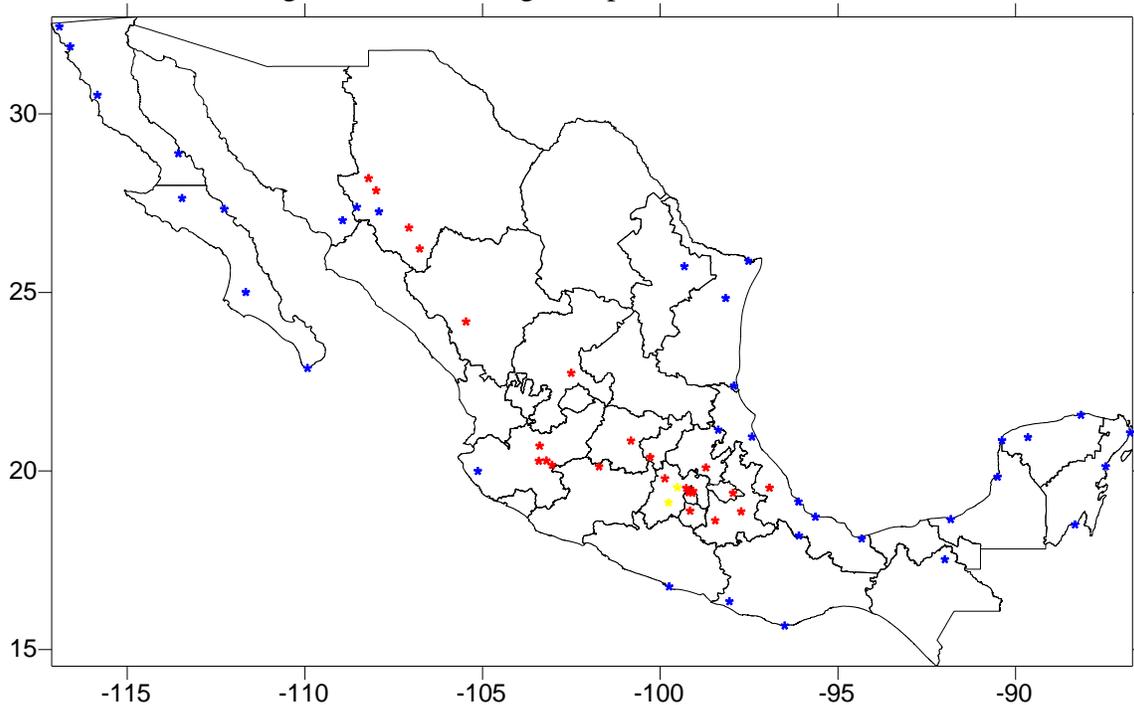
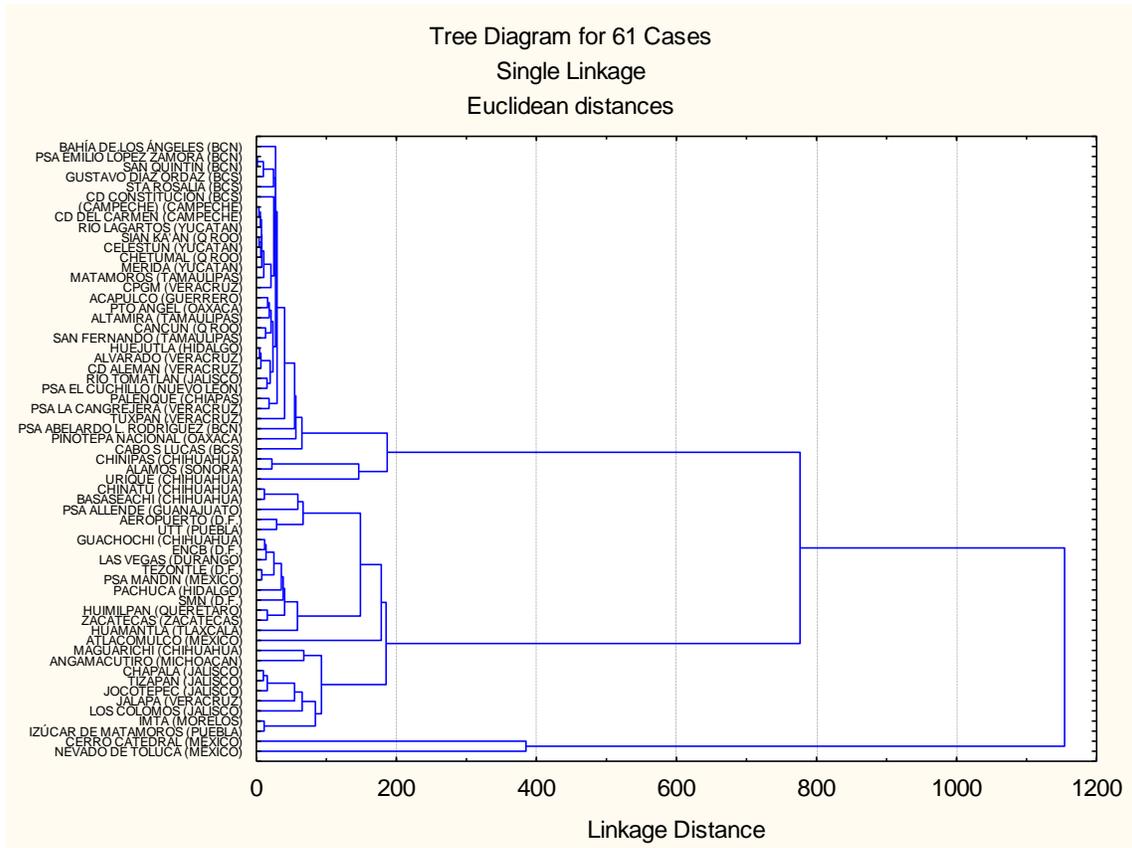


Figura 6.4.18 Distribución geográfica para la combinación 9.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



Se Figura 6.4.19 Dendograma para la combinación 10.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

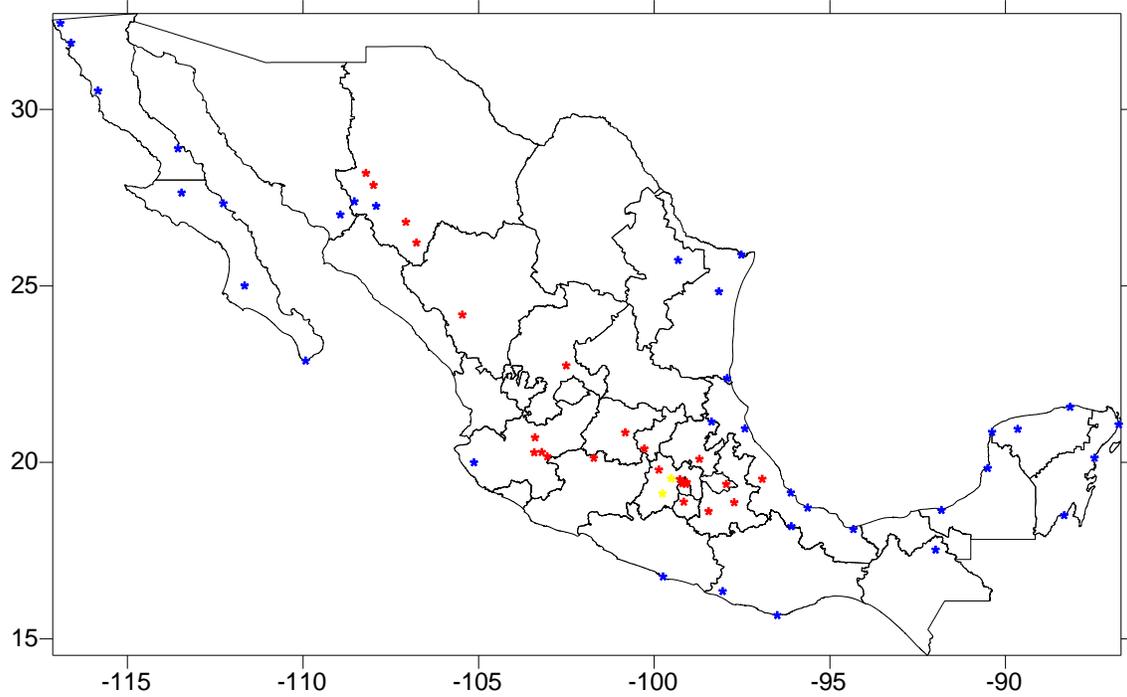


Figura 6.4.20 Distribución geográfica para la combinación 10.

Para todos los análisis se uso la misma técnica de regionalización, usando la distancia euclidiana como índice de proximidad y el ligado simple como regla de agregación, es necesario el usar distintas técnicas, índices de proximidad y distancias de agregación, por lo que para la siguiente combinación, la número 11, en la cual se encuentran como variables todas las intensidades con los diferentes periodos de retorno y duraciones por lo que también se hará el análisis de esta manera, siendo las intensidades de lluvia un dato muy importante ya que nos dice el comportamiento hidrológico de nuestro país.

En la tabla 6.4.1 se muestran las intensidades obtenidas por (Ramírez, 2011) las cuales se van a usar para hacer el análisis de regionalización.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

Tabla 6.4.1 Intensidades de la republica mexicana.

NO.	ESTACION	INTENSIDADES.					
		d30T2	d60T2	d24hT2	d30T10	d60T10	d24hT10
1	BAHÍA DE LOS ÁNGELES (BCN)	81.9	50.4	5.4	489.4	300.8	32.3
2	PSA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (BCN)	37.9	27.0	5.7	91.7	65.2	13.7
3	PSA EMILIO LÓPEZ ZAMORA (BCN)	22.8	18.0	6.0	59.6	47.0	15.8
4	SAN QUINTIN (BCN)	46.2	31.1	5.0	146.4	98.4	16.0
5	CABO S LUCAS (BCS)	2.0	2.2	3.8	11.3	12.6	21.2
6	CD CONSTITUCIÓN (BCS)	0.5	0.8	7.7	3.3	5.4	53.4
7	GUSTAVO DÍAZ ORDAZ (BCS)	19.4	14.5	3.8	121.9	91.0	23.9
8	STA ROSALIA (BCS)	46.4	33.1	7.1	278.2	198.6	42.4
9	(CAMPECHE) (CAMPECHE)	146.8	108.0	26.5	390.8	287.6	70.6
10	CD DEL CARMEN (CAMPECHE)	44.8	37.5	16.7	193.2	161.8	71.8
11	PALENQUE (CHIAPAS)	51.5	42.5	17.6	334.7	276.1	114.2
12	CHINATÚ (CHIHUAHUA)	286.1	175.6	18.7	833.6	511.6	54.5
13	CHINIPAS (CHIHUAHUA)	37.6	32.2	15.9	120.8	103.5	51.0
14	GUACHOCHI (CHIHUAHUA)	84.2	62.1	15.4	240.9	177.7	44.0
15	MAGUARICHI (CHIHUAHUA)	59.8	46.3	14.4	171.9	133.2	41.3
16	URIQUE (CHIHUAHUA)	26.4	23.5	13.7	82.5	73.3	42.7
17	BASASEACHI (CHIHUAHUA)	22.7	19.8	10.7	101.2	88.5	47.9
18	ENCB (D.F.)	55.2	42.7	13.2	163.6	126.6	39.1
19	SMN (D.F.)	290.1	181.5	21.1	641.8	401.5	46.8
20	TEZONTLE (D.F.)	102.1	72.7	15.4	275.4	196.2	41.5
21	AEROPUERTO (D.F.)	29.3	25.6	13.6	111.6	97.3	51.8
22	LAS VEGAS (DURANGO)	191.2	125.3	18.1	580.9	380.8	54.9
23	PSA ALLENDE (GUANAJUATO)	191.6	125.4	18.0	582.9	381.7	54.8
24	ACAPULCO (GUERRERO)	57.1	45.5	16.1	194.4	155.0	54.9
25	HUEJUTLA (HIDALGO)	209.9	142.3	23.9	673.7	456.6	76.7
26	PACHUCA (HIDALGO)	26.7	22.6	10.6	70.2	59.5	28.0
27	CHAPALA (JALISCO)	14.0	14.5	17.0	36.7	38.0	44.7
28	JOCOTEPEC (JALISCO)	101.5	71.1	13.9	433.6	303.8	59.4
29	RÍO TOMATLAN (JALISCO)	22.4	22.0	20.2	70.3	69.0	63.4
30	TIZAPAN (JALISCO)	36.8	30.6	13.1	124.0	103.1	44.2
31	LOS COLOMOS (JALISCO)	34.8	31.4	19.5	92.1	83.0	51.5
32	CERRO CATEDRAL (MÉXICO)	57.4	44.4	13.8	111.3	86.2	26.7
33	NEVADO DE TOLUCA (MÉXICO)	21.1	17.9	8.6	38.3	32.6	15.6
34	PSA MANDIN (MÉXICO)	43.3	36.0	15.6	101.8	84.7	36.6
35	ATLACOMULCO (MÉXICO)	160.2	108.6	18.3	441.2	299.1	50.4
36	ANGAMACUTIRO (MICHOACAN)	71.6	55.1	16.6	192.5	148.1	44.5
37	IMTA (MORELOS)	98.9	72.8	17.8	309.2	227.5	55.8
38	PSA EL CUCHILLO (NUEVO LEÓN)	89.2	65.1	15.4	430.6	314.3	74.2
39	PTO ANGEL (OAXACA)	40.0	33.9	15.9	150.3	127.5	59.9
40	PINOTEPA NACIONAL (OAXACA)	8.2	8.3	8.9	71.2	72.4	77.9
41	UTT (PUEBLA)	41.8	34.1	13.3	140.3	114.2	44.4
42	IZÚCAR DE MATAMOROS (PUEBLA)	78.4	59.9	17.5	299.4	228.8	66.7
43	SIAN KA'AN (Q ROO)	244.0	165.0	27.4	551.5	372.9	62.0
44	CHETUMAL (Q ROO)	112.3	83.9	22.0	328.7	245.5	64.5
45	CANCUN (Q ROO)	103.7	78.6	22.0	372.9	282.6	79.2
46	HUIMILPAN (QUERÉTARO)	84.4	62.3	15.5	285.4	210.6	52.3
47	ALAMOS (SONORA)	7.5	8.5	15.3	23.1	26.3	47.3
48	MATAMOROS (TAMAULIPAS)	38.1	31.3	12.6	182.3	149.6	60.4
49	ALTAMIRA (TAMAULIPAS)	140.4	103.3	25.3	353.7	260.3	63.8
50	SAN FERNANDO (TAMAULIPAS)	92.7	70.6	20.3	352.1	268.3	77.2
51	HUAMANTLA (TLAXCALA)	142.2	103.2	23.8	442.7	321.4	74.0
52	TUXPAN (VERACRUZ)	356.1	234.3	34.4	1472.5	969.0	142.3
53	PSA LA CANGREJERA (VERACRUZ)	361.9	245.9	41.8	990.3	673.0	114.5
54	CPGM (VERACRUZ)	217.7	153.5	31.0	625.7	441.3	89.0
55	CD ALEMAN (VERACRUZ)	115.1	89.0	27.3	326.2	252.1	77.3
56	ALVARADO (VERACRUZ)	171.0	126.8	32.2	398.3	295.3	74.9
57	JALAPA (VERACRUZ)	87.7	67.5	20.4	209.7	161.5	48.7
58	CELESTÚN (YUCATAN)	101.1	76.4	21.1	290.4	219.3	60.5
59	RIO LAGARTOS (YUCATAN)	83.6	66.0	22.2	264.9	209.0	70.5
60	MERIDA (YUCATAN)	96.2	73.5	21.4	261.1	199.6	58.2
61	ZACATECAS (ZACATECAS)	55.3	44.1	15.6	143.6	114.6	40.7

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

Para este nuevo análisis de regionalización, ya no se usara el mapa de la republica mexicana con división política, se emplearan 2 mapas de la republica mexicana, uno de ellos contiene todas las sub cuencas del país figura 6.4.21, y el otro todas las sub-regiones hidrológicas del país figura 6.4.22, esto para tener una mejor agrupación debido a que hablamos de zonas delimitadas como lo son las cuencas o subregiones hidrológicas las cuales tienen características particulares entre cada una de ellas y no así la división política del país.

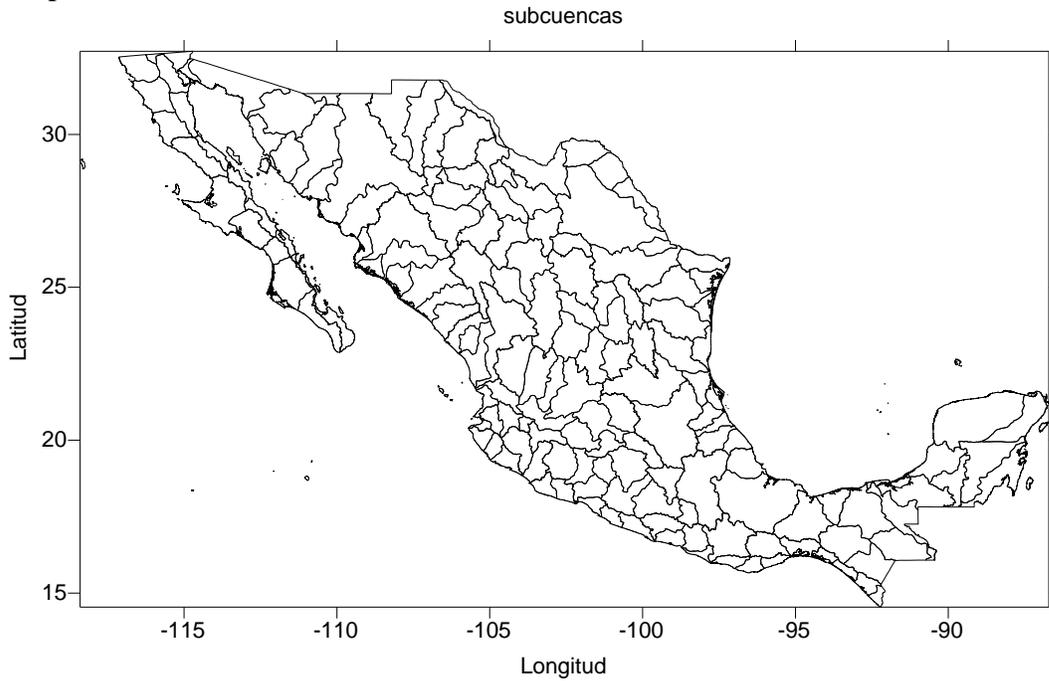


Figura 6.4.21 Mapa de la Republica Mexicana con división por subcuencas del país.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

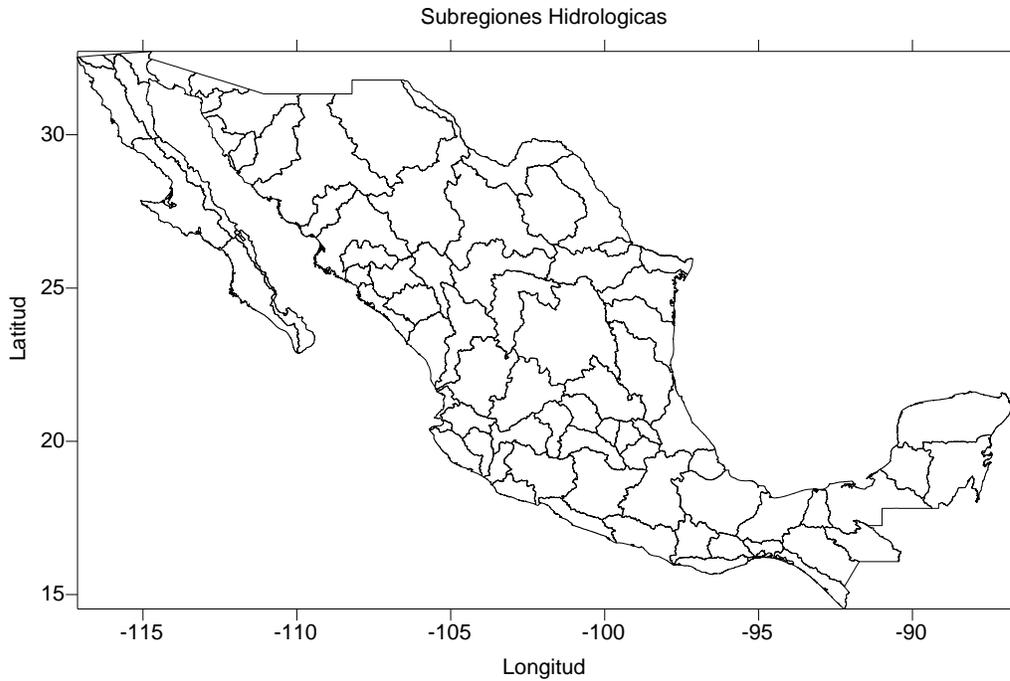


Figura 6.4.22 Mapa de la Republica Mexicana con división por Subregiones Hidrológicas.

Para las variables de intensidad y su análisis se usaran las técnicas de regionalización de la tabla 6.4.2

Tabla 6.4.2 Técnicas de regionalización.

INDICES DE PROXIMIDAD	REGLAS DE AGREGACION
Euclidian Distance	Single Linkage
Squared Euclidian Distance	Complete Linkage
city-block Manhattan	Ward's Method
Tchebychev Distance	
Pearson r Distance	

Comenzamos con la primera regla de agregación “single linkage” o ligado simple, combinando con el índice de proximidad para así poder ver la diferencia entre las agrupaciones al tener diferentes criterios de agregación.

A continuación se muestran los dendogramas para la regla de agregacion del ligado simple “single linkage” figura 6.4.23 a 6.4.27

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

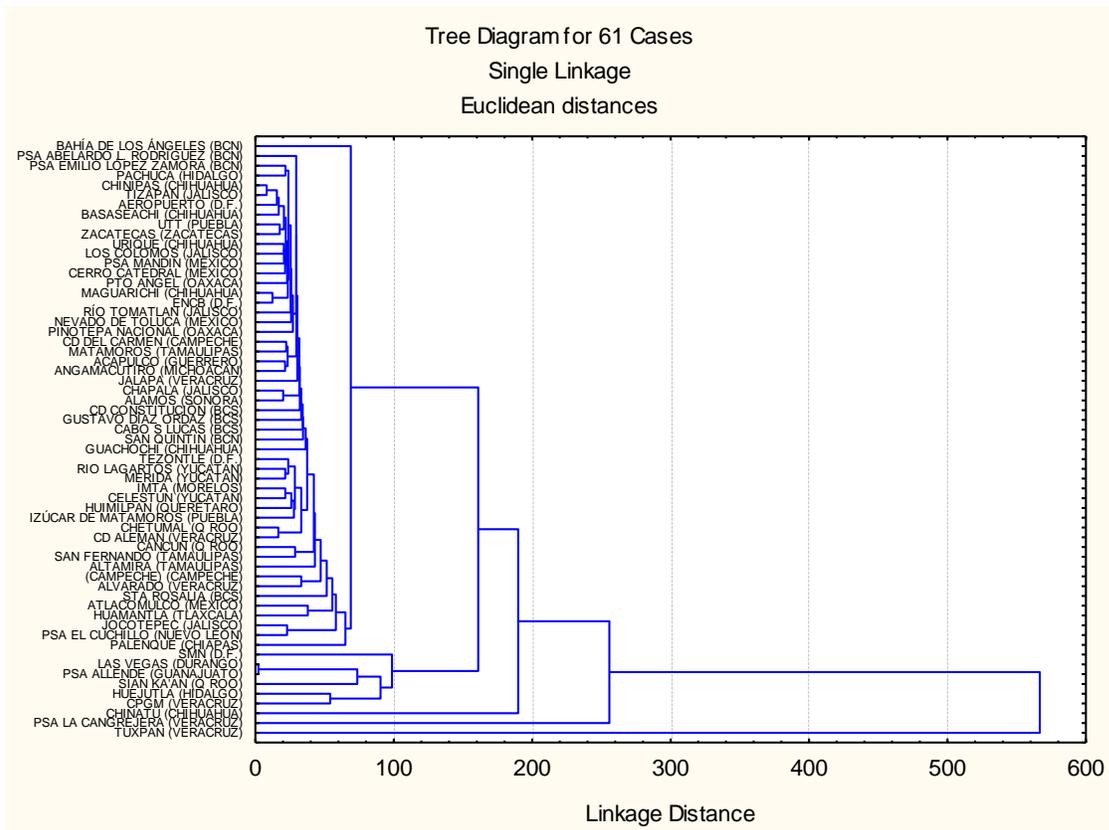


Figura 6.4.23 Dendrograma (Ligado simple, Distancia euclidiana)

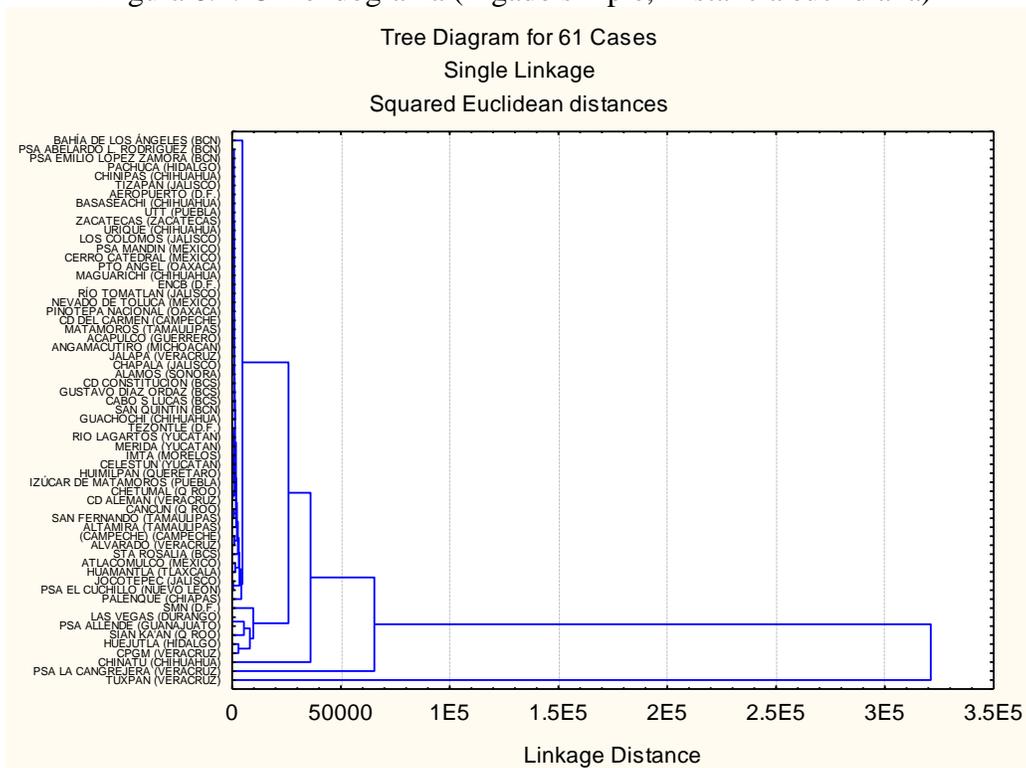


Figura 6.4.24 Dendrograma (Ligado simple, Distancia euclidiana al cuadrado)

# CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

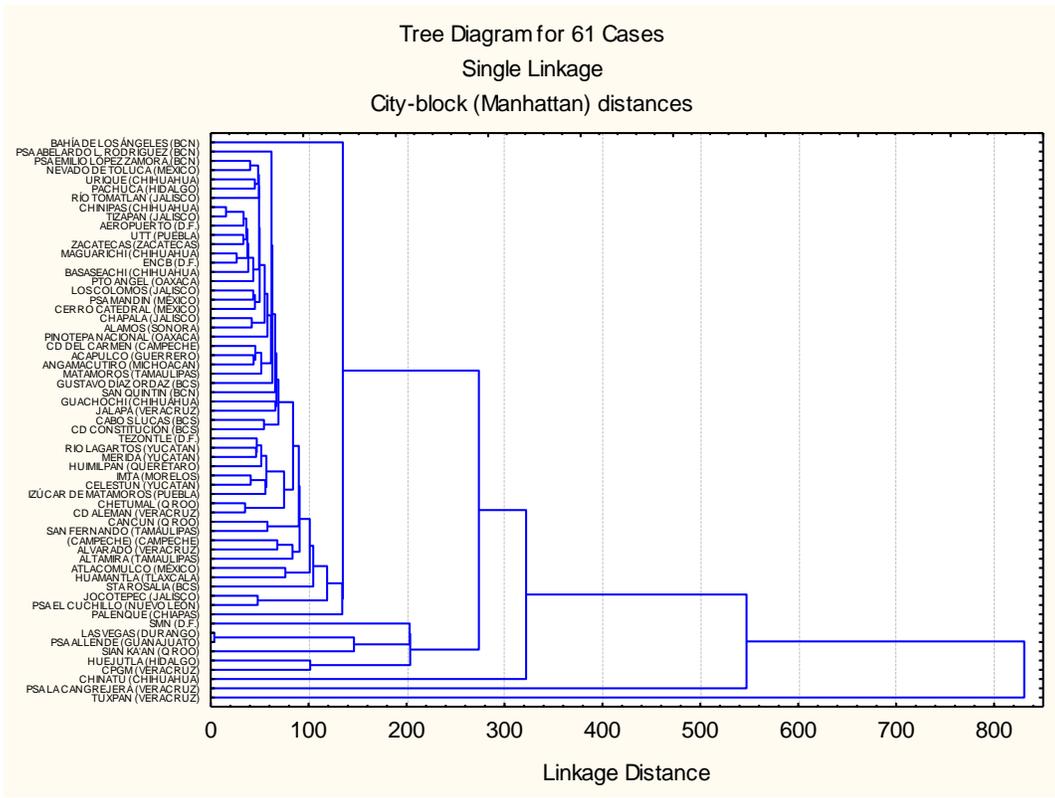
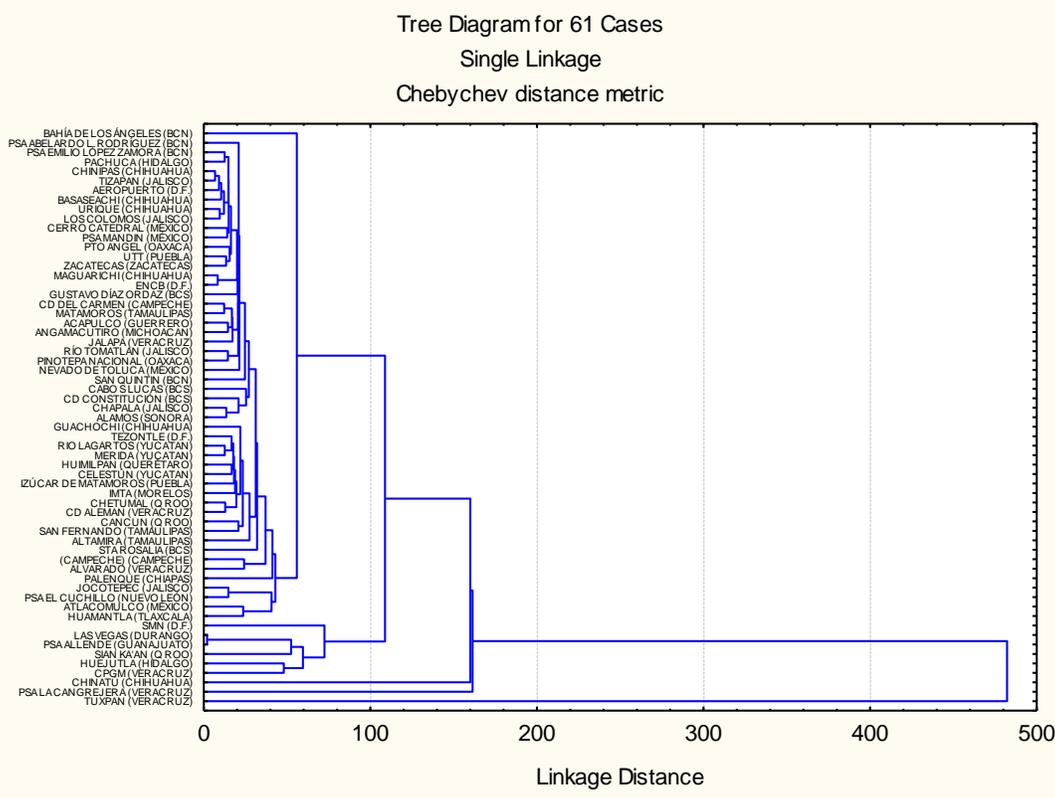


Figura 6.4.25 Dendrograma (Ligado simple, city-block manhattan distance)



## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

Figura 6.4.26 Dendograma (Ligado simple, Tchebychev distance)

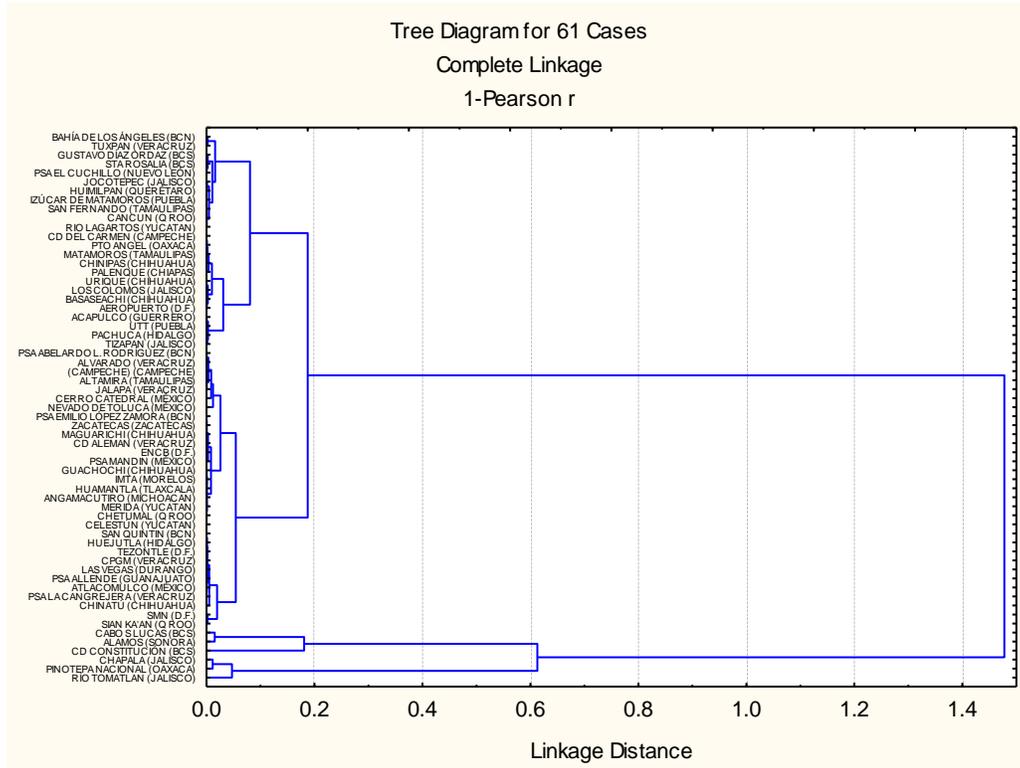


Figura 6.4.27 Dendograma (Ligado simple ,Pearson r distance)

Comparando éstos dendogramas entre sí, podemos darnos cuenta que la manera en la que se van agrupando son diferentes, pero finalmente continúan los mismos 3 grupos. A excepción de la figura 6.4.27, en la cual se forma una agrupación un poco distinta, en todos los análisis se aprecia que la mayor parte de las EMAs están contenidas en un grupo. Las figuras 6.4.28 son para el dendograma que se hizo con la regla de agregación “ligado simple” y el índice de proximidad “distancia euclidiana” en las cuales se muestra la distribución geográfica de los grupos formados. Ésta agrupación es la misma para los dendogramas de las figuras 6.4.23 a 6.4.26.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

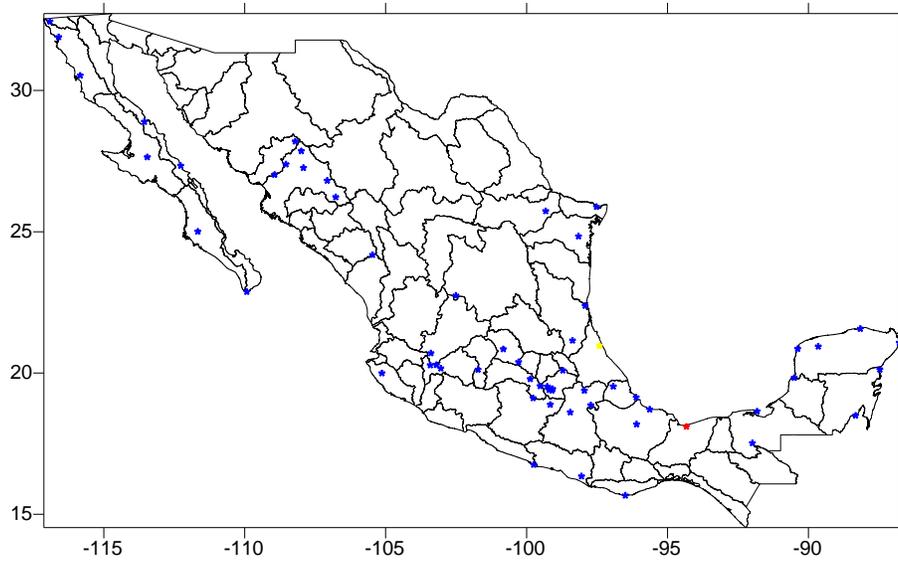


Figura 6.4.28 Mapa con división por subregiones hidrológicas para dendrograma (Single linkage, Euclidean distance)

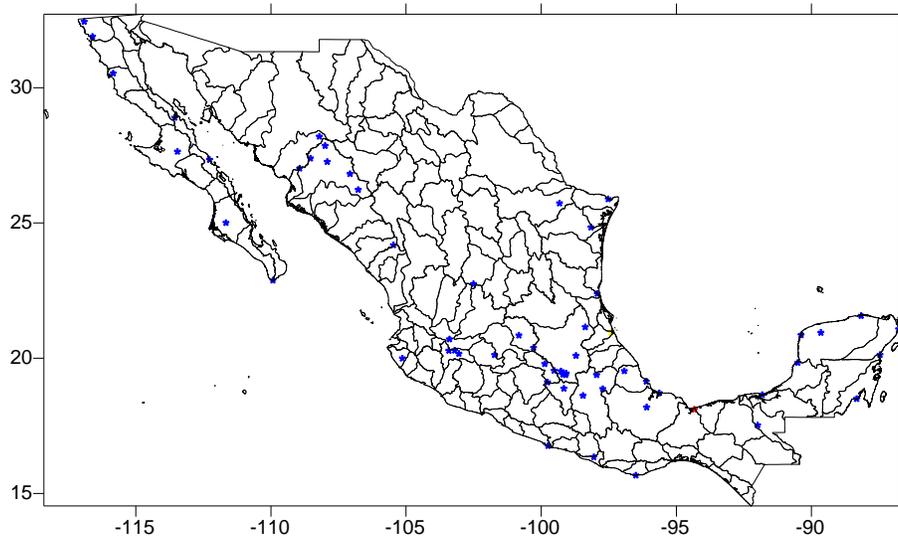


Figura 6.4.29 Mapa con división por subcuencas para dendrograma (Single linkage, Euclidean distance)

Para el dendrograma de la figura 6.4.27 se muestra la agrupación formada en las siguientes imágenes. Figura 6.4.29 y 6.4.30

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

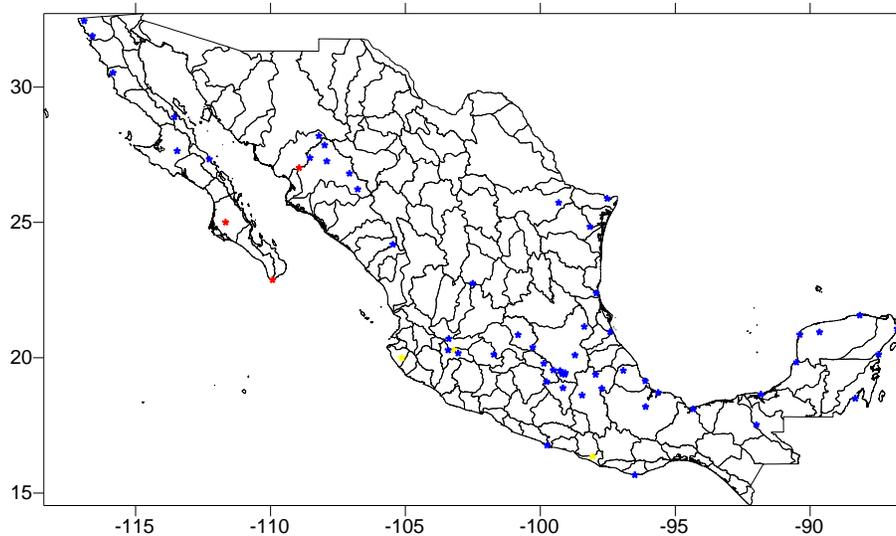


Figura 6.4.29 Mapa con división por subcuencas para dendograma (single linkage, Pearson r distance)

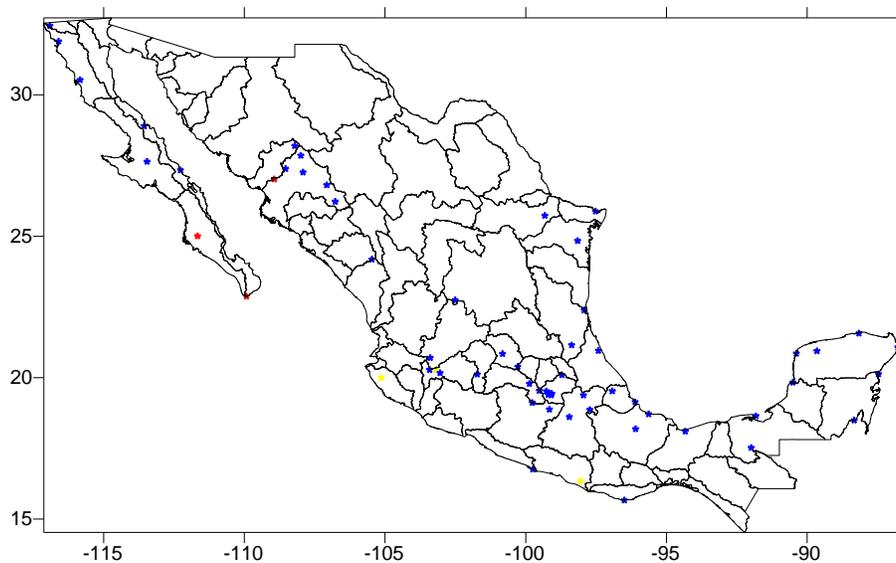


Figura 6.4.30 Mapa con división por subregiones hidrológicas para dendograma (single linkage, Pearson r distance)

Como la gran mayoría de estaciones están contenidas en un solo grupo, esta regionalización no es la correcta, ya que esto nos dice que toda la republica mexicana o gran parte de ella tiene el mismo comportamiento en cuanto a intensidades de lluvia, esto es algo que sabemos que no es cierto, por lo que es necesario seguir analizando con otros métodos y técnicas de regionalización.

Para las siguientes combinaciones de técnicas de regionalización, se muestran los dendogramas que tuvieron una buena regionalización, con los índices de proximidad que se ha estado trabajando. Tabla 6.4.2

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

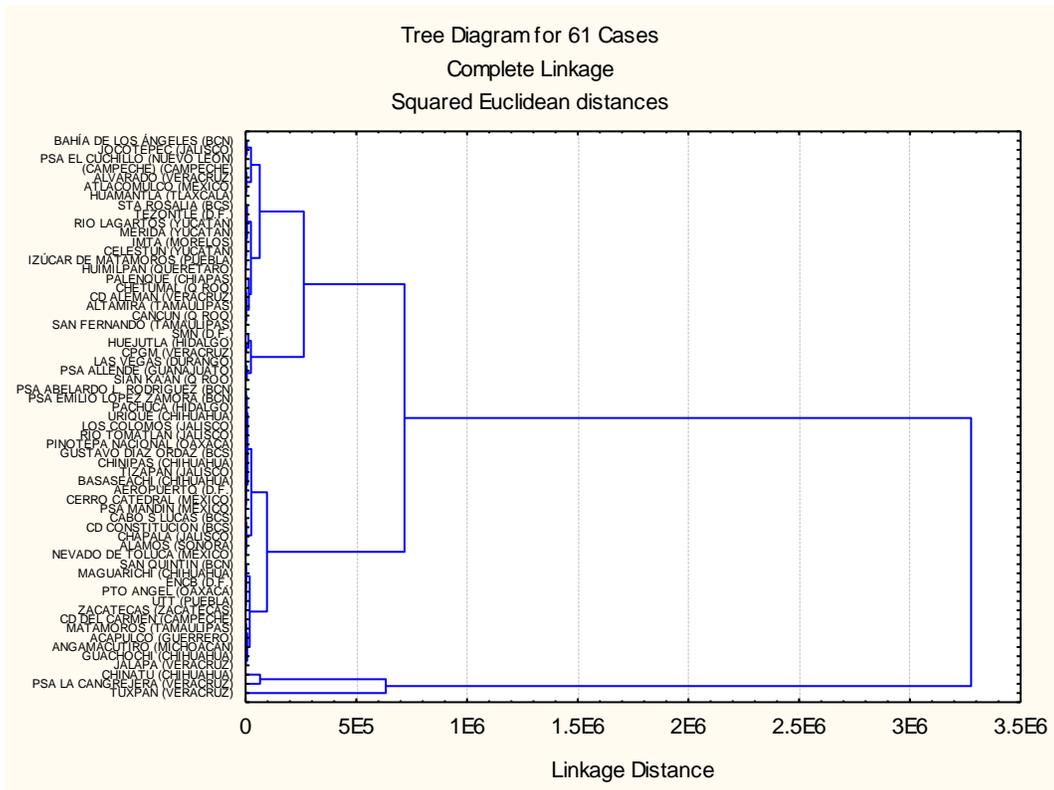


Figura 6.4.31 Dendrograma (complete linkage, Scuaered Euclidean distance)

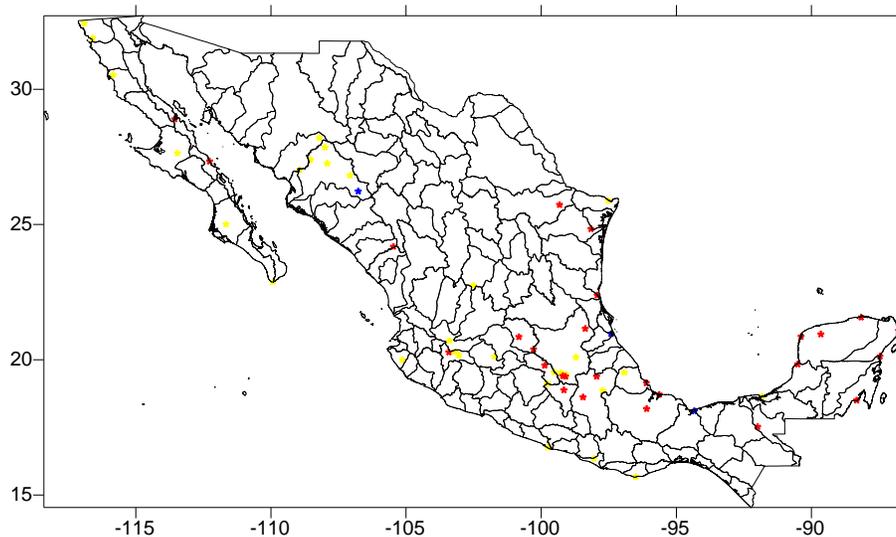


Figura 6.4.32 Agrupación (complete linkage, Scuaered Euclidean distance) subcuencas

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS

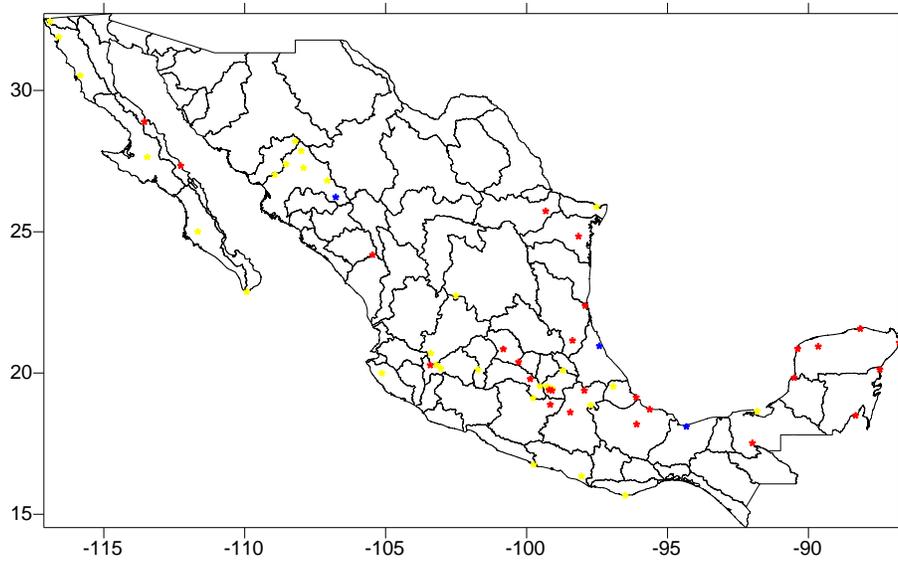


Figura 6.4.33 Agrupación (complete linkage, Squared Euclidean distance) subregiones hidrológicas

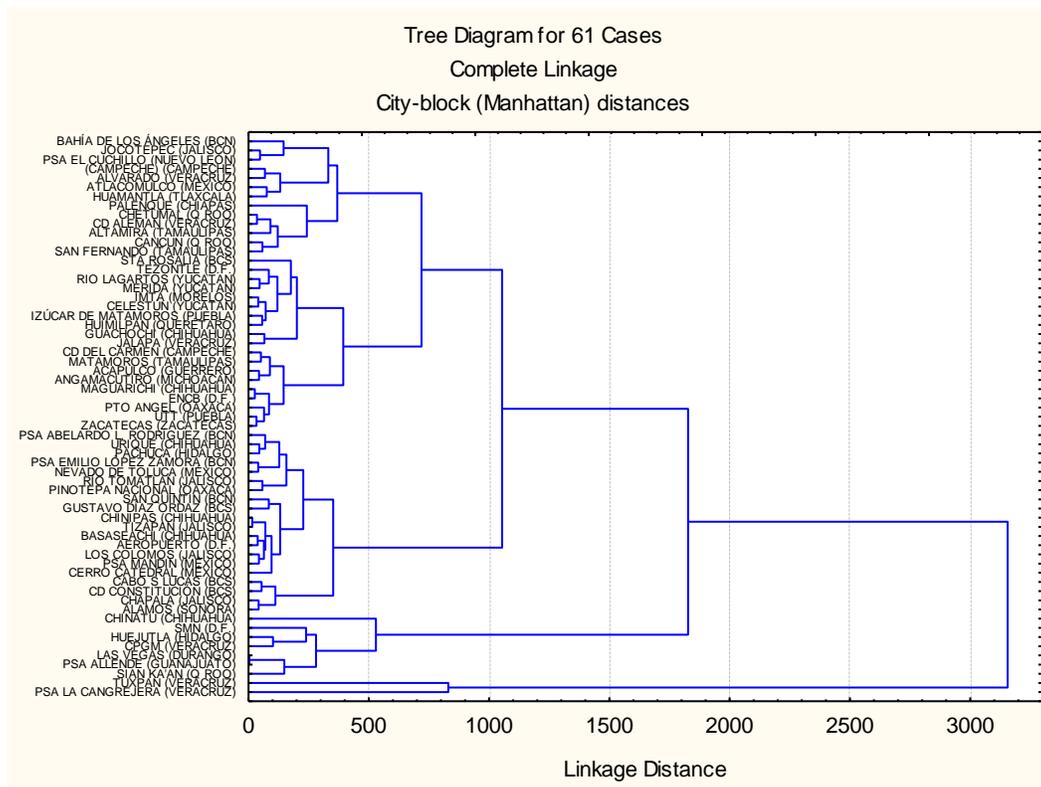


Figura 6.4.34 Dendrograma (complete linkage, city block manhattan)

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

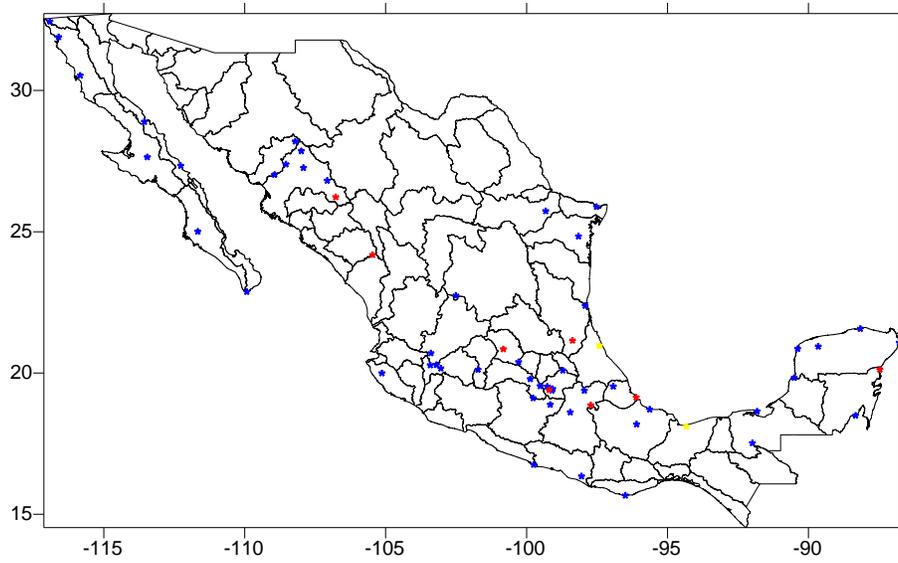


Figura 6.4.35 Agrupación (linkage, city block manhattan) subregiones hidrologicas.

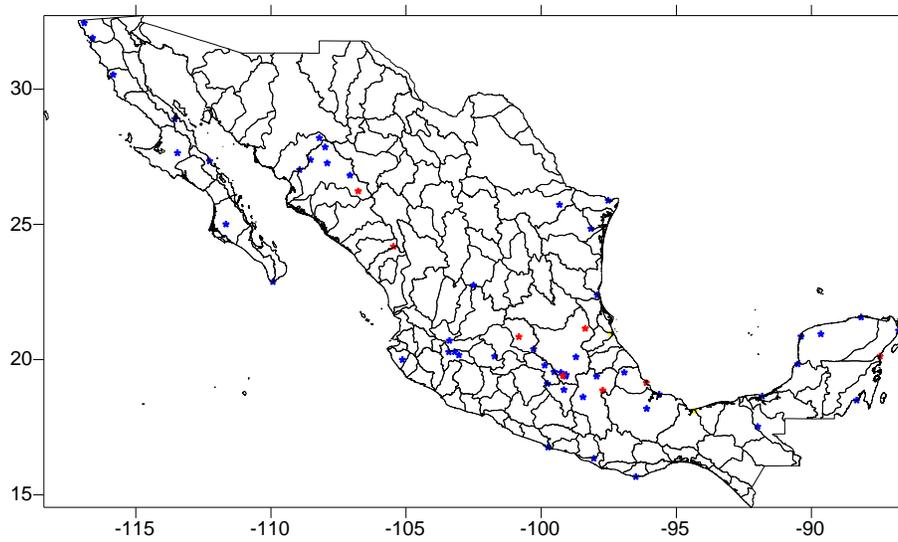


Figura 6.4.36 Agrupación (linkage, city block manhattan). subcuencas

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

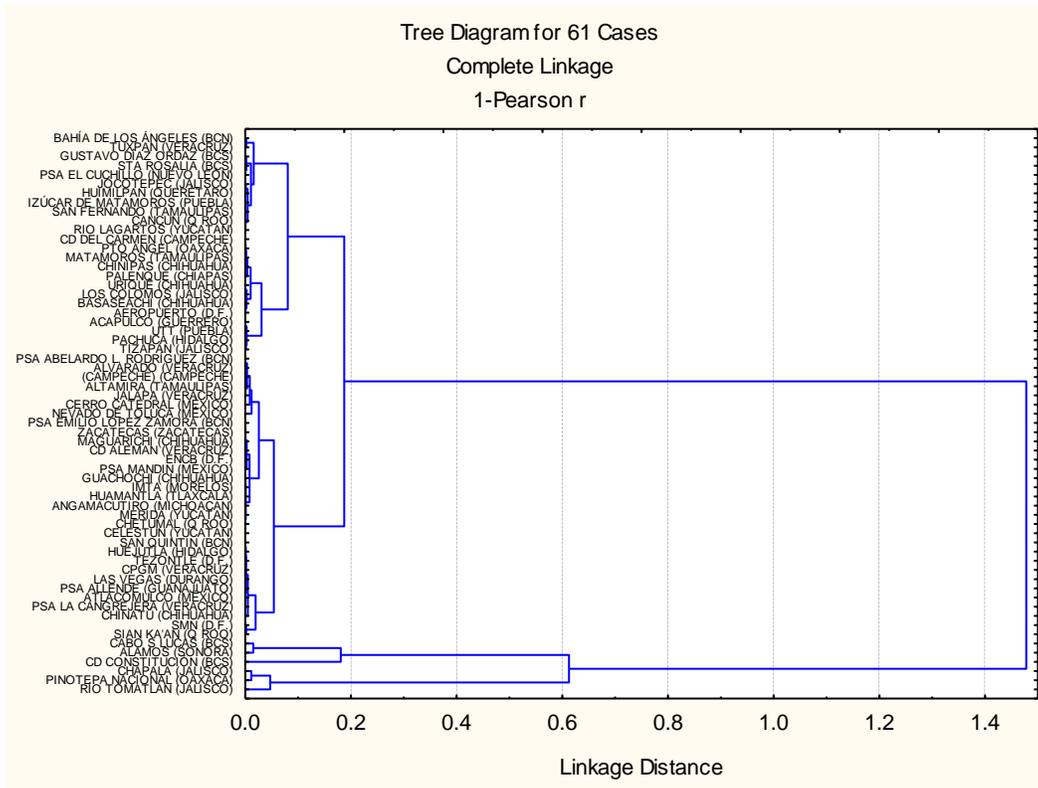


Figura 6.4.37 Dendrograma (complete linkage, pearson r)

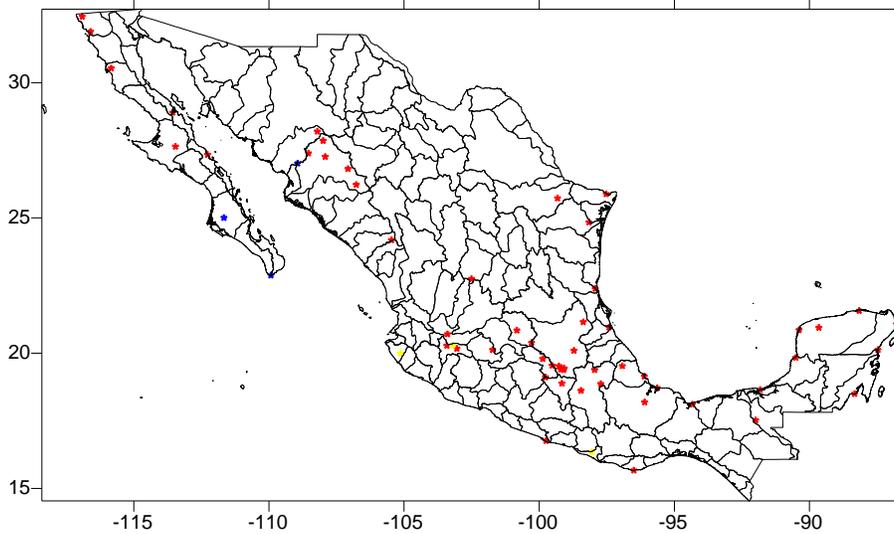


Figura 6.4.38 Agrupación (complete linkage, pearson r) subcuencas

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

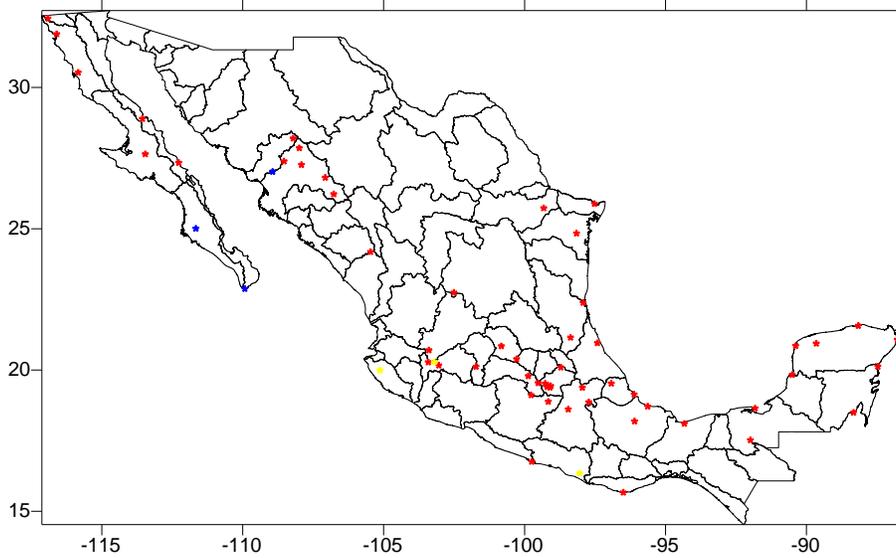


Figura 6.4.39 Agrupación (complete linkage, pearson r) subregiones hidrologicas

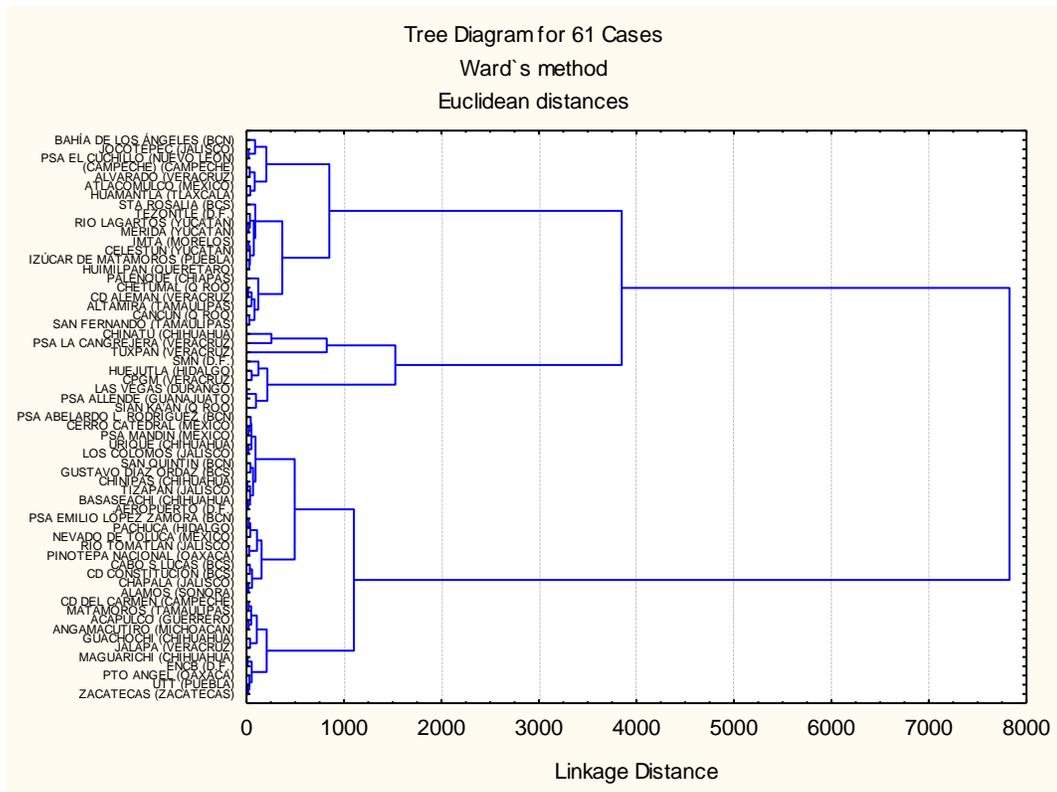


Figura 6.4.40 Dendrograma (ward's method, Euclidean distance)

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

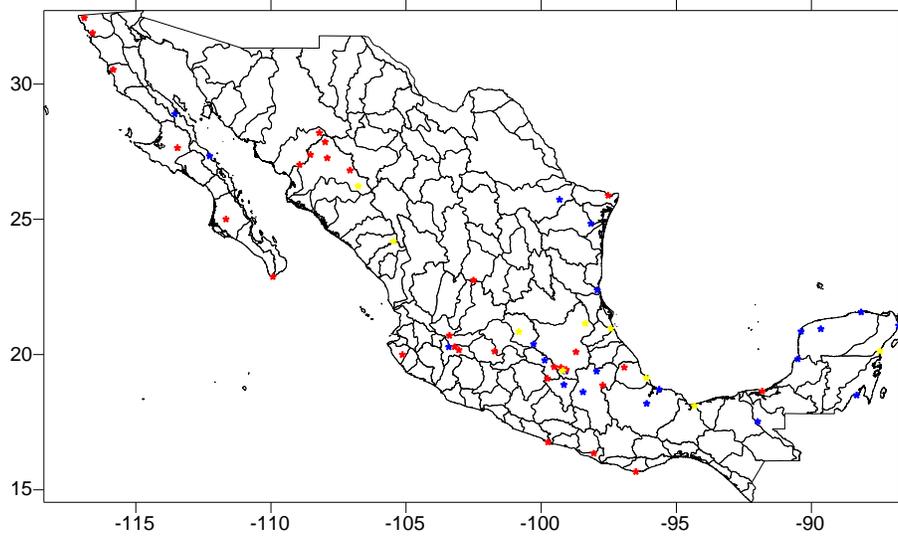


Figura 6.4.41 Agrupación (Ward's method, Euclidean distance) subcuencas

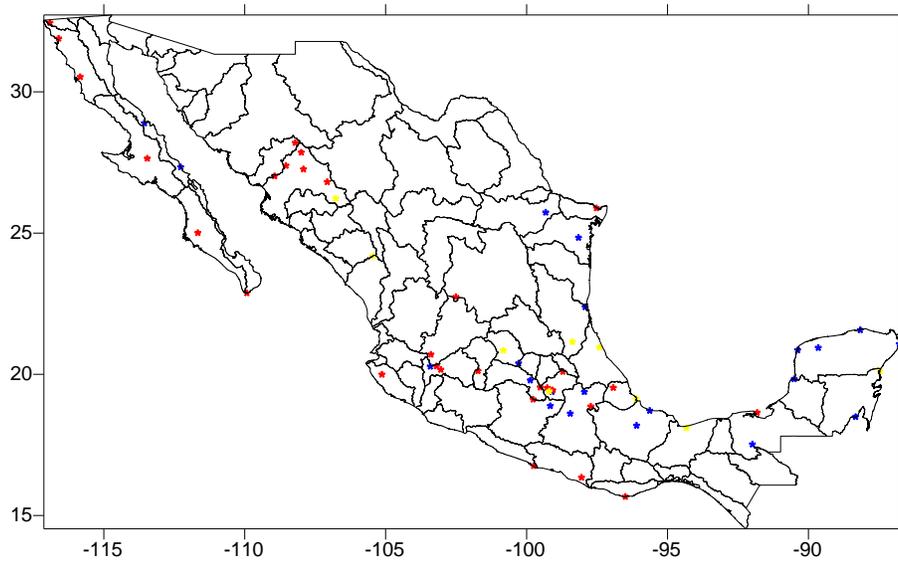


Figura 6.4.42 Agrupación (Ward's method, Euclidean distance) subregiones hidrológicas.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

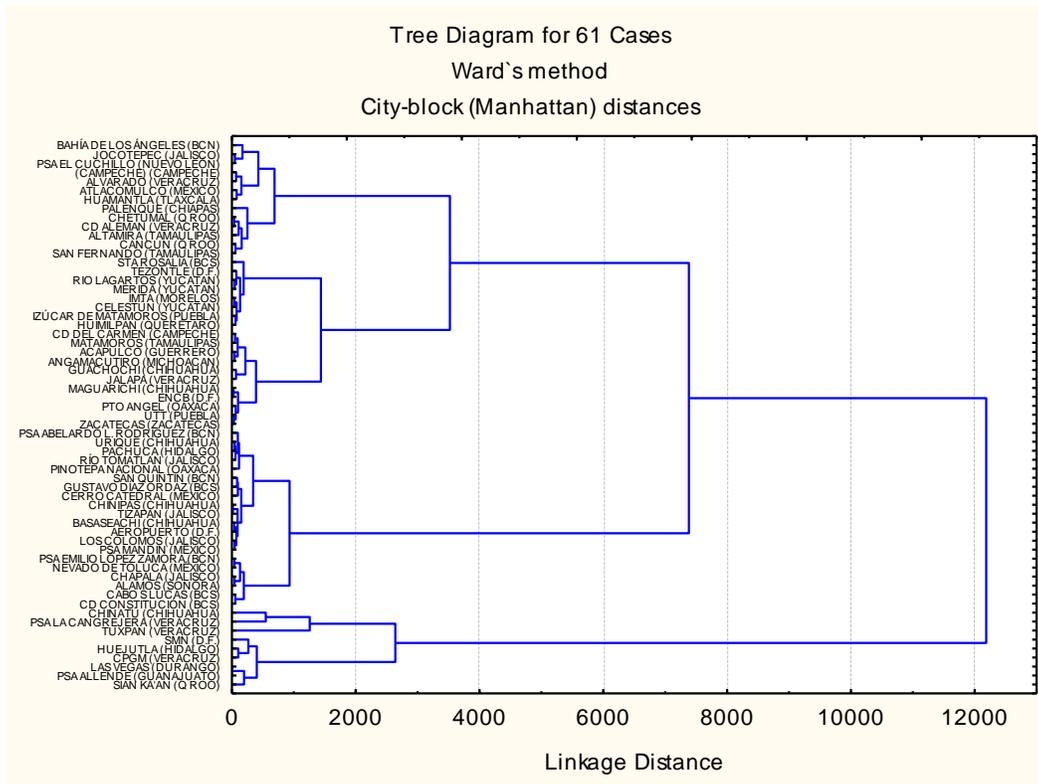


Figura 6.4.43 Dendrograma (Ward's method, city-blok Manhattan)

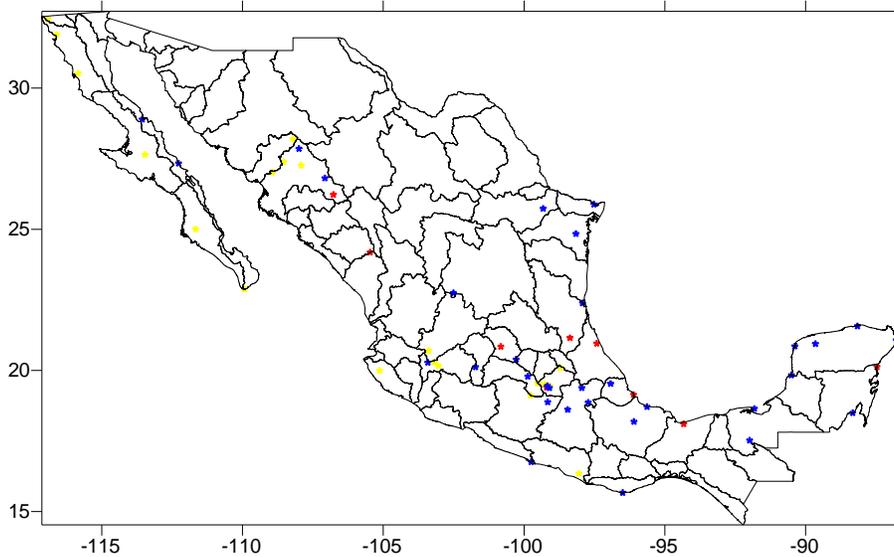


Figura 6.4.44 Agrupación (Ward's method, city-blok Manhattan) subregiones hidrologicas

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

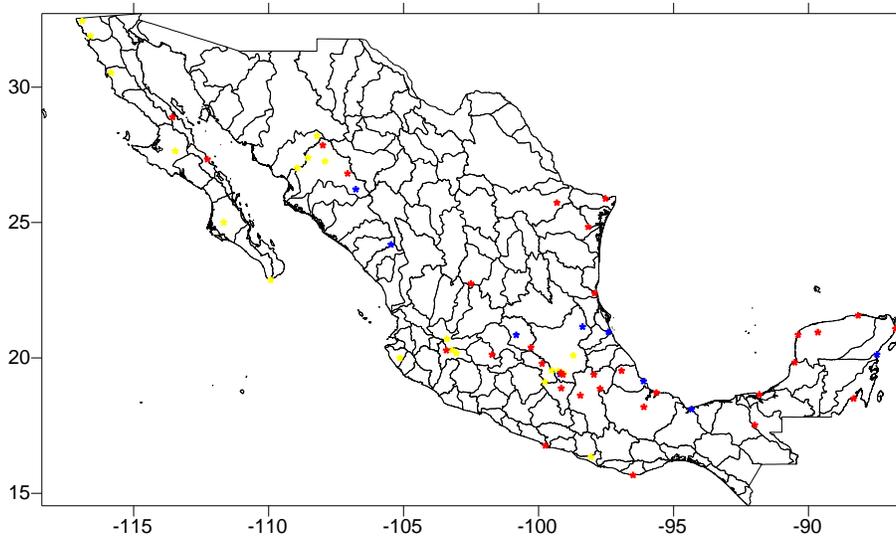


Figura 6.4.45 Agrupación (Ward's method, city-block Manhattan) subcuencas

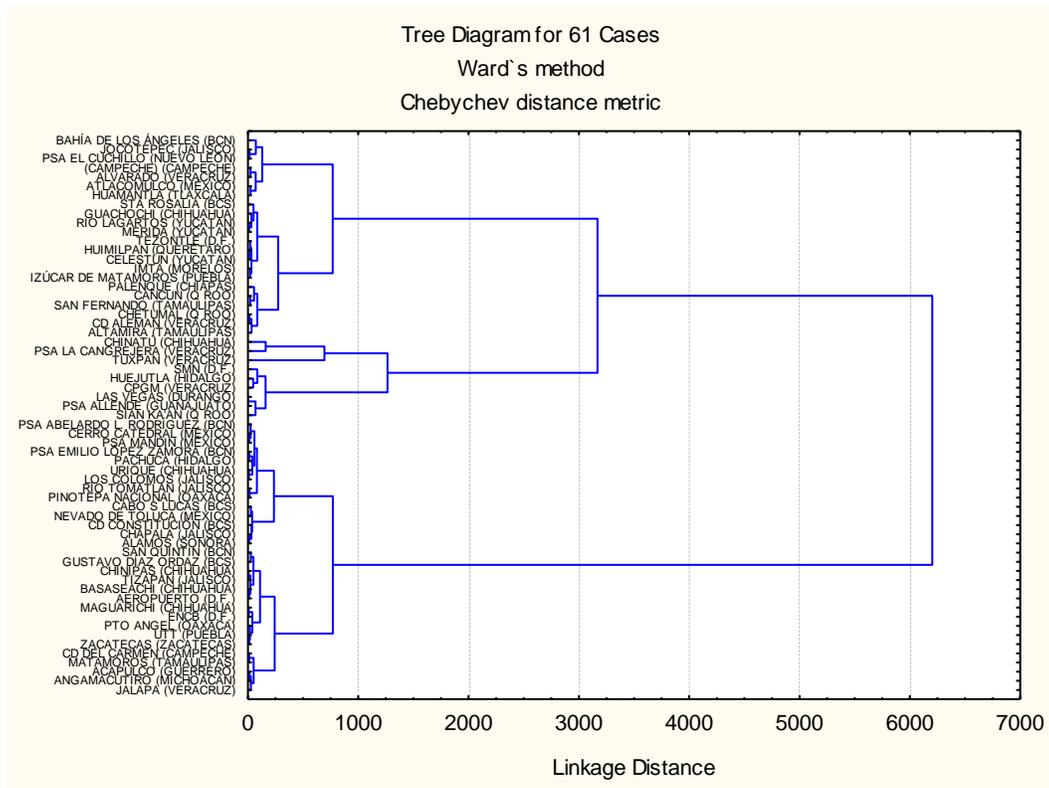


Figura 6.4.46 Dendrograma (Ward's method, Tchebychev distance)

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

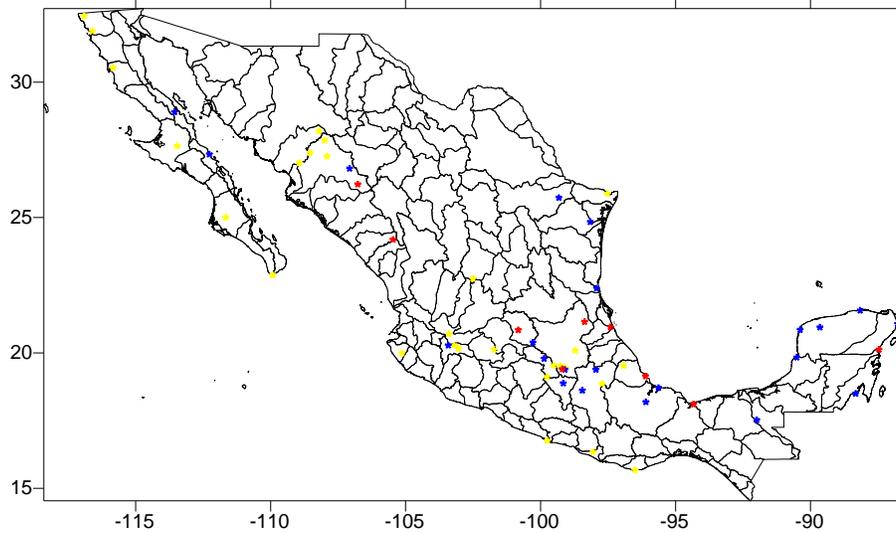


Figura 6.4.47 Agrupación (Ward's method, Tchebychev distance) subcuencas

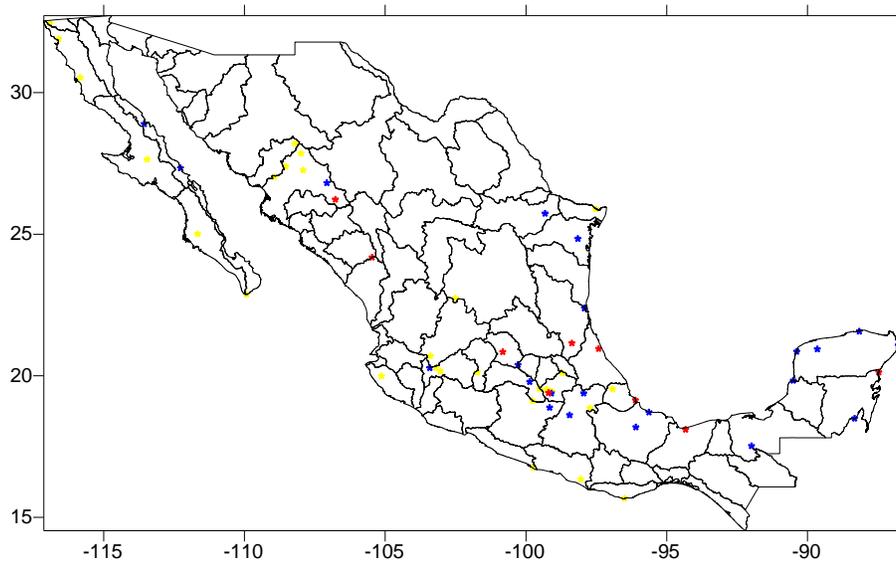


Figura 6.4.48 Agrupación (Ward's method, Tchebychev distance) subregiones hidrológicas.

De todos los Dendograma y mapas de regionalización, en los que se usó el método Ward como regla de agregación, se presentó una agrupación similar, la cual tiene como característica principal la formación de subregiones con comportamientos similares a pesar de que no son contiguas. Especialmente en el que se usó el índice de proximidad “city-block Manhattan” y “Tchebychev distance” se aprecian mejor las características mencionadas anteriormente de la agrupación, Por lo que son las agrupaciones finalistas en la selección de una regionalización óptima, más adelante se compararan entre ellas para seleccionar la regionalización óptima.

### CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

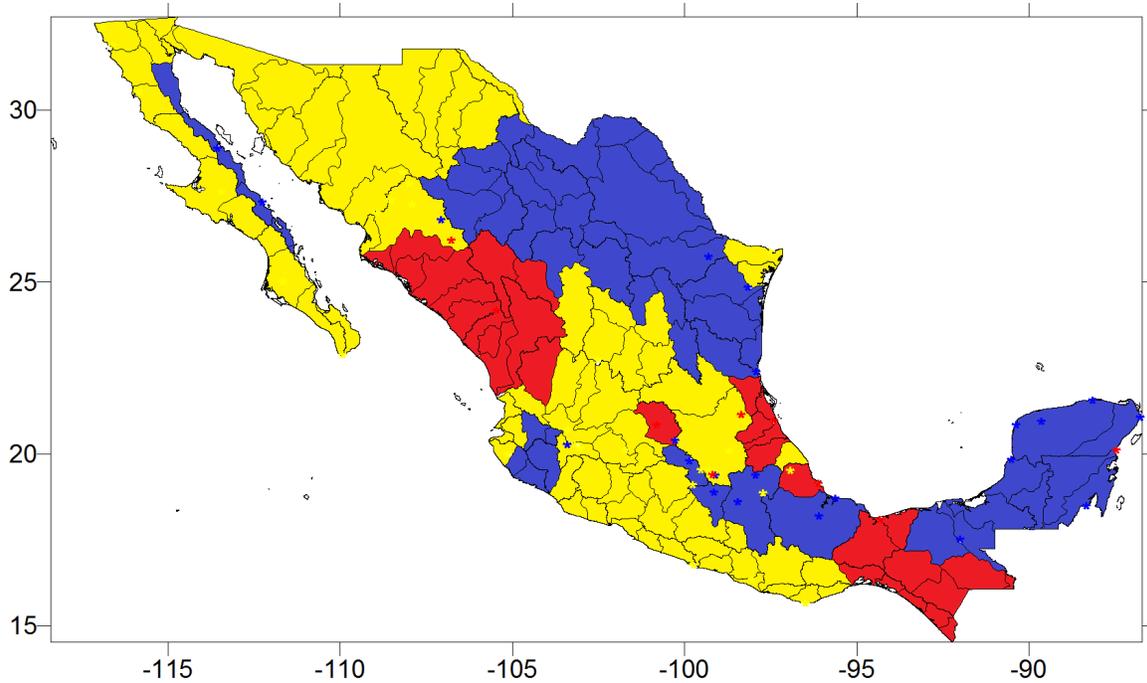


Figura 6.4.49 Agrupación de las intensidades por el método ward's usando la distancia de agregación chebychev distance metric. Subcuencas.

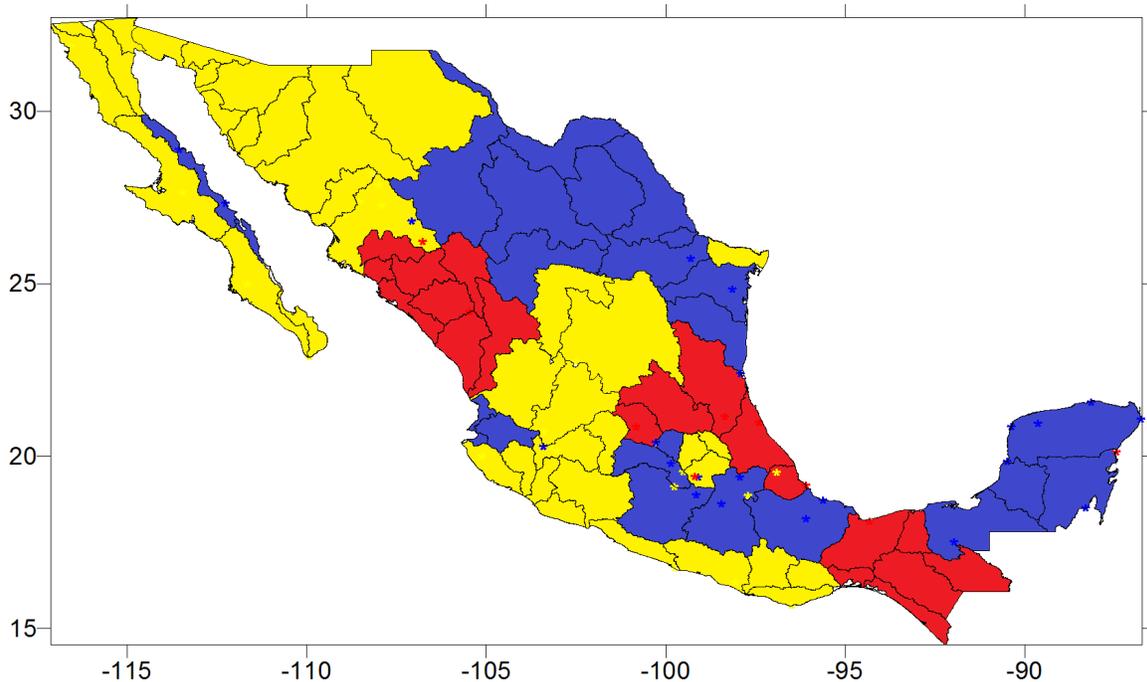


Figura 6.4.50 Agrupación de las intensidades por el método ward's usando la distancia de agregación chebychev distance metric. Subregiones hidrológicas

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

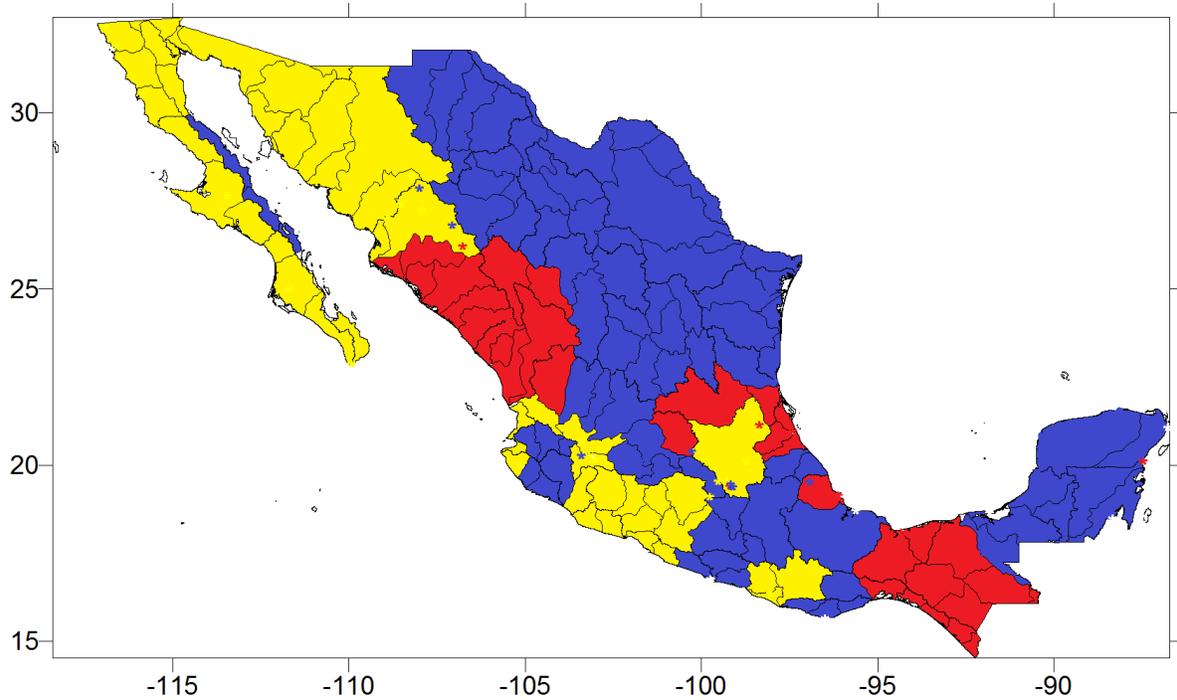


Figura 6.4.51 Agrupación de las intensidades por el método ward's usando la distancia de agregación Manhattan. Subcuencas

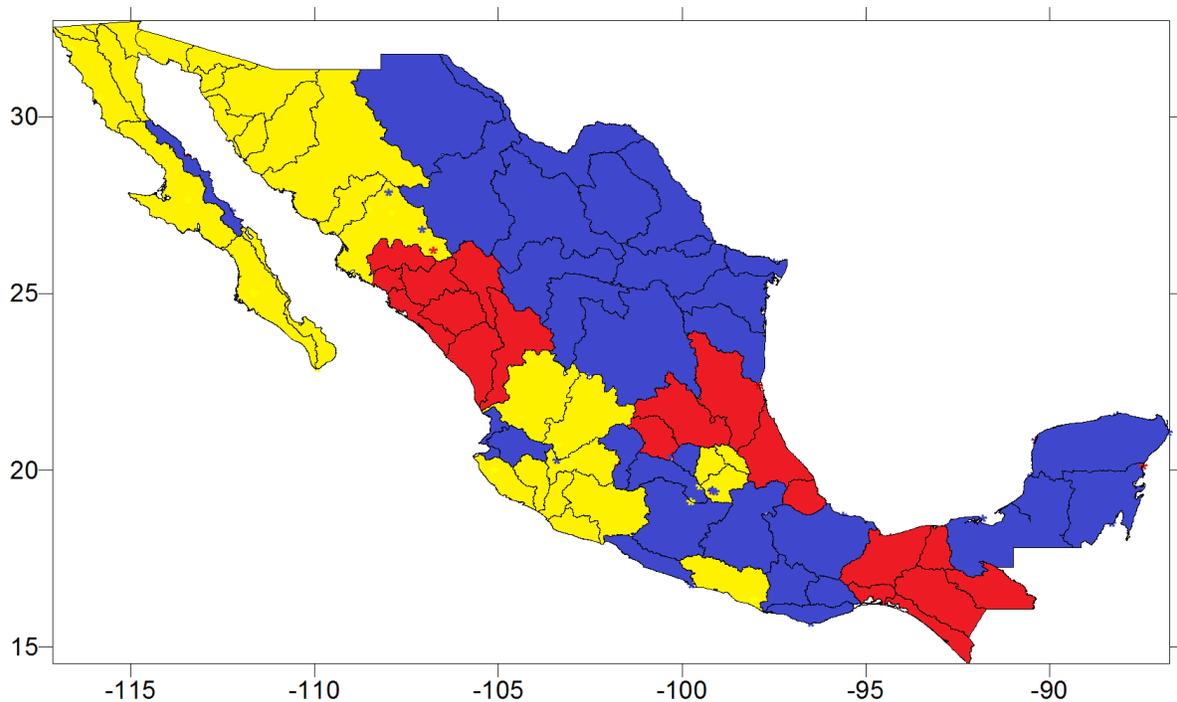


Figura 6.4.52 Agrupación de las intensidades por el método ward's usando la distancia de agregación Manhattan. Subregiones hidrológicas

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

Al observar los mapas obtenidos con la regla de agregación (método Ward) y los 2 índices de proximidad City-block y Tchebychev se aprecia una gran similitud en el comportamiento de agrupación que se forma al utilizar cualquiera de los 2 índices, son diferencias muy pequeñas las que se presentan al comparar estos 2 mapas, como por ejemplo en la parte central del país y la costa del pacífico.

Como los datos con los que se obtuvo la regionalización son datos hidrológicos, el usar un mapa con subregiones hidrológicas es una buena opción, ya que una región hidrológica tiene un comportamiento característico, y si agrupamos un número de subregiones se puede concluir que estas tienen un comportamiento similar entre ellas, a diferencia de las subcuencas, las cuales están delimitadas por parte-aguas. Otra de las ventajas es que el mapa de subregiones hidrológicas no tiene una división tan detallada como la de subcuencas, por lo que es más fácil el manejar e interpretar las gráficas. Por lo que de ahora en adelante trabajaremos únicamente con el mapa de subregiones hidrológicas. Y finalmente es necesario escoger uno de los dos índices de proximidad para obtener una regionalización finalista, la cual se usará en los siguientes capítulos para analizar el comportamiento de la lluvia ocasionada por huracanes.

### **7. REGIONALIZACIÓN ÓPTIMA.**

#### **7.1 Selección de regionalización óptima.**

Se tienen los 2 mapas finalistas con las regiones que mostraron una mejor agrupación, Figura 6.4.50 y 6.4.52. Haciendo una comparativa de estos mapas con el mapa de riesgo de inundaciones en México, publicado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres. (CENAPRED) Figura 7.1.1 Observamos zonas que se agrupan de igual manera, tal es el caso de la zona marcada en color rojo que abarca parte de Sinaloa y Durango, así como parte de Veracruz y Chiapas, los cuales se muestran como una zona de con un gran riesgo de inundación. Aunque los mapas finalistas son muy parecidos, la agrupación de la figura 6.4.52 “Agrupación de las intensidades por el método Ward usando el índice de proximidad Tchebychev distance (Manhattan), Subregiones hidrológicas” muestra una agrupación con mayores similitudes con el mapa de riesgo de inundaciones del CENAPRED. Con la ayuda de este mapa, se afirma y comprueba que la regionalización mencionada anteriormente es la óptima, y la que mejor se ajusta a lo publicado por CENAPRED, una institución seria, dedicada a realizar actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

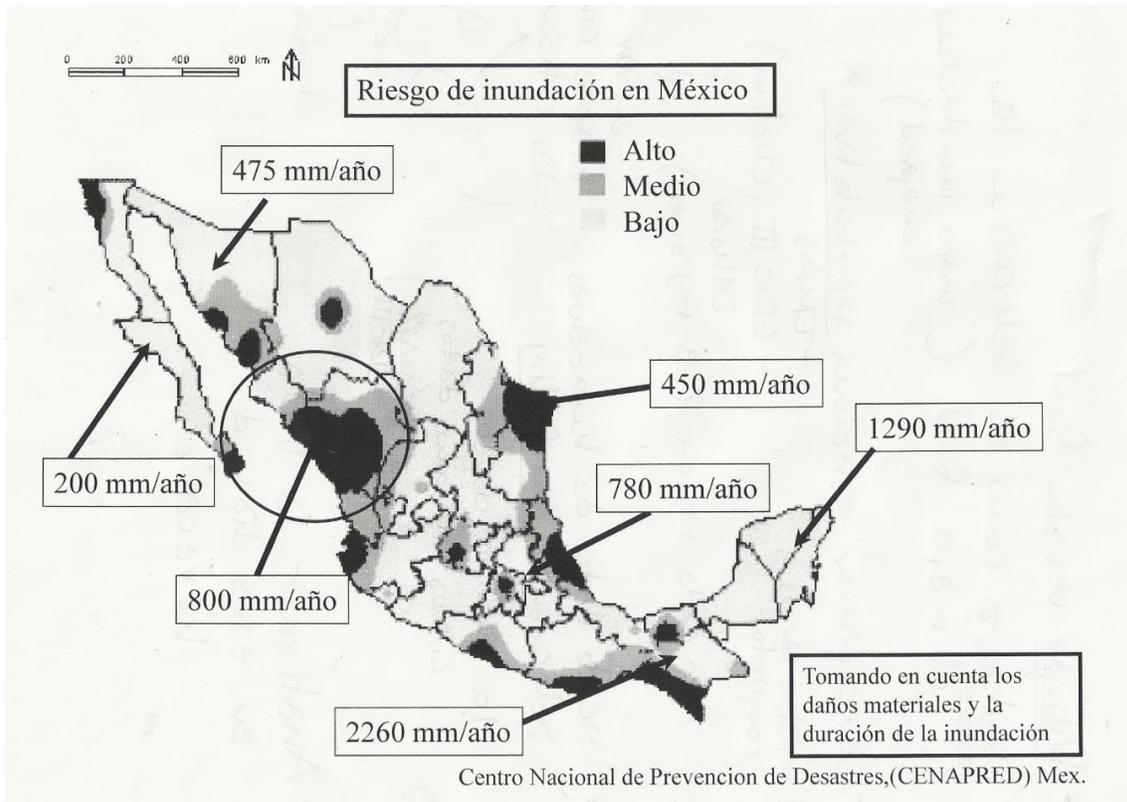


Figura 7.1.1 Riesgo hidrológico en México (CENAPRED)

Ahora que ya decidimos cual será nuestra regionalización finalista ó regionalización optima, es el momento de darle a ésta regionalización una nomenclatura o nombres con los cual sea más fácil el identificar y manejar estos grupos homogéneos. Por lo que se usaran letras para definir las regiones y subregiones hidrológicamente homogéneas del país obtenidas anteriormente.

Se muestra en la Figura 7.1.2 El mapa de regionalización óptima con el nombre para cada subregión, además de la tabla 7.1.1 en la cual se muestra de una mejor manera, la forma en la que están constituidos los grupos y las subregiones contenidas en cada uno de estos 3 grandes grupos homogéneos.

Nota: La región A, la cual anteriormente se manejó con una tonalidad roja, se cambió a color blanco con la finalidad de no generar confusión en el caso de que el documento se encuentre impreso en blanco y negro.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

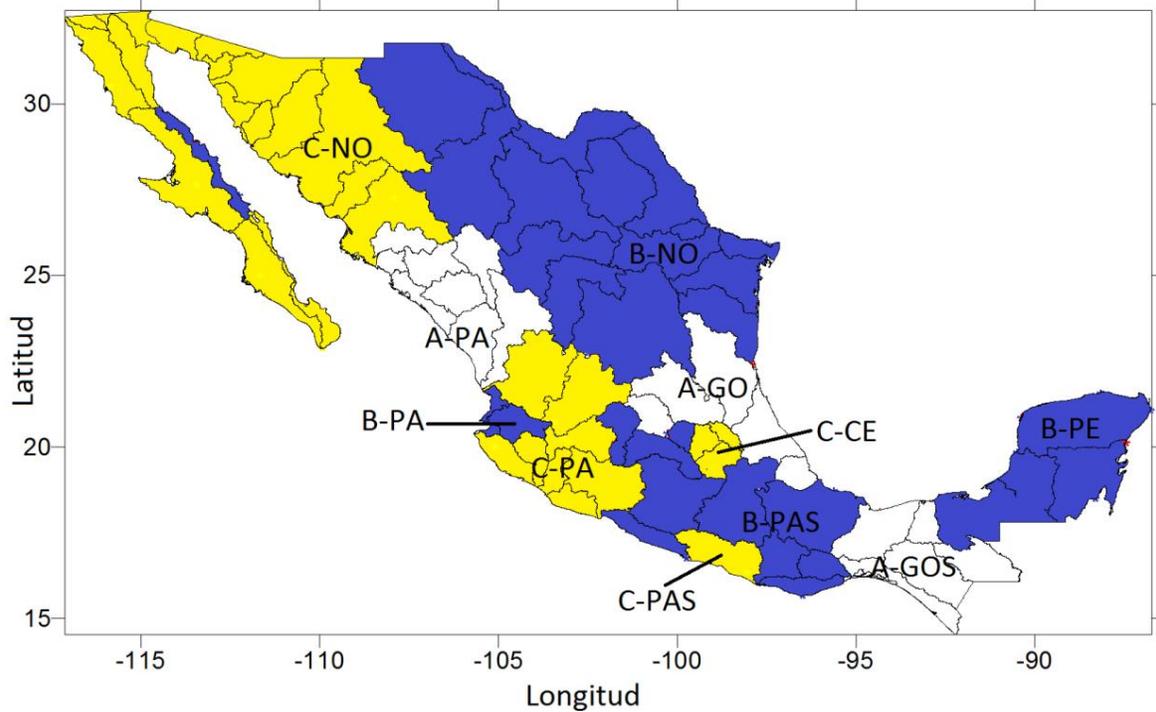


Figura 7.1.2 Mapa de la regionalización óptima, obtenida por el método Ward con la distancia de agregación Manhattan.

Tabla 7.1.1

REGIÓN	NOMENCLATURA
REGIÓN A	A-PA
	A-GO
	A-GOS
REGIÓN B	B-NO
	B-PA
	B-PAS
	B-PE
REGIÓN C	C-NO
	C-PA
	C-PAS
	C-CE

La región A, contiene 3 subregiones homogéneas, las cuales son: A-PA (costa del Pacífico), A-GO (Golfo de México), A-GOS (sur del golfo de México y sur del Pacífico).

La región B, contiene 4 subregiones homogéneas, las cuales son: B-NO (Norte del país), B-PA (costa del Pacífico) B-PAS (Costa sur del Pacífico y Golfo de México), B-PE (Península de Yucatán), La región C, contiene 4 subregiones homogéneas, las cuales son: C-NO (Norte de México) C-PA (Costa del Pacífico), C-PAS (Costa sur del Pacífico), C-CE (Centro de México).

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **7.2 Descripción de las regiones hidrológicamente homogéneas.**

Mediante las técnicas de regionalización mencionadas en el subcapítulo 6.1, se logró generar una regionalización óptima usando los datos de intensidades para toda la república mexicana, estos datos fueron determinados por (Ramírez, 2011) para diferentes periodos de retorno y duración de lluvia. Usando un índice de proximidad llamado “city-block (Manhattan) y una regla de agregación llamada método Ward (Ward’s method) se obtuvo dicha regionalización (Blachet, 1981), la cual demostró ser la que tenía una mejor agrupación y regionalización haciendo una comparación con lo publicado por CENAPRED en su mapa de riesgo de inundaciones en la República Mexicana.

Este mapa con la regionalización óptima, está dividido en 3 grandes regiones, las cuales se muestran en la tabla 7.1.1 A su vez, estas regiones están divididas en sub regiones, las cuales por pertenecer a un mismo grupo homogéneo, en el caso del Grupo A, éste contiene 3 subregiones, mientras que los dos grupos restantes tienen 4 subregiones o subgrupos. Cabe mencionar, que aunque los subgrupos para cada región no son contiguos, es decir, que no son cercanos entre ellos, estos, como están contenidos dentro del mismo grupo homogéneo, necesariamente deben mostrar un comportamiento similar entre ellos para que la regionalización obtenida sea la correcta. Lo cual se comprobará en los capítulos finales del documento.

### **8. SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS.**

Una vez que se obtuvimos nuestra regionalización óptima, es necesario el hacer una selección de las estaciones meteorológicas representativas para cada subregión hidrológica, para que sea representativa de la zona, es necesario que cuente con registros de lluvia largos y completos. Estas estaciones representativas ayudaran en los capítulos siguientes al hacer un análisis de las tormentas huracanadas, y es necesario que tengan registros largos para así poder analizar el mayor número de huracanes, para poder definir un comportamiento de estos eventos para cada región hidrológicamente homogénea.

En la Tabla 8.1 se muestran las EMAs seleccionadas por tener registros de lluvia largos y completos, que son las que se usaran en los capítulos siguientes. También se muestra en la figura 8.1 un mapa con la posición geográfica de las EMAs que fueron seleccionadas como representativas de cada subregión hidrológicamente homogénea.

Tabla 8.1 EMAs representativas de las regiones homogéneas.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

región	subregion	estado	estacion	latitud	longitud	altitud
A	A-PA	DURANGO	LAS VEGAS	24.19	-105.47	2398
		NAY	ACAPONETA	22.47	-105.39	29
	A-GO	VERACRUZ	TUXPAN	20.96	-97.42	5
		VERACRUZ	CPGM	19.14	-96.11	19
	A-GOS	VERACRUZ	PSA LA CANGREJERA	18.11	-94.33	34
B	B-PE	CAMPECHE	CAMPECHE	19.84	-90.51	11
		Q ROO	CANCUN	21.08	-86.78	50
	B-PAS	VERACRUZ	CD ALEMAN	18.19	-96.10	107
		OAXACA	PTO ANGEL	15.67	-96.50	91
	B-NO	TAMAULIPAS	MATAMOROS	25.89	-97.52	4
C	C-NO	BCN	PSA EMILIO LÓPEZ ZAMORA	31.89	-116.60	32
		BCS	CD CONSTITUCIÓN	25.01	-111.66	28
	C-PA	JALISCO	RÍO TOMATLAN	20.00	-105.13	141
		JALISCO	LOS COLOMOS	20.71	-103.39	1571
	C-CE	MÉXICO	NEVADO DE TOLUCA	19.12	-99.77	4139
	C-PAS	OAXACA	PINOTEPA NACIONAL	16.35	-98.05	195

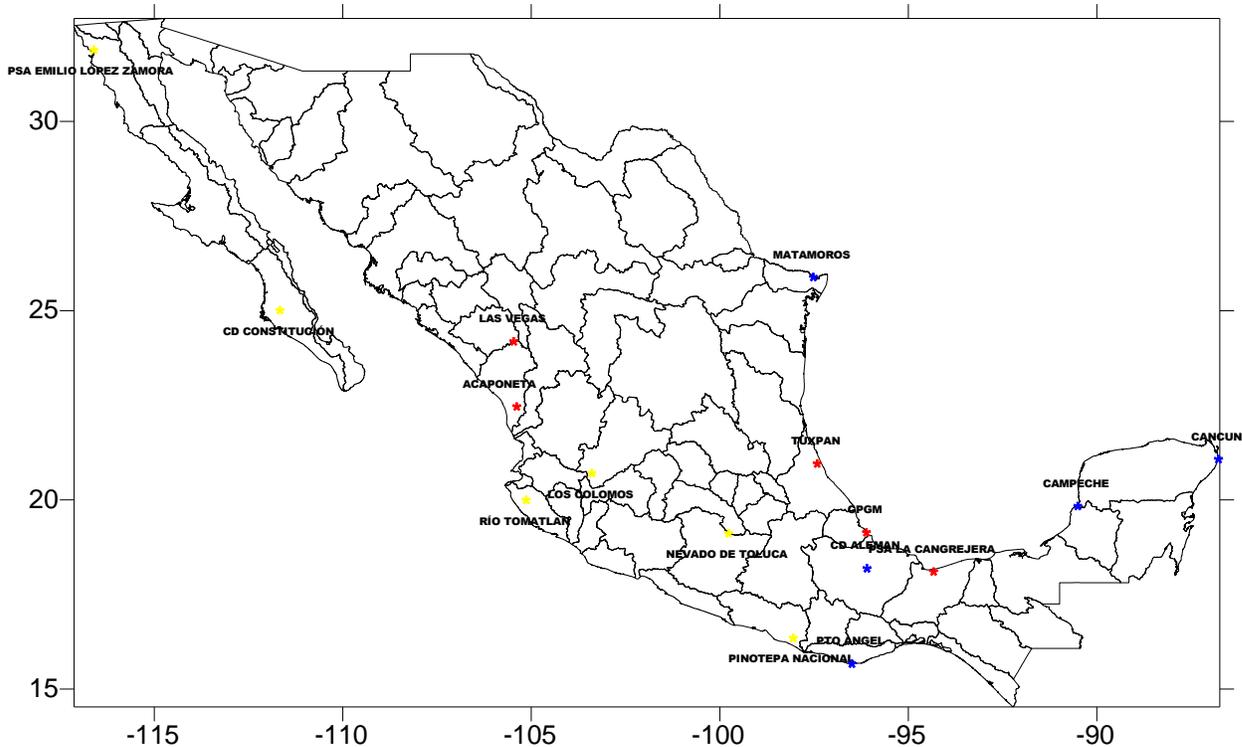


Figura 8.1 posición geográfica de las EMAs representativas para las regiones homogéneas.

Teniendo esta selección de las estaciones meteorológicas automáticas, para cada región hidrológicamente homogénea, se puede comenzar con el siguiente paso, el cual consta de analizar las trayectorias de los huracanes y el comportamiento de los campos de lluvia generados por estos eventos particulares y extremos.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **9. TRAYECTORIAS HISTÓRICAS DE HURACANES.**

El conocer la trayectoria de un huracán es de suma importancia en esta investigación, ya que se cuenta con los registros de lluvia a cada 10 minutos, los cuales están asociados a una lluvia generada por un huracán, por lo que podemos ver y comparar el comportamiento de la lluvia a medida que los huracanes se acercan a las costas de nuestro país, que zonas de la republica muestran mayores registros de lluvia y su distribución temporal para así tomar medidas de prevención en las zonas que son afectadas año con año por estos fenómenos naturales dejando a su paso pérdidas humanas y económicas en ciertas zonas del país.

#### **9.1 Selección de huracanes.**

Se cuenta con una base de datos, la cual tiene los registros de huracanes desde los años ochentas, estos datos provienen de la organización “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA). En esta base de datos se encuentran las trayectorias de todos los huracanes que se han presentado en todo el continente, muchos de estos huracanes que se forman en el ecuador y van tomando fuerza a medida que se alejan de él, llegan al territorio nacional, o pasan muy cerca de las costas ocasionando fuertes lluvias, inundaciones, pérdidas humanas y económicas.

Aunque el registro de huracanes es muy amplio, desgraciadamente las estaciones meteorológicas automáticas son relativamente nuevas, se comenzaron a implementar hace poco mas de 10 años, por lo que los registros más antiguos de precipitaciones de estos dispositivos son de el año 2000 en adelante, en algunos casos tienen menor tiempo funcionando, por lo que se descartan todos aquellos huracanes que ocurrieron antes del año 2000.

Para conocer los huracanes que pasan cerca de las regiones homogéneas, se hace un filtro mediante un encuadre de coordenadas para filtrar los huracanes que pasan por ciertas regiones hidrológicas, ahí aparecen los huracanes que tuvieron incidencia en la zona o cerca del lugar. Como se muestra un ejemplo en la figura 9.1

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

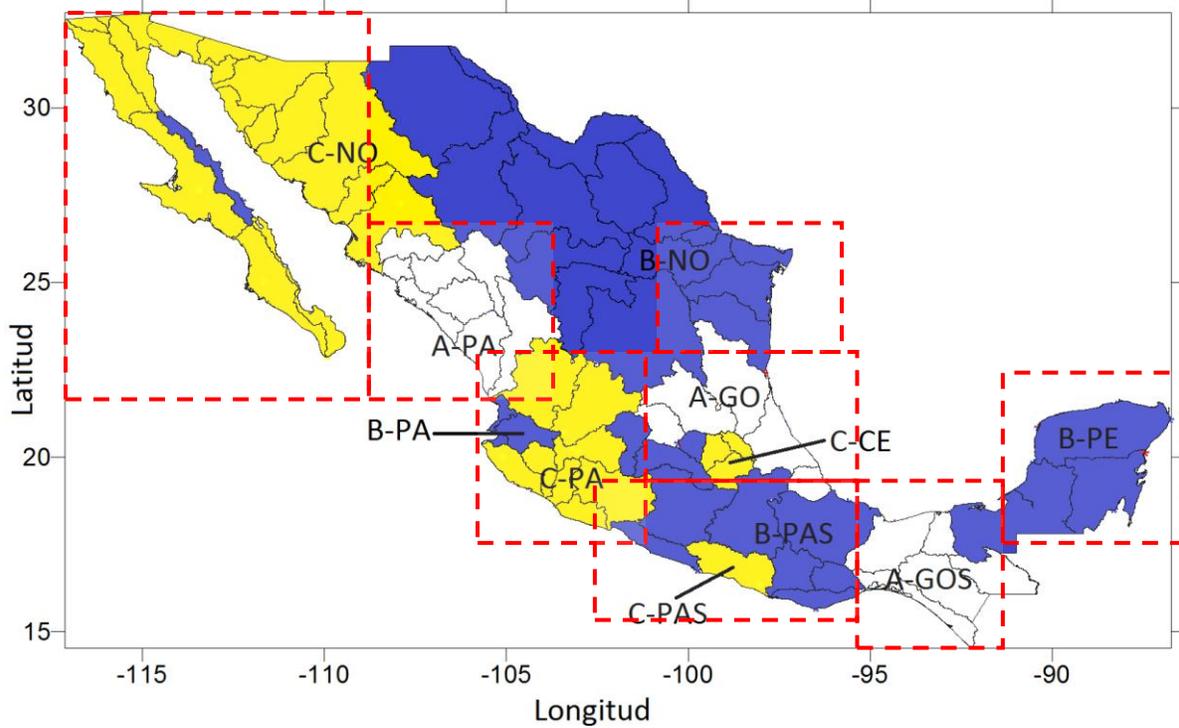


Figura 9.1 Encuadre para encontrar los huracanes que afectan las regiones hidrológicamente homogéneas.

Este encuadre se hace para cada región, excluyendo a todos los demás huracanes que están alejados de estas coordenadas geográficas, para facilitar el análisis de los huracanes, y si estos en verdad afectaron la región. En las tablas 9.1.1, 9.1.2 y 9.1.3 se muestran los huracanes que aparecieron en cada uno de los encuadres para cada región. Algunos de estos huracanes aparecen en varias de las regiones homogéneas, debido a lo largo de su trayectoria pasaron por gran parte de las costas del pacifico o del golfo de México, afectando a varias de las regiones homogéneas. También cabe mencionar que la subregión hidrológica B-PA no cuenta con alguna EMA por lo que en esta región no se puede estudiar el comportamiento de lluvia debido a los huracanes, pero si nuestra regionalización es correcta, sabiendo que pertenece a la región homogénea del grupo B, y sabiendo que estas sub regiones del grupo tienen comportamientos similares, se puede en su momento usar información de otra subregión, ya que teóricamente estas muestran comportamientos similares, esto se comprobará al final de el documento mediante los resultados obtenidos en el análisis de campos de lluvia.

También se muestran los mapas con las trayectorias de los huracanes que afectaron cada una de las subregiones hidrológicamente homogéneas. De la figura 9.2 a 9.11

Tabla 9.1.1 Huracanes que afectaron la región A

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

A-GO		A-GOS		A-PA	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
KEITH	05/12/2000	LARRY	05/10/2003	NORMAN	21/09/2002
BRET	29/06/2005	GERT	24/07/2007	KENNA	24/10/2002
GERT	24/07/2005	JOSE	22/08/2005	IGNACIO	24/08/2003
JOSE	22/08/2005	STAN	04/10/2005	NORA	07/10/2003
DEAN	21/08/2007	DEAN	21/08/2007	LANE	16/09/2006
LORENZO	27/09/2007	FELIX	05/09/2007		
		BARBARA	31/05/2007		

Tabla 9.1.2 Huracanes que afectaron la región B

B-PE		B-PAS		B-NO	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
GORDON	15/09/2000	ROSA	07/11/2000	BERLY	14/08/2000
KEITH	03/10/2000	LARRY	06/10/2003	KEITH	05/10/2000
CHANTAL	21/08/2001	CARLOS	27/06/2003	ERIKA	15/08/2003
BILL	29/06/2003	LESTER	12/10/2004	MATTHEW	09/10/2004
CLAUDIETTE	12/07/2003	STAN	04/10/2005	EMILY	20/07/2005
LARRY	02/10/2003	DORA	05/07/2005		
CINDY	04/07/2005	JOSE	22/08/2005		
EMILY	19/07/2005	JOHN	30/08/2006		
STAN	03/10/2005				
WILMA	22/10/2005				
ALBERTO	12/06/2006				
BARRY	01/06/2007				
DEAN	22/08/2007				
OLGA	15/12/2007				

Tabla 9.1.3 Huracanes que afectaron la región C

C-NO		C-PA		C-PAS		C-CE	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
IVO	13/09/2001	ILEANA	14/08/2000	CARLOS	27/06/2003	BRET	29/06/2005
JULIETTE	30/09/2001	NORMAN	21/09/2000	LESTER	12/10/2004	DEAN	12/08/2007
ISELLE	18/09/2002	JULIO	25/09/2002	STAN	03/10/2005	LORENZO	27/09/2007
IGNACIO	25/08/2003	OLAF	06/10/2003	DORA	04/07/2005		
MARTHY	24/09/2003	DORA	05/07/2005	HENRIETTE	31/08/2007		
JAVIER	18/09/2004	JOHN	31/08/2006				
OTIS	03/10/2005	LANE	16/09/2006				
EMILIA	26/07/2006	NORMAN	14/10/2006				
JOHN	03/09/2006	HENRIETTE	03/09/2007				
HENRIETTE	05/09/2007	KIKO	20/10/2007				

**9.2 Trayectoria de huracanes que afectan las regiones homogéneas.**

Los huracanes mencionados en el apartado anterior, tablas 9.1.1, 9.1.2 y 9.1.3 tienen la fecha en la cual el huracán estuvo más próximo a la región homogénea afectada, y es necesario el graficar su trayectoria para así darse una idea de si el huracán en realidad se dirige hacia la región homogénea que se va a analizar. Por lo que se muestra a continuación

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

la trayectoria de los huracanes de las tablas 9.1.1, 9.1.2 y 9.1.3 en cada uno de los siguientes mapas. Figuras 9.2.1 a 9.2.10

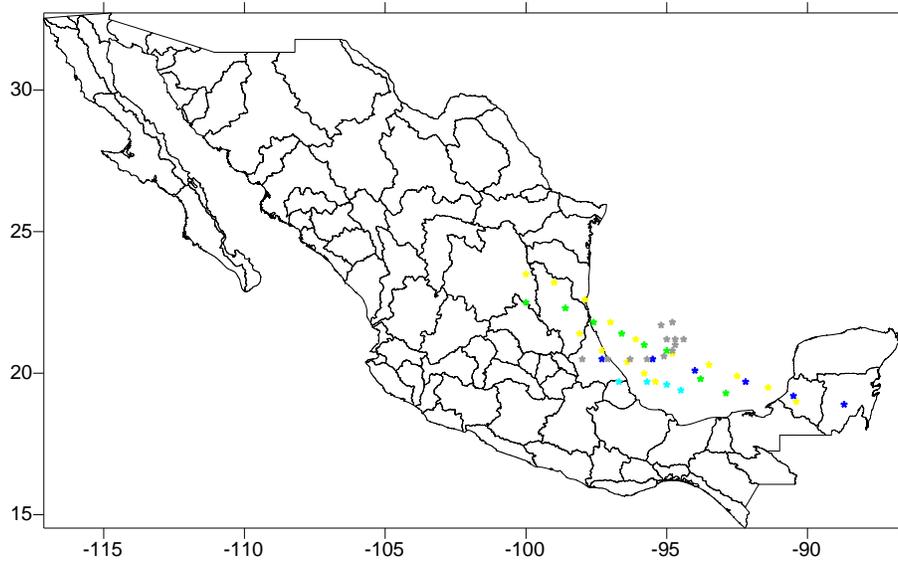


Figura 9.2.1 Huracanes que afectan la región A-GO

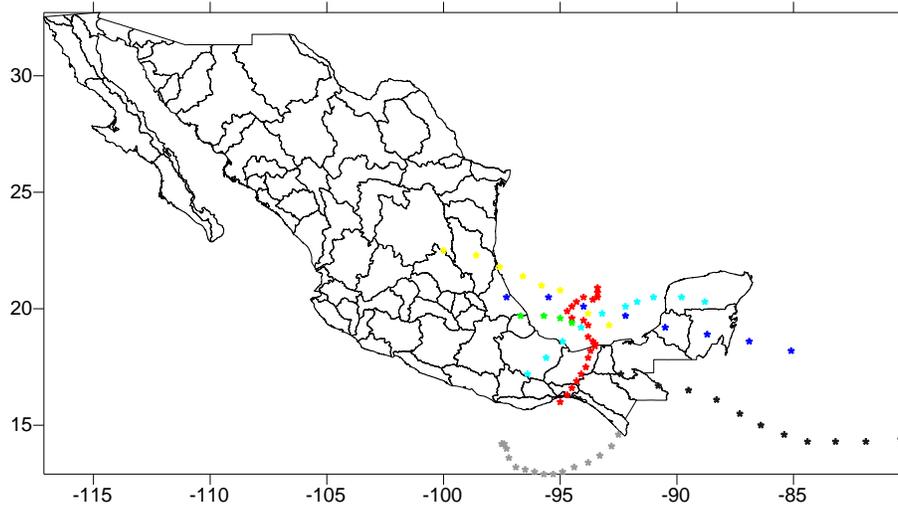


Figura 9.2.2 Huracanes que afectan la región A-GOS

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

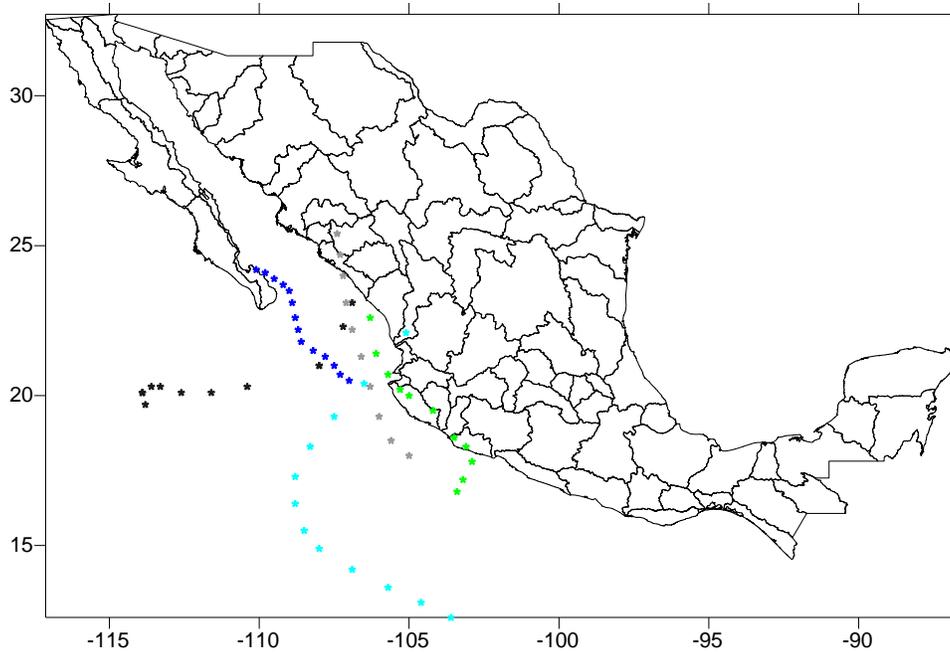


Figura 9.2.3 Huracanes que afectan la región A-PA

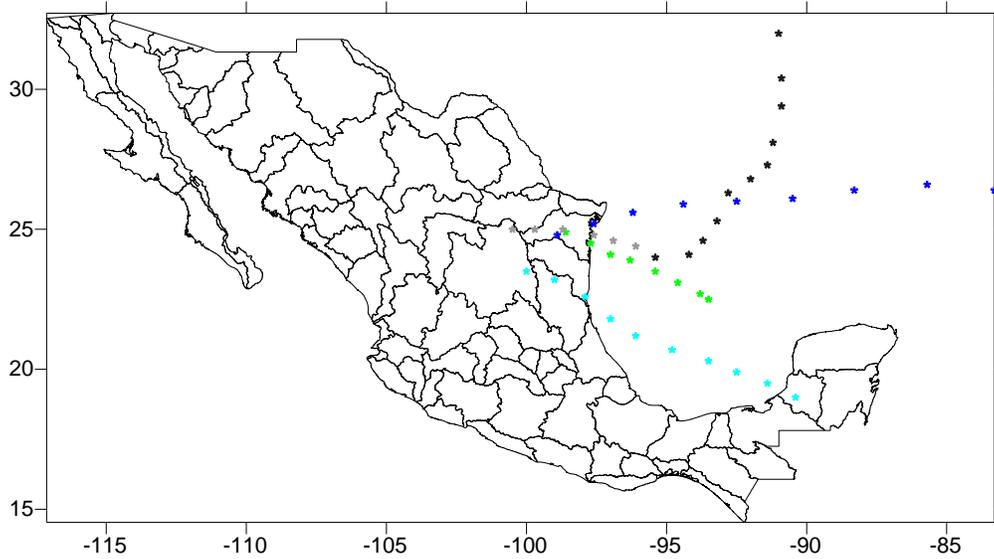


Figura 9.2.4 Huracanes que afectan la región B-NO

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

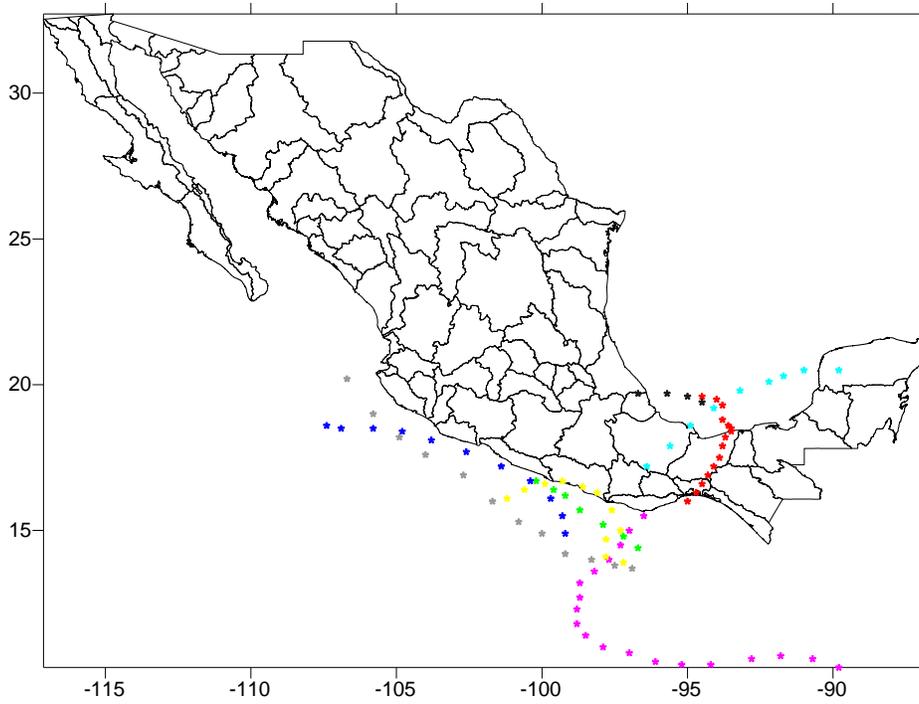


Figura 9.2.5 Huracanes que afectan la región B-PAS

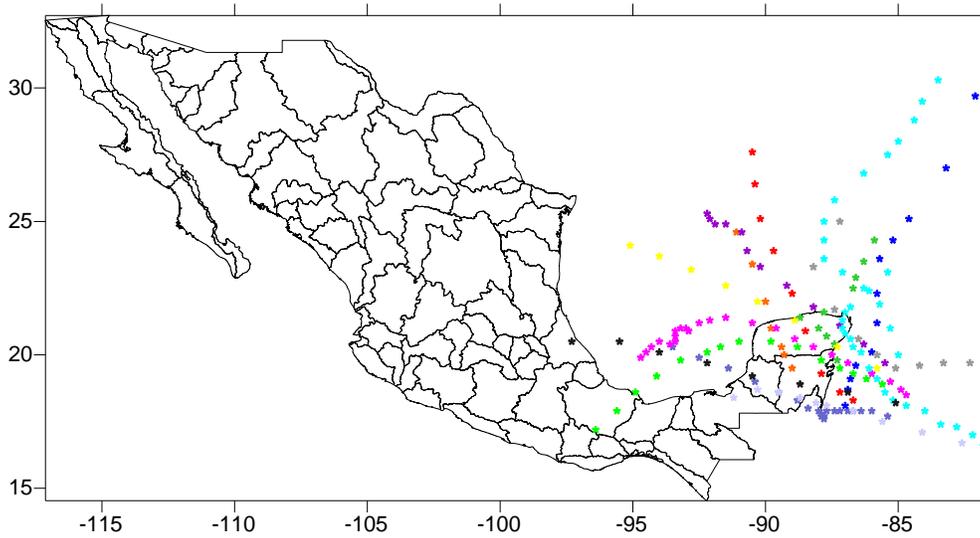


Figura 9.2.6 Huracanes que afectan la región B-PE

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

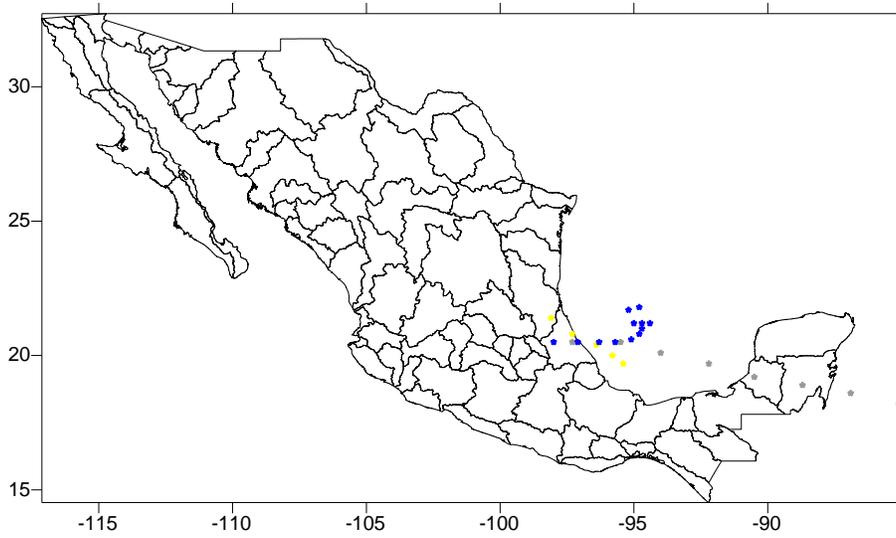


Figura 9.2.7 Huracanes que afectan la región C.CE

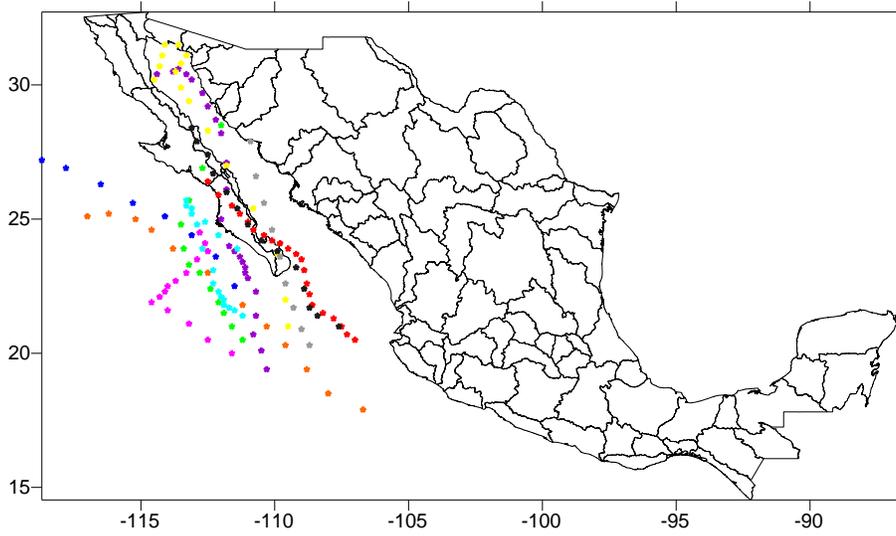


Figura 9.2.8 Huracanes que afectan la región C.NO

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

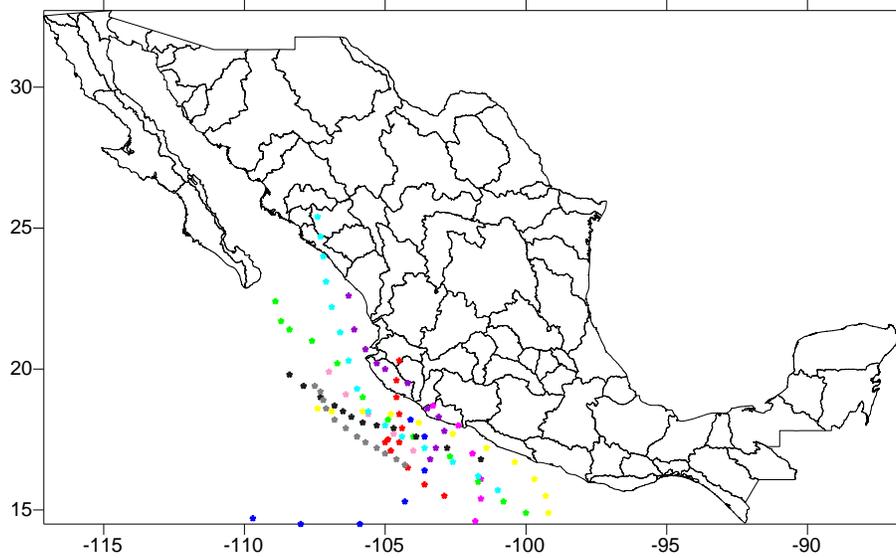


Figura 9.2.9 Huracanes que afectan la región C-PA

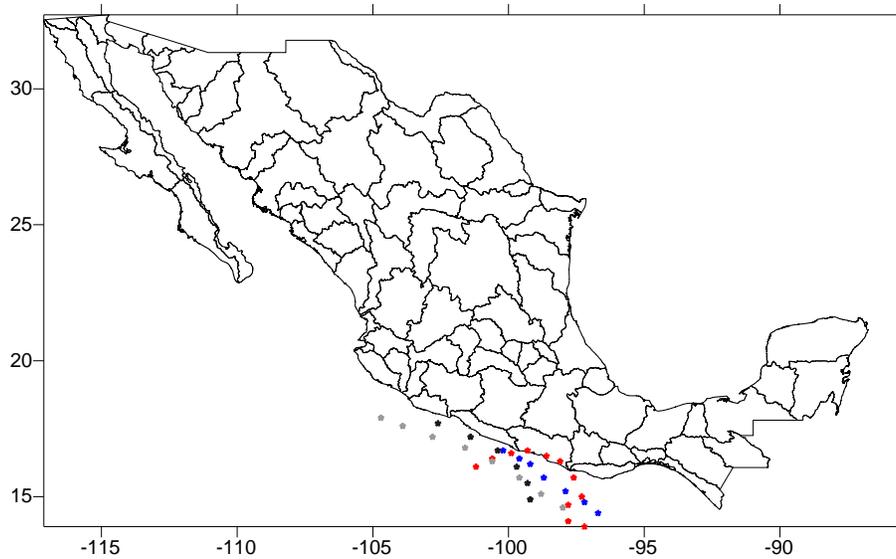


Figura 9.2.10 Huracanes que afectan la región C-PAS

Para estos mapas es necesario el revisar que realmente exista un registro de lluvia intensa en las EMAs seleccionadas como representativas de cada región, por lo que esta lista puede decrecer después de hacer ésta revisión, además necesario que tenga registros de lluvia extrema, ya que estos eventos tienen como consecuencia tormentas de gran magnitud.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

### 10. ANÁLISIS DE LOS CAMPOS DE LLUVIA.

#### 10.1 Análisis de precipitación en eventos de huracanes.

Con los registros de huracanes que han afectado al país a lo largo del tiempo, aquellos que en el capítulo anterior se incluyeron en las tablas 9.2, 9.2 y 9.3. se verificará que tengan registros de lluvia extrema en las regiones en las cuales afecta cada uno de los huracanes, para este análisis, se tomó cada uno de los huracanes, se revisó la trayectoria y las fechas en las que el huracán se aproximó a la costa de la región a analizar, y de esta fecha se analizarán los registros de lluvia para 3 días antes y 3 días después del evento, para conocer el comportamiento del huracán a medida que se acerca a la costa, cuando está sobre la costa y cuando el huracán se aleja o pierde fuerza al entrar a la costa, estos registros de lamina de lluvia que se tienen para intervalos de 10 minutos se analizará la lluvia ocurrida para cada día.

Con los registros de lluvia de cada día, se construirá una grafica para comprender mejor la distribución temporal de la lluvia en estos eventos huracanados para cada día, y para cada subregión homogénea, esto se representa mediante una curva unitaria en la cual el eje de las abscisas tiene como parámetro el tiempo de 0 a 24 horas, y en el eje de las ordenadas se representa de manera adimensional en una escala de 0 a 1. Estas curvas son conocidas como curvas “S” ya que tienen esta forma la mayoría de ellas, las cuales son propuestas por la SCS “SOIL CONSERVATION SERVICE” (Bureau of Reclamation, 1982).

Pasos para la construcción de curvas “S”

El siguiente paso es el construir las curvas “S” para cada día en el que se registró lluvia huracanada, para esto se muestra un ejemplo de la construcción de la curva que define el comportamiento de la lluvia en 24 horas.

Se tienen los registros de lluvia de las estaciones meteorológicas automáticas, a continuación se muestra un ejemplo de cómo construir una curva “S” para este ejemplo se usa la región A-GO usando los datos de la EMA “CPGM” ubicada en el estado de Veracruz con, longitud: -96.11 y latitud: 19.142. Estos datos de lluvia son registrados en las fechas en las que el huracán Bret (26/06/2005) estaba muy cercano a la región A-GO.

En la tabla 10.1.1 se muestran en las columnas 1,2, y 3 los datos que son extraídos de la EMA, de las celdas 4 a 8 se construyen usando las fórmulas de Excel, las cuales se describen enseguida.

**Columna 4:** Ésta celda contiene el tiempo acumulado a cada 10 minutos de registro de la estación, va desde 0 hasta 1440 minutos, lo que es equivalente a un día de registro.

**Columna 5:** Ésta celda contiene el tiempo en horas, para obtener este valor se tiene que dividir la celda 4 entre 60 minutos.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

**Columna 6:** Contiene la lluvia acumulada a cada intervalo de 10 minutos, para la primera celda de ésta columna, el valor de la lluvia acumulada será el valor de lluvia para los 0 minutos, para la segunda celda será la suma de la lluvia acumulada a los 0 minutos, mas la lluvia a los 10 minutos, Éste paso se va repitiendo hasta que se llega a las 24 horas, donde la lluvia acumulada debe corresponder a la sumatoria de la columna 3.

**Columna 7:** Contiene el acumulado máximo de lluvia, el cual es igual a la sumatoria de la columna 3.

**Columna 8:** Se determina dividiendo el valor de la columna 6 entre la columna 7. El valor de la columna 8 va desde 8 hasta 1, es por esto que la curva es Adimensional.

Tabla 10.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
FECHA (dd/mm/aa)	TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	TIEMPO ACUMU LADO (min)	TIEMP O (h)	LLUVIA ACUMULA DA	ACUMULA DO MAX	ACUM /ACUM MAX
26/06/2005	00:00	0	0	0.00	0	42.13	0.00
26/06/2005	00:10	0	10	0.17	0	42.13	0.00
26/06/2005	00:20	0	20	0.33	0	42.13	0.00
26/06/2005	00:30	0	30	0.50	0	42.13	0.00
26/06/2005	00:40	0	40	0.67	0	42.13	0.00
26/06/2005	00:50	0	50	0.83	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:00	0	60	1.00	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:10	0	70	1.17	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:20	0	80	1.33	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:30	0	90	1.50	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:40	0	100	1.67	0	42.13	0.00
26/06/2005	01:50	0	110	1.83	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:00	0	120	2.00	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:10	0	130	2.17	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:20	0	140	2.33	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:30	0	150	2.50	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:40	0	160	2.67	0	42.13	0.00
26/06/2005	02:50	0	170	2.83	0	42.13	0.00
26/06/2005	03:00	0	180	3.00	0	42.13	0.00
26/06/2005	03:10	0.25	190	3.17	0.25	42.13	0.01
26/06/2005	03:20	0	200	3.33	0.25	42.13	0.01
26/06/2005	03:30	0	210	3.50	0.25	42.13	0.01
26/06/2005	03:40	0	220	3.67	0.25	42.13	0.01
26/06/2005	03:50	0	230	3.83	0.25	42.13	0.01

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

26/06/2005	04:00	0.25	240	4.00	0.5	42.13	0.01
26/06/2005	04:10	0	250	4.17	0.5	42.13	0.01
26/06/2005	04:20	0	260	4.33	0.5	42.13	0.01
26/06/2005	04:30	0	270	4.50	0.5	42.13	0.01
26/06/2005	04:40	1.27	280	4.67	1.77	42.13	0.04
26/06/2005	04:50	0.25	290	4.83	2.02	42.13	0.05
26/06/2005	05:00	0	300	5.00	2.02	42.13	0.05
26/06/2005	05:10	6.6	310	5.17	8.62	42.13	0.20
26/06/2005	05:20	8.13	320	5.33	16.75	42.13	0.40
26/06/2005	05:30	3.05	330	5.50	19.8	42.13	0.47
26/06/2005	05:40	1.27	340	5.67	21.07	42.13	0.50
26/06/2005	05:50	0.51	350	5.83	21.58	42.13	0.51
26/06/2005	06:00	1.27	360	6.00	22.85	42.13	0.54
26/06/2005	06:10	0.76	370	6.17	23.61	42.13	0.56
26/06/2005	06:20	0.51	380	6.33	24.12	42.13	0.57
26/06/2005	06:30	0.25	390	6.50	24.37	42.13	0.58
26/06/2005	06:40	0.76	400	6.67	25.13	42.13	0.60
26/06/2005	06:50	1.02	410	6.83	26.15	42.13	0.62
26/06/2005	07:00	1.27	420	7.00	27.42	42.13	0.65
26/06/2005	07:10	0.76	430	7.17	28.18	42.13	0.67
26/06/2005	07:20	0.25	440	7.33	28.43	42.13	0.67
26/06/2005	07:30	0.25	450	7.50	28.68	42.13	0.68
26/06/2005	07:40	0	460	7.67	28.68	42.13	0.68
26/06/2005	07:50	0	470	7.83	28.68	42.13	0.68
26/06/2005	08:00	0	480	8.00	28.68	42.13	0.68
26/06/2005	08:10	0	490	8.17	28.68	42.13	0.68
26/06/2005	08:20	1.02	500	8.33	29.7	42.13	0.70
26/06/2005	08:30	1.27	510	8.50	30.97	42.13	0.74
26/06/2005	08:40	1.52	520	8.67	32.49	42.13	0.77
26/06/2005	08:50	0.51	530	8.83	33	42.13	0.78
26/06/2005	09:00	0.51	540	9.00	33.51	42.13	0.80
26/06/2005	09:10	2.79	550	9.17	36.3	42.13	0.86
26/06/2005	09:20	2.29	560	9.33	38.59	42.13	0.92
26/06/2005	09:30	1.02	570	9.50	39.61	42.13	0.94
26/06/2005	09:40	1.27	580	9.67	40.88	42.13	0.97
26/06/2005	09:50	0.25	590	9.83	41.13	42.13	0.98
26/06/2005	10:00	0.25	600	10.00	41.38	42.13	0.98
26/06/2005	10:10	0.25	610	10.17	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	10:20	0	620	10.33	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	10:30	0	630	10.50	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	10:40	0	640	10.67	41.63	42.13	0.99

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

26/06/2005	10:50	0	650	10.83	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:00	0	660	11.00	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:10	0	670	11.17	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:20	0	680	11.33	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:30	0	690	11.50	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:40	0	700	11.67	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	11:50	0	710	11.83	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:00	0	720	12.00	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:10	0	730	12.17	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:20	0	740	12.33	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:30	0	750	12.50	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:40	0	760	12.67	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	12:50	0	770	12.83	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:00	0	780	13.00	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:10	0	790	13.17	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:20	0	800	13.33	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:30	0	810	13.50	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:40	0	820	13.67	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	13:50	0	830	13.83	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:00	0	840	14.00	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:10	0	850	14.17	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:20	0	860	14.33	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:30	0	870	14.50	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:40	0	880	14.67	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	14:50	0	890	14.83	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	15:00	0	900	15.00	41.63	42.13	0.99
26/06/2005	15:10	0.25	910	15.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	15:20	0	920	15.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	15:30	0	930	15.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	15:40	0	940	15.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	15:50	0	950	15.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:00	0	960	16.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:10	0	970	16.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:20	0	980	16.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:30	0	990	16.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:40	0	1000	16.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	16:50	0	1010	16.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	17:00	0	1020	17.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	17:10	0	1030	17.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	17:20	0	1040	17.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	17:30	0	1050	17.50	41.88	42.13	0.99

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

26/06/2005	17:40	0	1060	17.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	17:50	0	1070	17.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:00	0	1080	18.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:10	0	1090	18.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:20	0	1100	18.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:30	0	1110	18.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:40	0	1120	18.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	18:50	0	1130	18.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:00	0	1140	19.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:10	0	1150	19.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:20	0	1160	19.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:30	0	1170	19.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:40	0	1180	19.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	19:50	0	1190	19.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:00	0	1200	20.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:10	0	1210	20.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:20	0	1220	20.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:30	0	1230	20.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:40	0	1240	20.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	20:50	0	1250	20.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:00	0	1260	21.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:10	0	1270	21.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:20	0	1280	21.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:30	0	1290	21.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:40	0	1300	21.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	21:50	0	1310	21.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:00	0	1320	22.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:10	0	1330	22.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:20	0	1340	22.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:30	0	1350	22.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:40	0	1360	22.67	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	22:50	0	1370	22.83	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	23:00	0	1380	23.00	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	23:10	0	1390	23.17	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	23:20	0	1400	23.33	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	23:30	0	1410	23.50	41.88	42.13	0.99
26/06/2005	23:40	0.25	1420	23.67	42.13	42.13	1.00
26/06/2005	23:50	0	1430	23.83	42.13	42.13	1.00
			1440	24.00	42.13	42.13	1.00

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

La tabla 10.1.1 muestra el registro de lluvia para un día, pero es necesario construir una tabla para cada día de registro de lluvia, este registro como ya se mencionó anteriormente debe considerarse extremo, ya que se lo estamos atribuyendo a la lluvia ocasionada por el huracán. Por lo que registros con una lámina de lluvia muy pequeña (menor a 10 mm de lluvia) son descartados del análisis.

Una vez que se construye la tabla, se grafica la curva “S” en el eje de las abscisas se grafica la columna 5, la cual contiene el tiempo en horas de 0 a 24 horas, y en el eje de las ordenadas se grafica la columna 8, la cual es un valor unitario de la lluvia acumulada respecto al tiempo, entre la lluvia acumulada máxima.

En la figura 10.1.2 se muestran las curvas “S” para las cuales se tienen registros de lluvia ocasionados por el huracán Bret en junio del 2005.

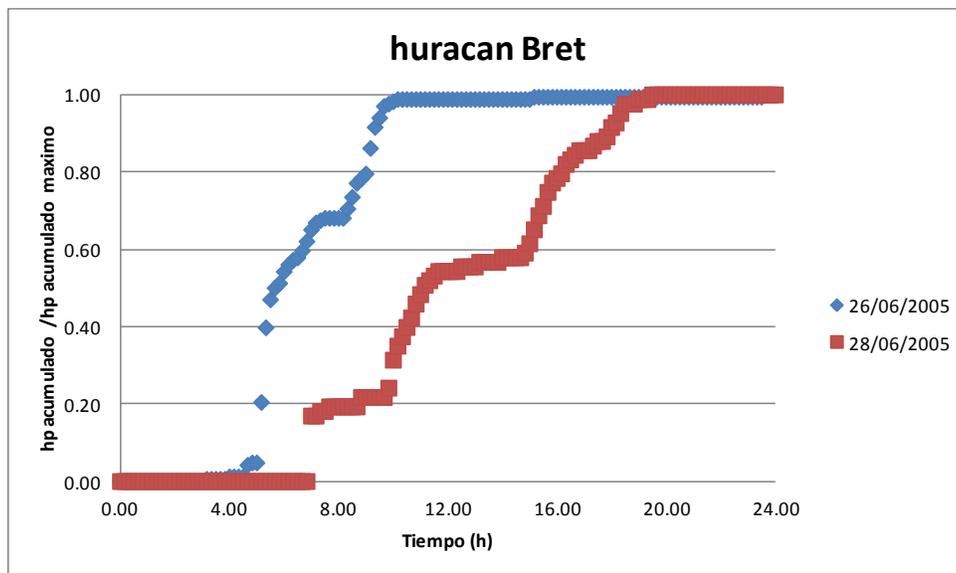


Figura 10.1.2 Curvas “S” para el huracán “Bret” en 2005

Se graficaron las curvas para cada huracán que dañó la subregión hidrológicamente analizada. Estas gráficas para cada huracán se presentan en los anexos, ya que son muchas.

### 10.2 Representación gráfica de la distribución de precipitaciones para cada subregión homogénea (curvas S).

Con motivo de comparar todos los huracanes su comportamiento y distribución temporal de las lluvias que afectaron cada región, se grafican todas las curvas de todos los huracanes, en una sola gráfica, para ver si estas presentan un comportamiento similar. De esta manera se busca encontrar patrones característicos de comportamiento para cada región homogénea y idealizar estos patrones para modelarlos con una ecuación matemática.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

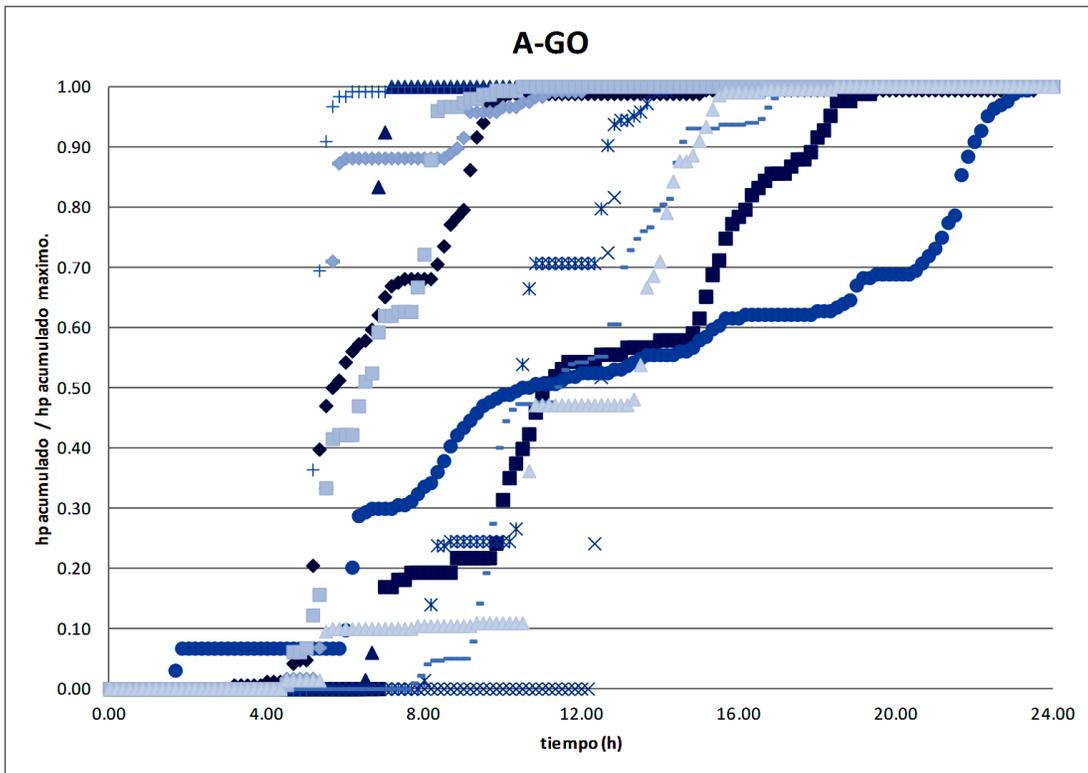


Figura 10.2.1 Curvas "S" para la región A-GO

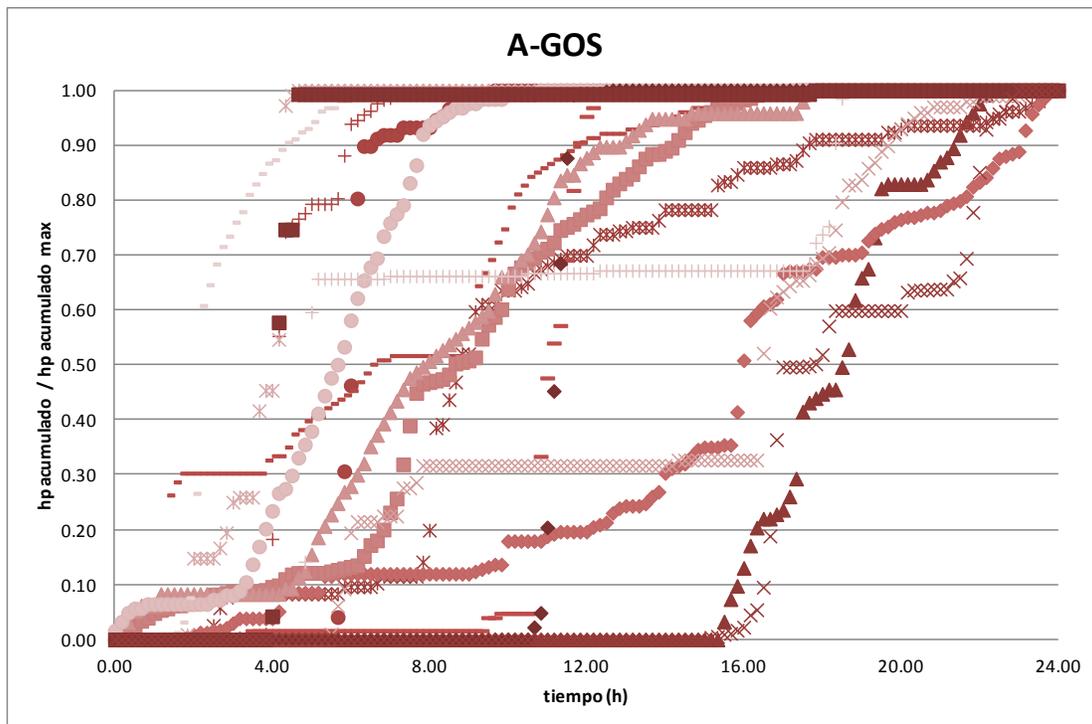


Figura 10.2.2 Curvas "S" para la región A-GOS

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

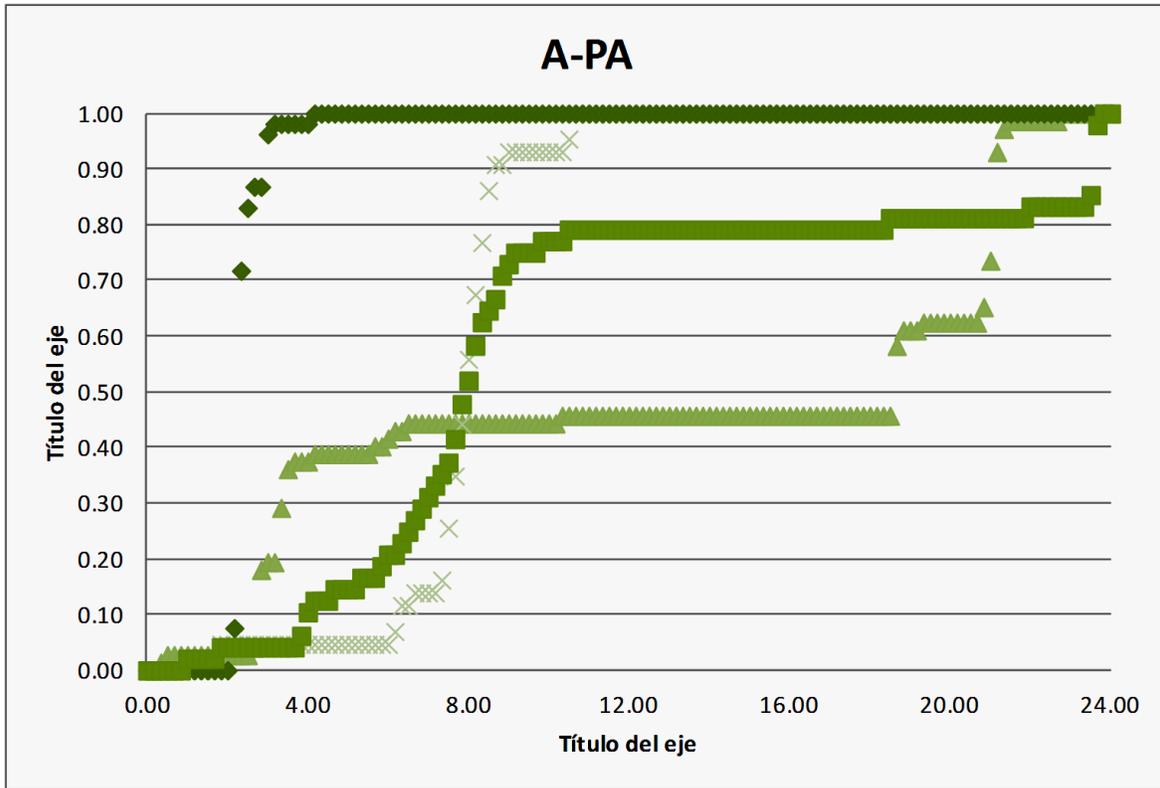
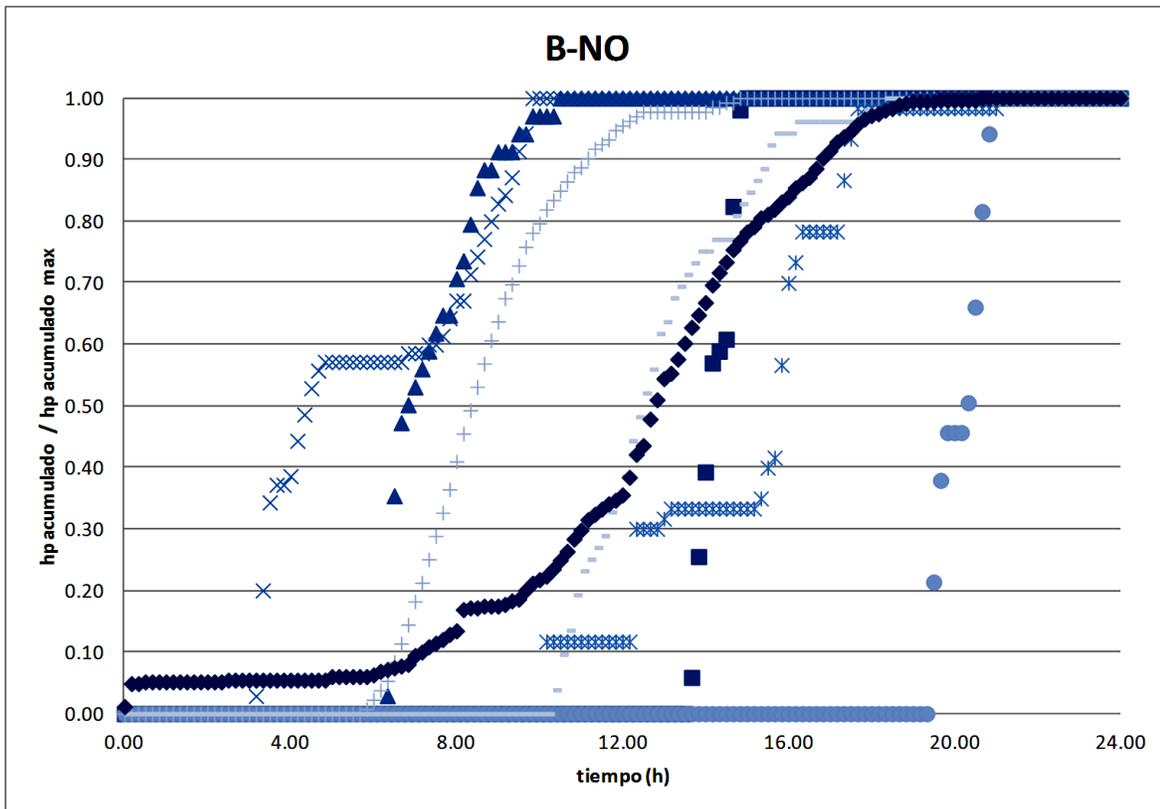


Figura 10.2.3 Curvas "S" para la región A-PA



# CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

Figura 10.2.4 Curvas "S" para la región B-NO

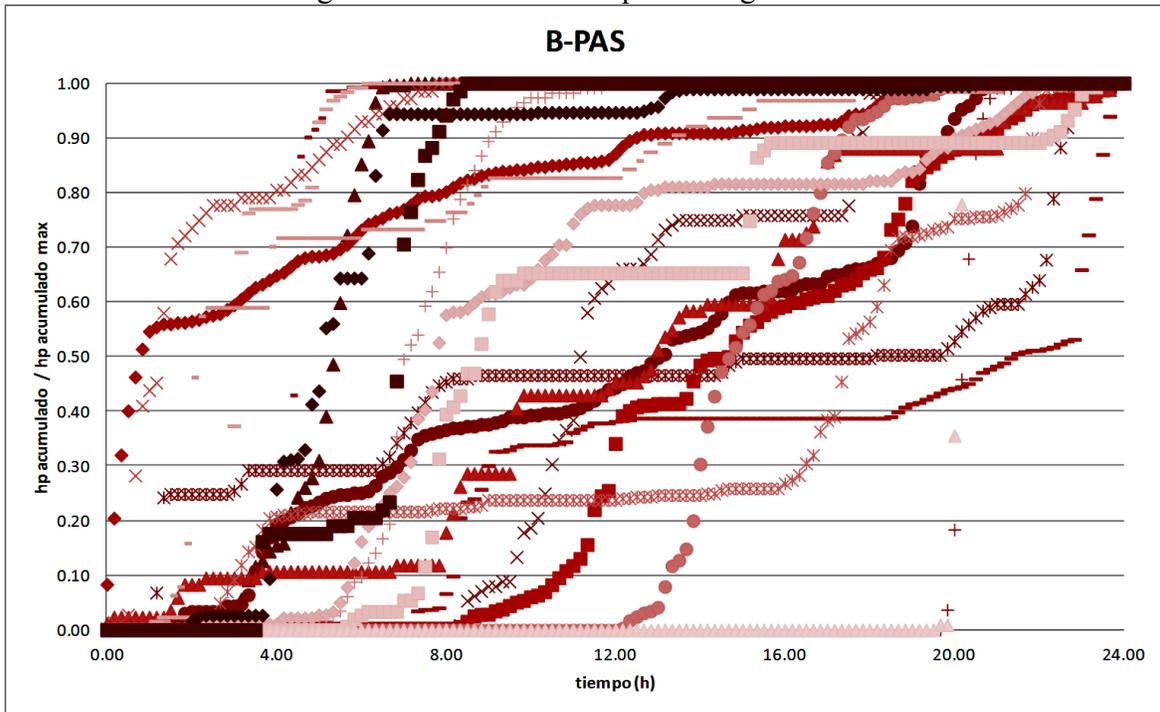


Figura 10.2.5 Curvas "S" para la región B-PAS

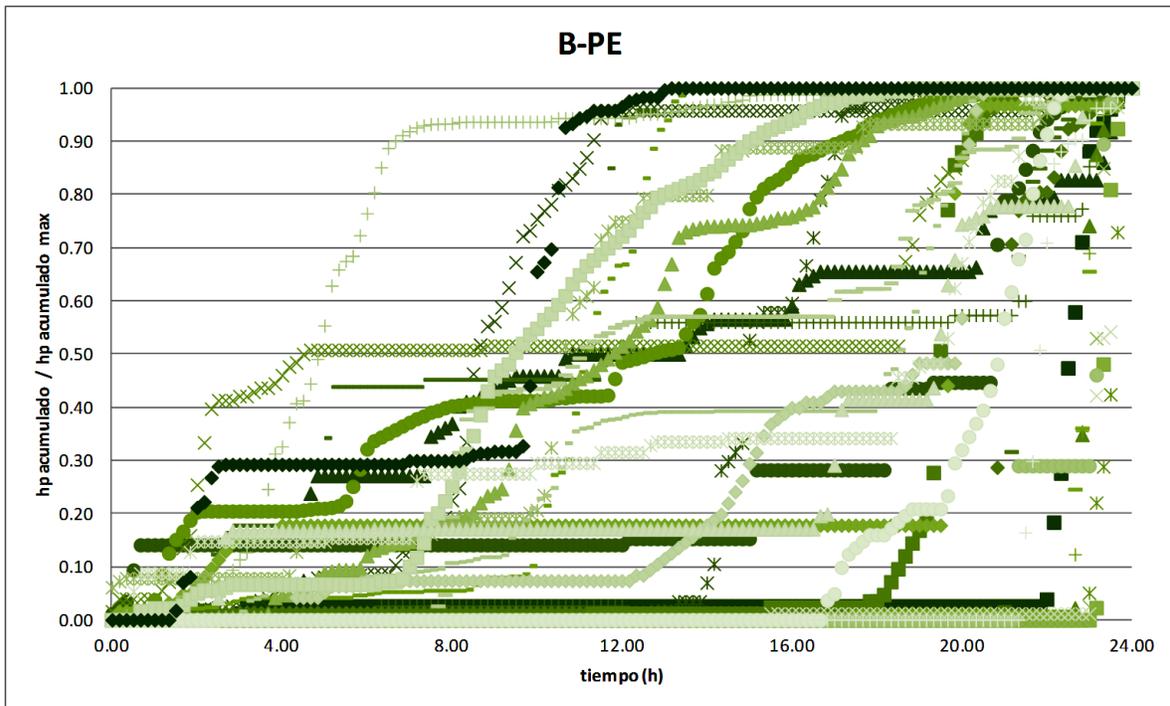


Figura 10.2.6 Curvas "S" para la región B-PE

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

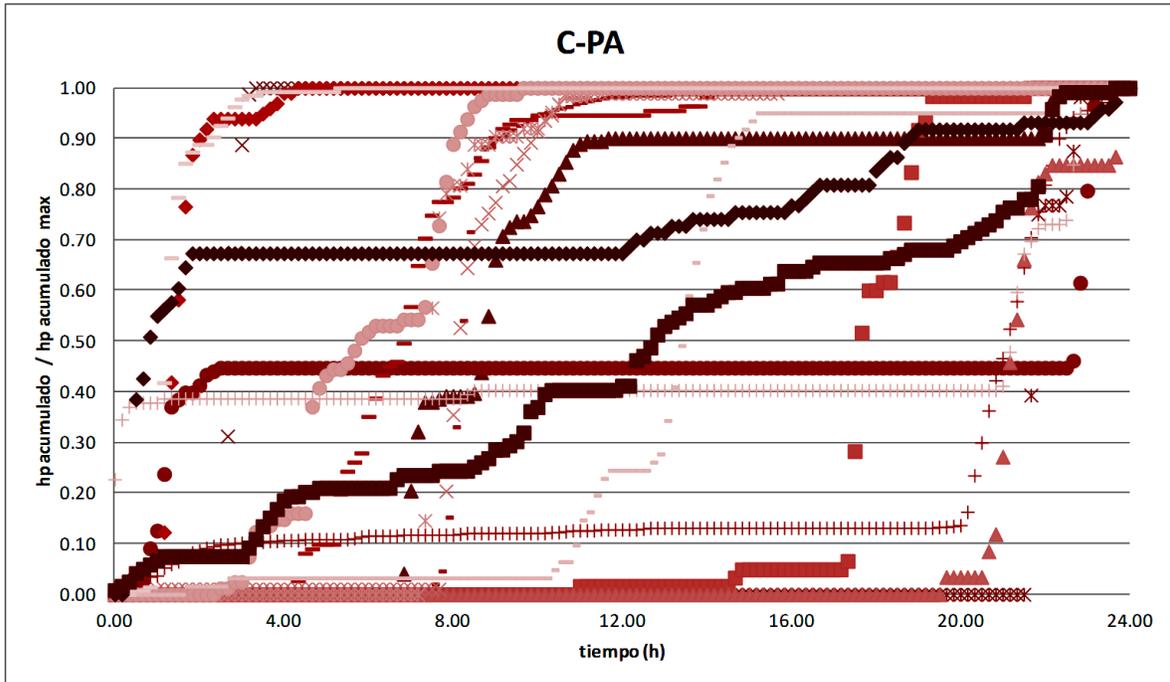


Figura 10.2.7 Curvas "S" para la región C-PA

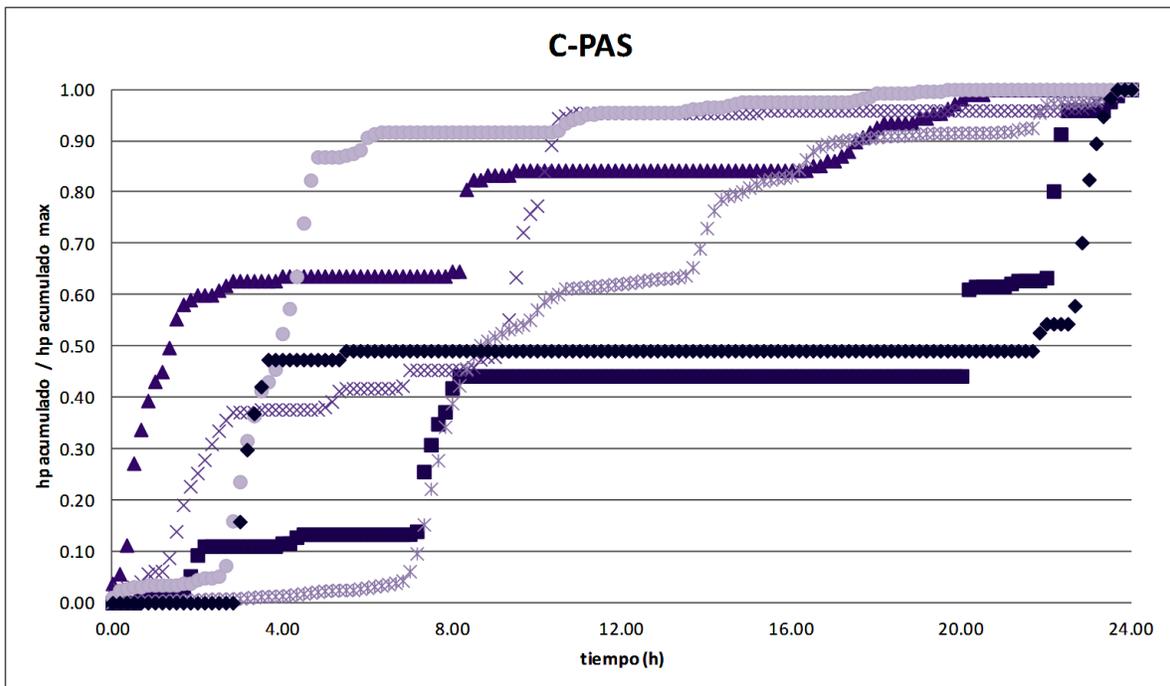


Figura 10.2.8 Curvas "S" para la región C-PAS

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

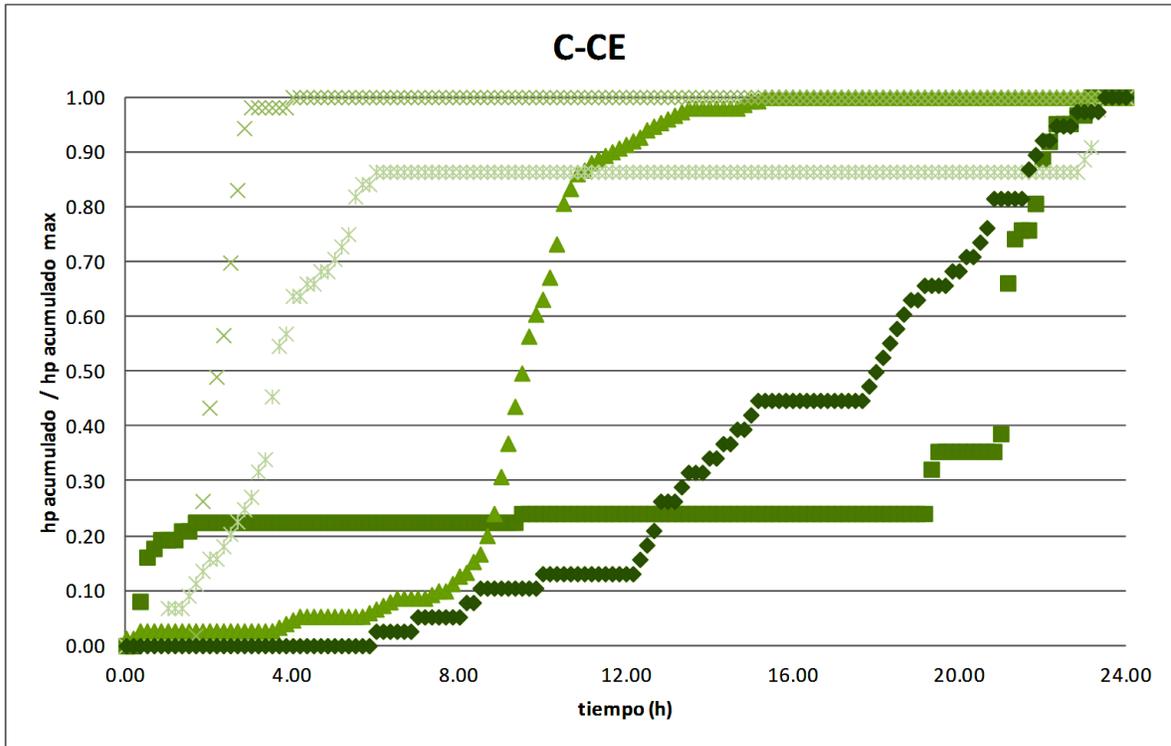


Figura 10.2.9 Curvas "S" para la región C-CE

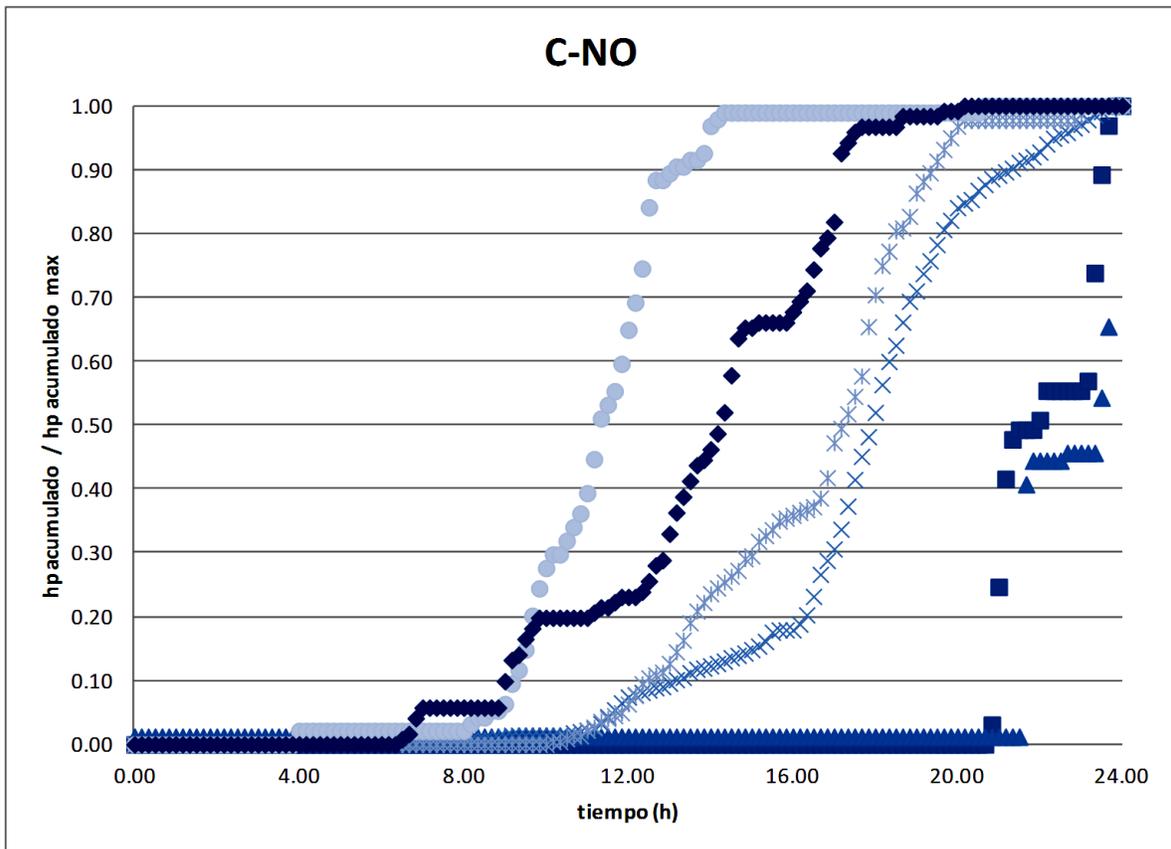


Figura 10.2.10 Curvas "S" para la región C-NO

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **10.3 Determinación de curvas representativas para regiones hidrológicamente homogéneas.**

Una vez que se tienen todas las curvas para “S” que representan la distribución temporal de la lluvia que afectó las regiones homogéneas, es necesario el analizarlas y compararlas entre sí, para buscar un comportamiento semejante entre ellas, para definir curvas representativas por cada región, y para poder reproducirlas con registros de las estaciones meteorológicas convencionales, las cuales nos dan un registro de lluvia en 24 horas, con la ecuación se puede desagregar esta precipitación diaria, en una precipitación temporal al intervalo de tiempo deseado, y así conocer el comportamiento en una zona en la que no se tienen estaciones meteorológicas automáticas, o para predecir el comportamiento de una lluvia al presentarse un huracán que se aproxima a las costas de nuestro país, de esta manera se pueden tomar medidas de prevención y evitar pérdidas humanas o materiales, debido a las inundaciones, que son frecuentes en zonas del país al ocurrir estos eventos extremos de precipitación ocasionados por ciclones y huracanes.

A cada región se le asignaran curvas características que definan el comportamiento de la mayoría de las curvas “S” graficadas en las figuras del subcapítulo 10.2. y posteriormente se determinara la ecuación de estas curvas características.

Comenzando por la región A, esta se analiza para cada subregión, encontrando 2 curvas características para cada subregión, estos comportamientos se atribuyen a la cercanía del huracán hacia las costas de la región afectada, existen lluvias que con una duración de 24 horas en su mayoría, debido a que el huracán está muy cerca de la región afectada, mientras que las curvas de los días en los que los huracanes están mas retiradas de la región, las lluvias tienen una duración menor. Como se muestra en las figuras 10.3.1, 10.3.2 y 10.3.3 las cuales corresponden a las regiones A-GO, A-GOS Y A-PA respectivamente. Los puntos de las graficas representan los días de lluvia que se originaron por los huracanes que impactaron las costas como se mostraron en el subcapítulo anterior, mientras que las líneas continuas representan las curvas características propuestas para cada subregión homogénea.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

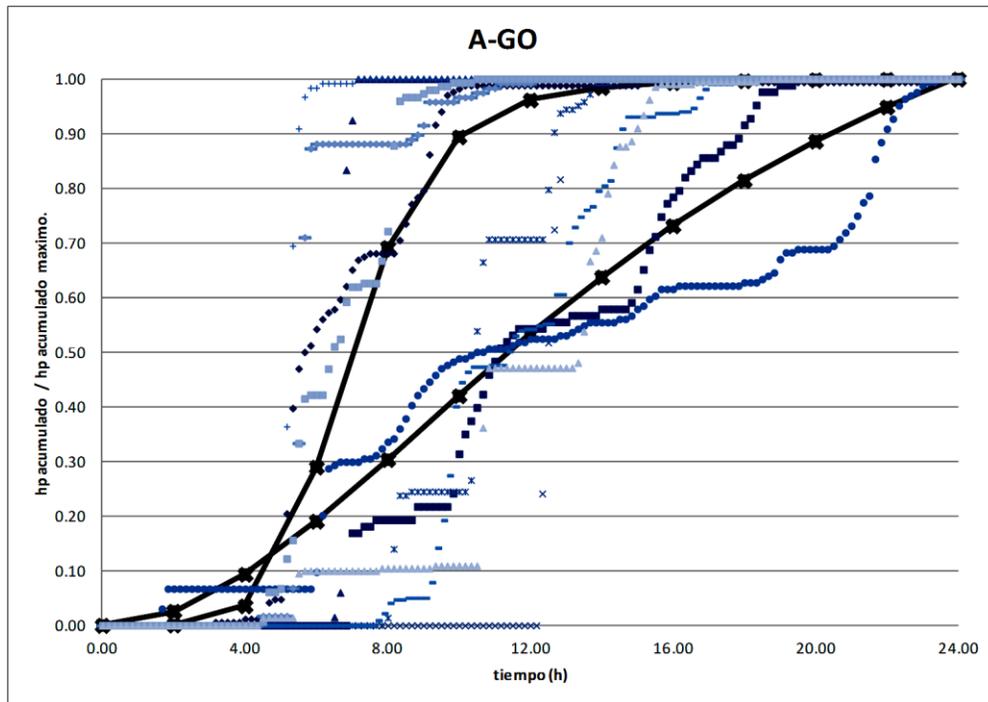


Figura 10.3.1 Curvas características para la región A-GO

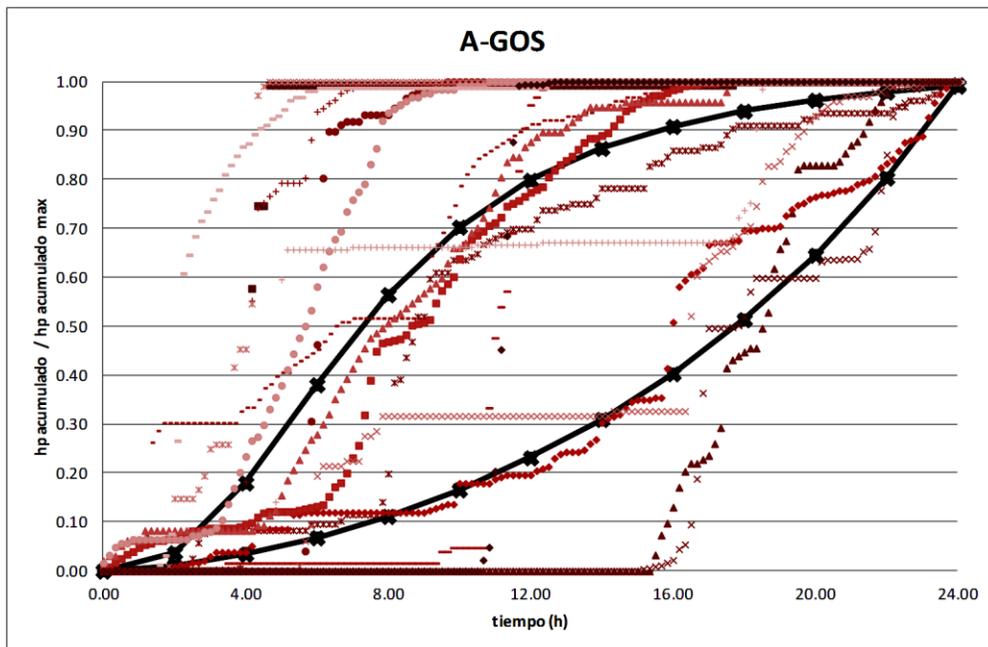


Figura 10.3.2 Curvas características para la región A-GOS.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

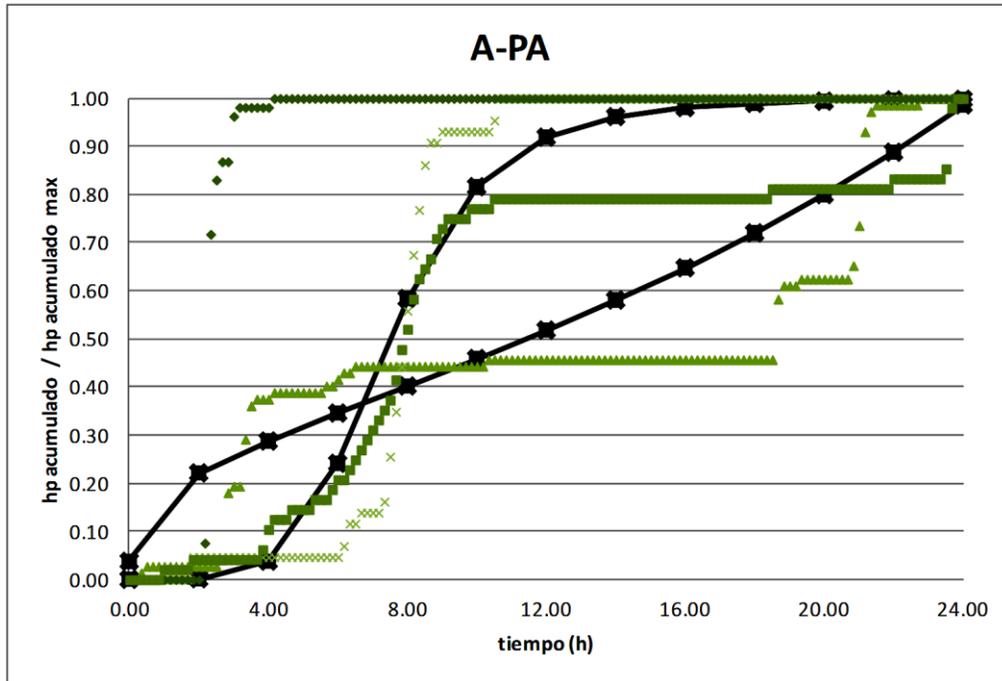


Figura 10.3.3 Curvas características para la región A-PA

Para la región B se presentan 3 curvas características de las subregiones, a excepción de la subregión B-NO la cual solo muestra 2 curvas características, (figura 10.3.4) debido a que esta zona no es una zona que se vea afectada por huracanes en la mayor parte del tiempo, sin embargo, las 2 curvas presentadas para esta región tienen una gran semejanza a las curvas presentadas en las otras subregiones de este grupo B-PAS y B-PE (figura 10.3.5 y 10.3.6 respectivamente), estas zonas son de las más afectadas por los huracanes la mayor parte de la temporada de huracanes. Existe una subregión “B-PA” en la cual no fue posible determinar estas graficas debido a que no se tiene ninguna EMA que este dentro de esta parte del territorio que abarca dicha subregión.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

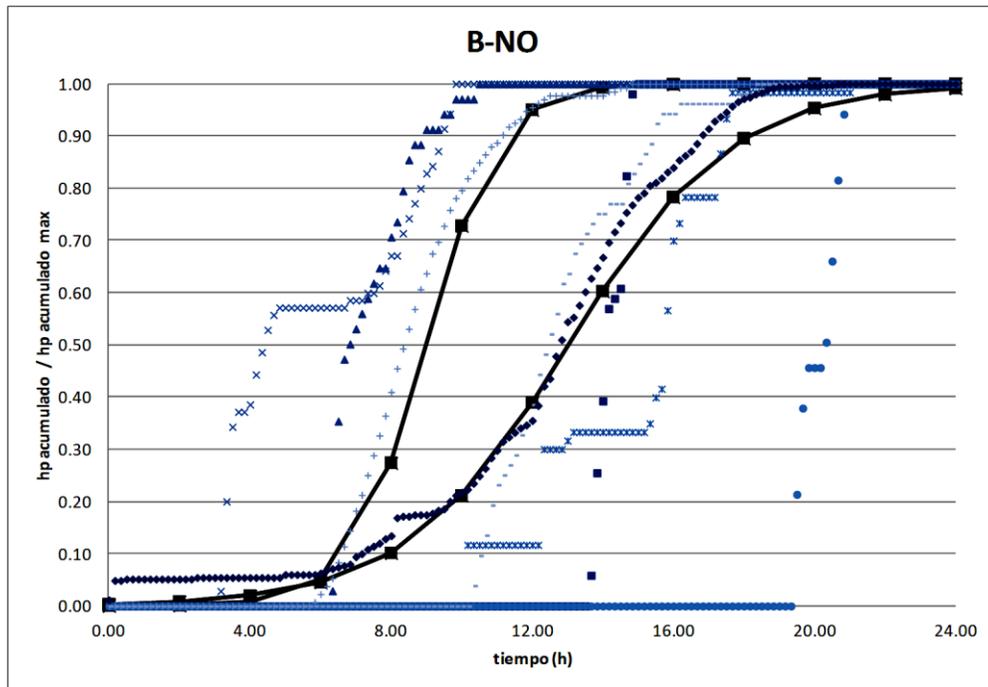


Figura 10.3.4 Curvas características para la región B-NO

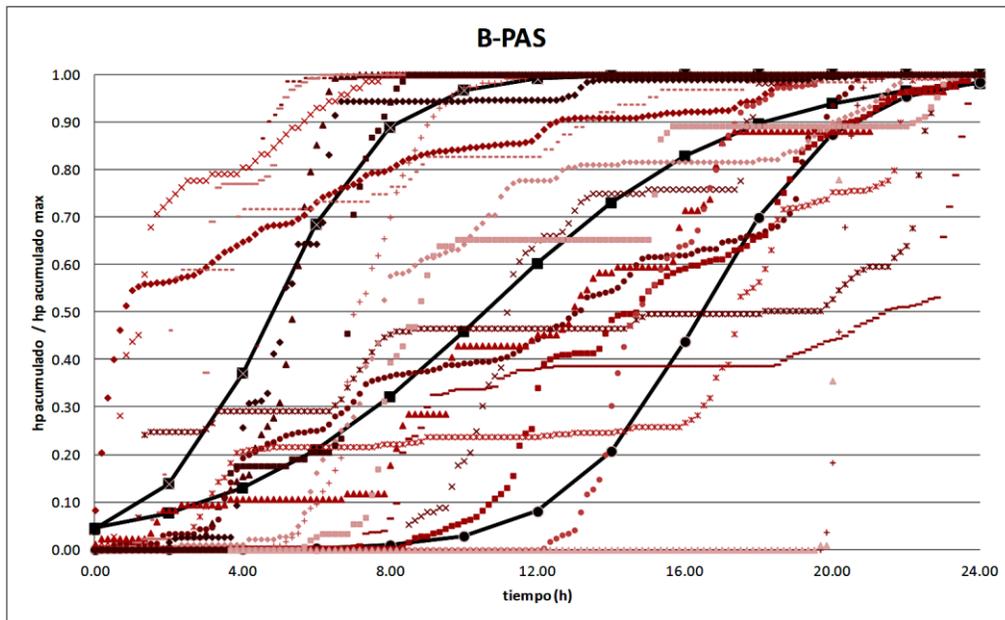


Figura 10.3.5 Curvas características para la región B-PAS

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

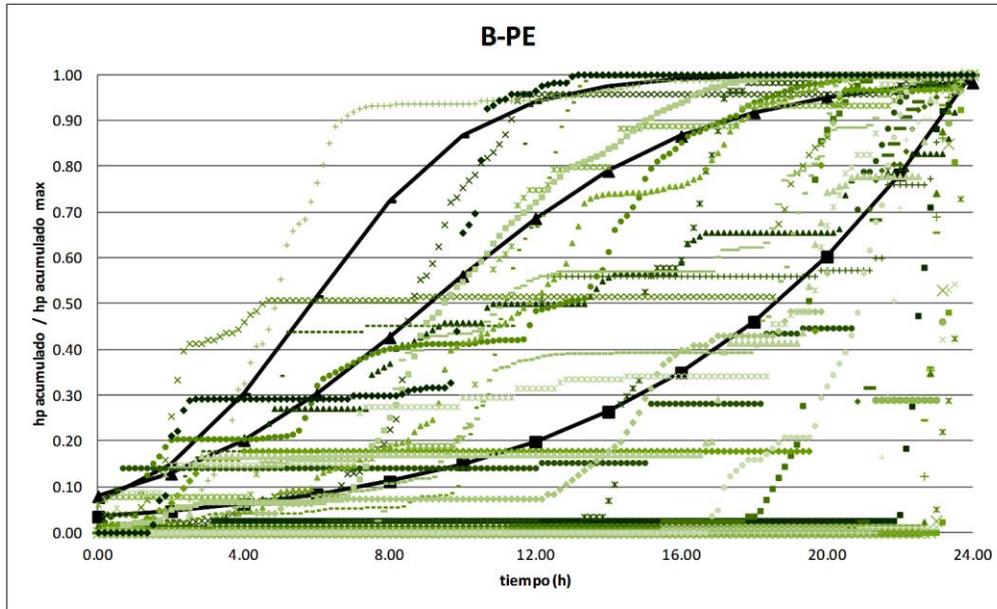
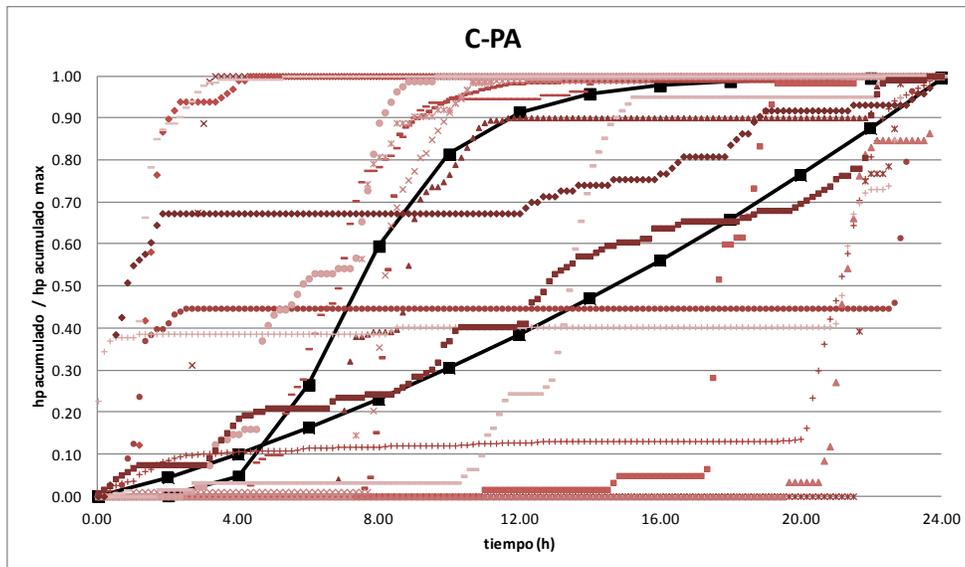


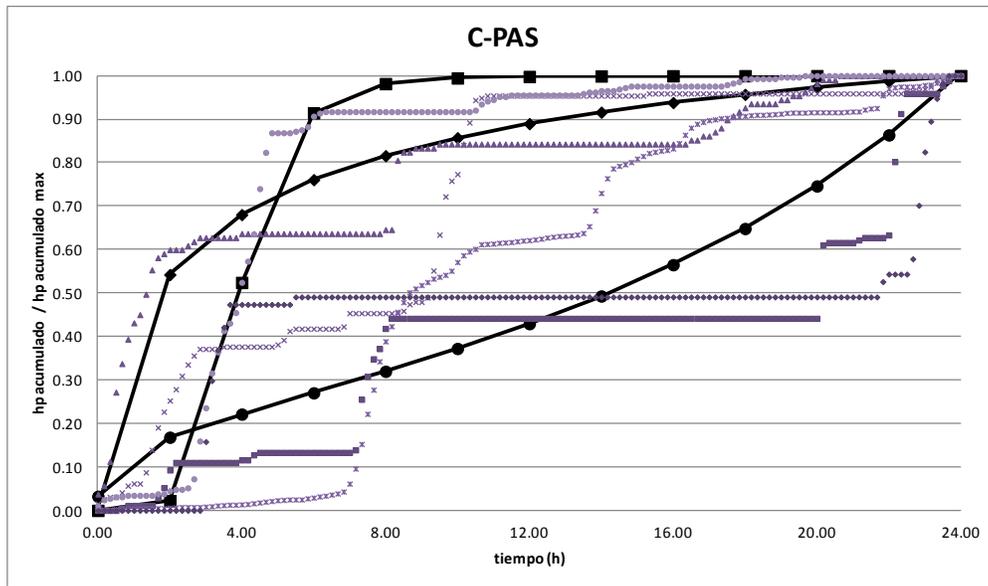
Figura 10.3.6 Curvas características para la región B-PE

En lo que corresponde a la región C, se formaron 4 subregiones, una de las cuales, no se encuentra en las costas del país, si no que se encuentra en el centro de la república mexicana, abarcando parte del estado de México y el Distrito Federal. Aunque a ésta subregión, no le afectan directamente los huracanes, estos ocasionan tormentas que se adentran al territorio nacional afectándolo de en una menor magnitud, pero teóricamente con el mismo comportamiento, ya que son parte de el mismo grupo homogéneo. A continuación se muestran las curvas características para la región C. Figuras 10.3.7, 10.3.8, 10.3.9 y 10.3.10

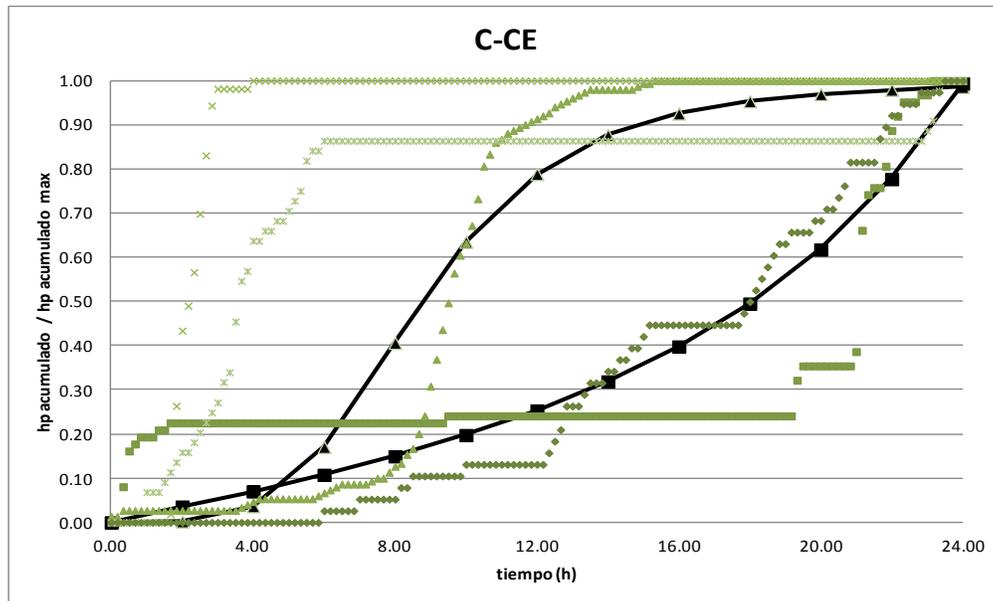


Figuras 10.3.7 Curvas características para la región C-PA

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

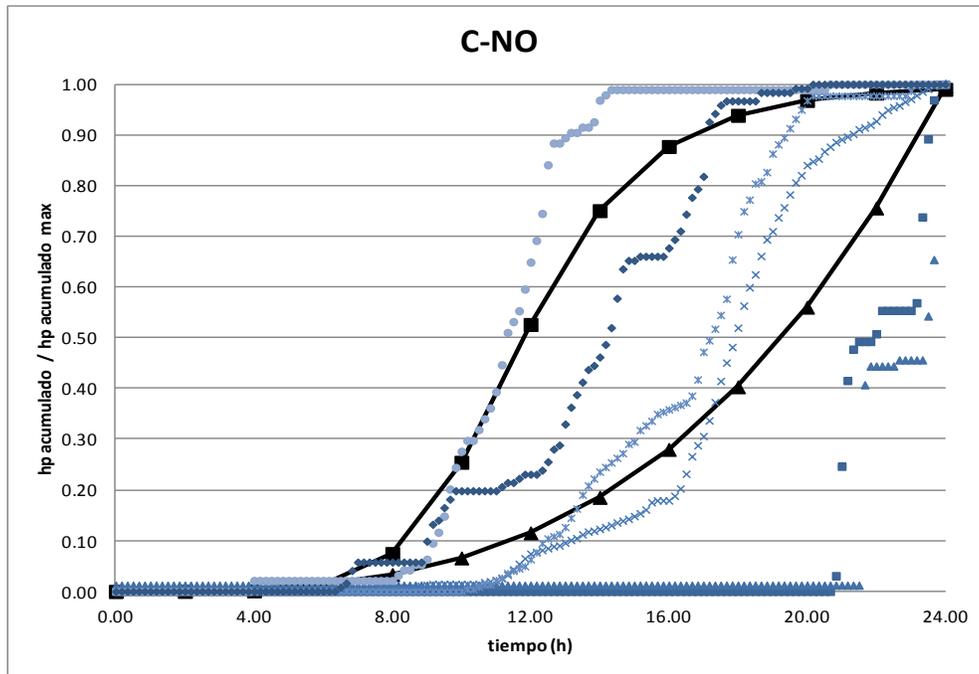


Figuras 10.3.8 Curvas características para la región C-PAS



Figuras 10.3.9 Curvas características para la región C-CE

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS



Figuras 10.3.10 Curvas características para la región C-NO

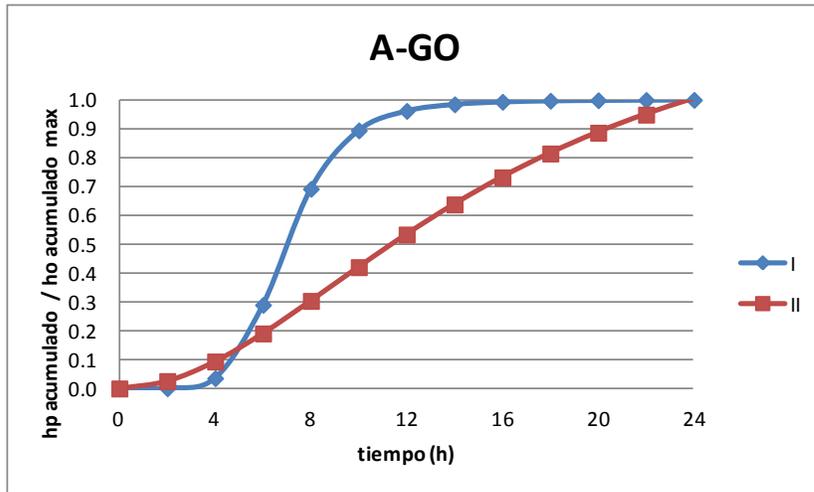
Se toman las coordenadas de las curvas para cada una de las regiones homogéneas y con la ayuda de un software que al que se le introducen los datos para hacer el ajuste de una ecuación que tenga una buena correlación, este programa arroja varios ajustes para los datos que se introducen, se selecciona la ecuación que tenga una mejor correlación con los datos.

### 10.4 Ficha técnica para cada región homogénea

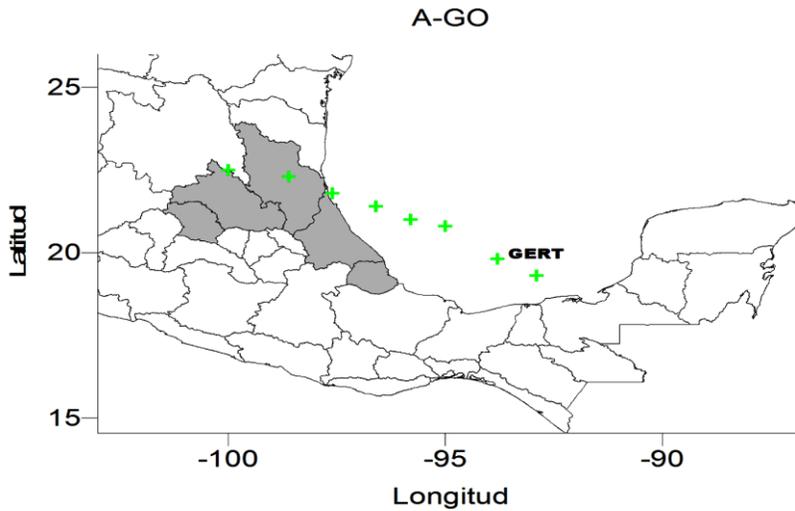
El comportamiento de las curvas para cada región, está definido por la dirección en la que el huracán se dirige, esto implica directamente en el comportamiento de las curvas, si el huracán se adentro a la región, si golpeo la costa, si paso muy cerca de la misma, o si estaba muy retirado de la región, por lo que finalmente se da una descripción de las curvas características de cada región, tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, también se presenta la ecuación general de la región homogénea y los coeficientes para cada subregión, además se da la recomendación de en qué momento tomar una u otra para hacer una modelación de una lluvia en 24 horas para predecir el comportamiento de una lluvia en una zona en la que no se tienen Estaciones meteorológicas automáticas, o también predecir el comportamiento de una lluvia futura antes de que el huracán afecte las costas para tomar medidas preventivas, y saber en qué momento del día se presentara la mayor intensidad de lluvia

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

**REGIÓN A**



Para la subregión A-GO se encuentran 2 curvas características del comportamiento de los huracanes que se analizaron para esta zona, en la cual, la curva I de la gráfica se presenta cuando el huracán está lejos de la región que se está analizando y la curva II se presenta cuando el huracán está muy cerca de la costa o se adentra en ella.



En el mapa se muestra la región A-GO en color gris, y para ilustrar el comportamiento de las curvas se muestra la trayectoria del huracán "GERT" inicia lejos de la región A-GO y se va acercando a esta hasta adentrarse dentro de la

región. Cabe mencionar que este no fue el único huracán que se analizó para dar estas recomendaciones de en qué momento usar cada curva.

La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

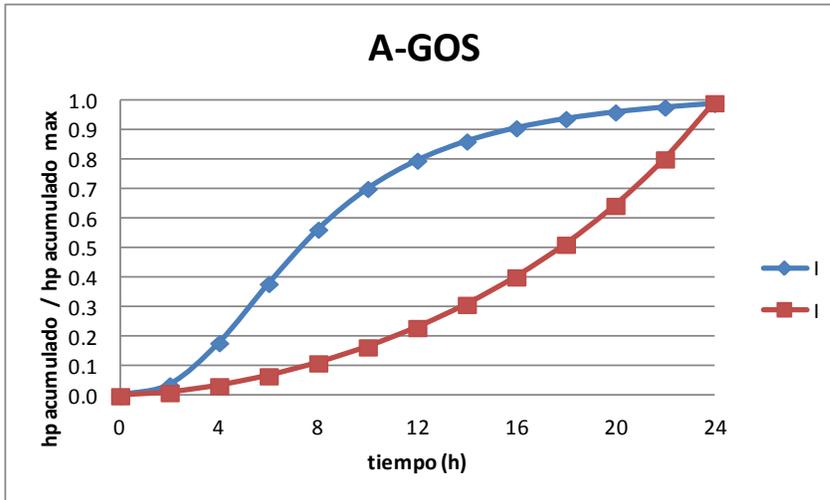
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

t = Tiempo (h)

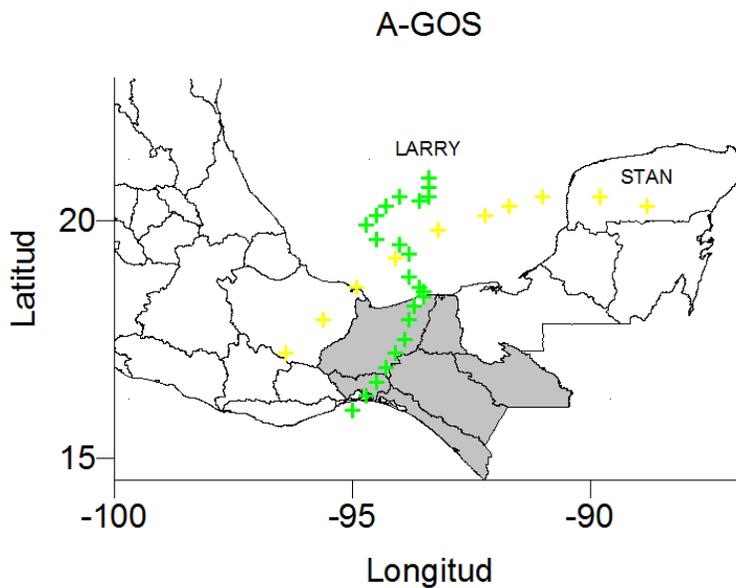
coeficiente	Curva I	Curva II
a	1	0.6879
b	99900	147.43
c	-5.9237	-1.94

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



En la subregión A-GOS se encuentran de igual manera 2 curvas características de la región.

El comportamiento de la curva I se presenta cuando el huracán tiene una gran incidencia en la región, tal como se aprecia en el mapa, el huracán LARRY se adentra en la región y en este caso cruza el territorio nacional para perder fuerza y desaparecer, mientras que la curva II se presenta cuando el huracán pasa muy cerca de la región, pero no se adentra en ella, tal y como se muestra en el mapa con el huracán STAN



La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

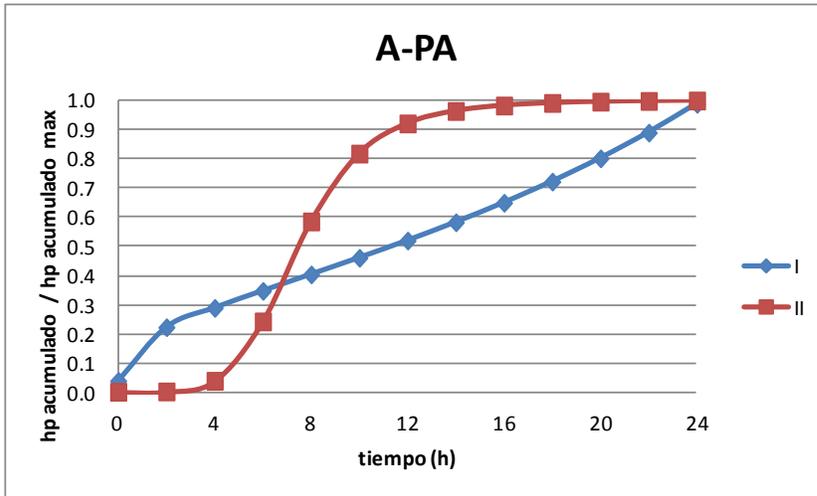
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

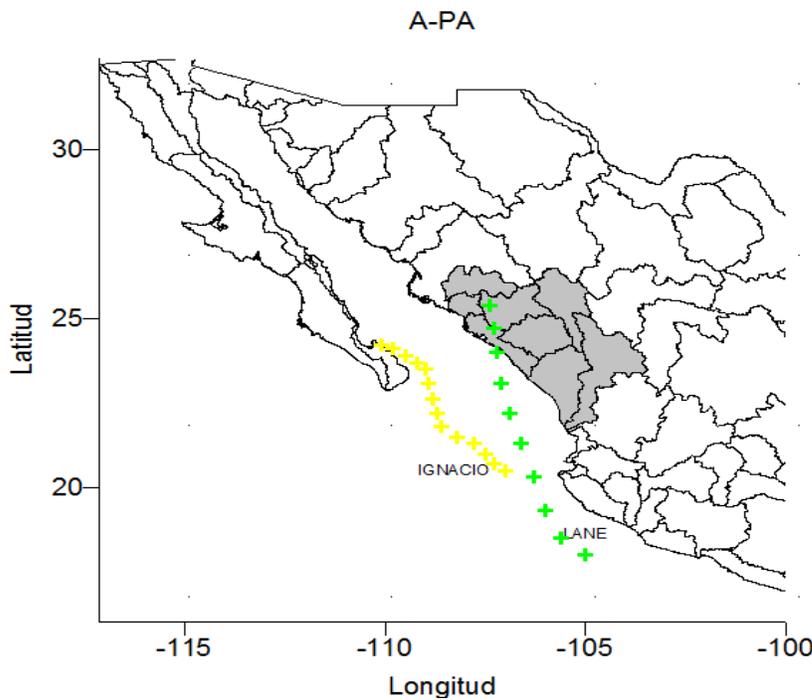
t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II
a	0.957	-0.532
b	147.43	299.84
c	-2.5	-1.659

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



En la subregión A-PA se presentan 2 curvas características, en las cuales, la curva I se presente cuando el huracán pasa retirado de la región como se muestra en el mapa con el huracán IGNACIO el cual tiene una trayectoria paralela a la costa de la región analizada, mientras que la curva II se presenta cuando el huracán pasa muy cerca de la costa, o se adentra en la subregión, tomando como ejemplo el huracán LANE, el cual la mayor parte del tiempo está muy cerca de las costas de la región, hasta que finalmente se adentra en ella y pierde la suficiente fuerza para desaparecer.



La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

Dónde:

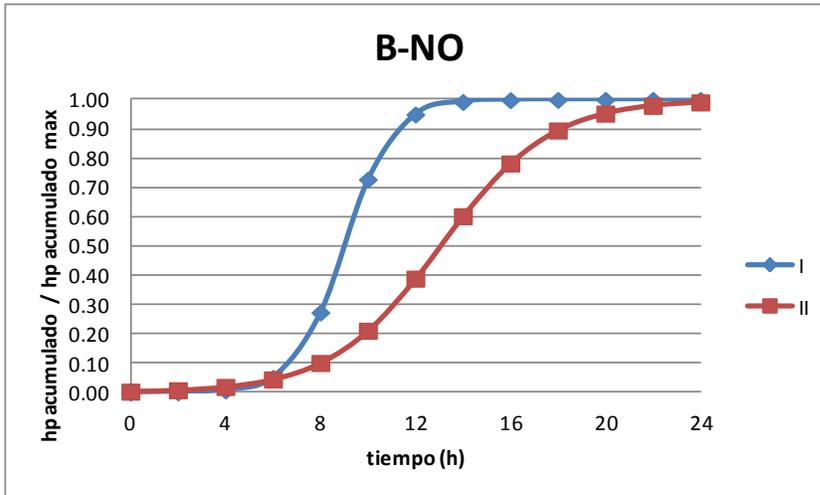
a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

t = Tiempo (h)

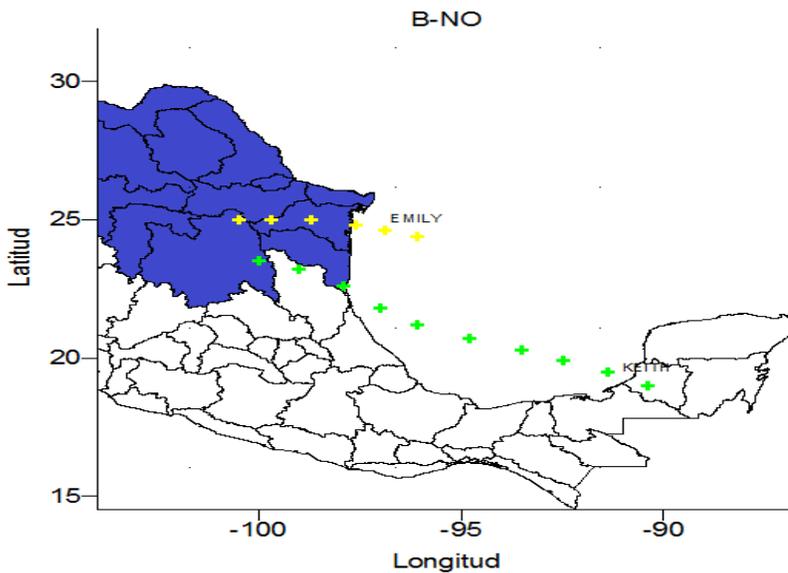
coeficiente	Curva I	Curva II
a	-16.9	1
b	22.52	32664.24
c	-0.072	-5.1605

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

**REGIÓN B.**



Para la subregión B-NO tenemos 2 curvas representativas de la región, la curva I corresponde al huracán KEITH el cual se adentra directamente a la región como se muestra en el mapa, mientras que para la curva II el huracán KEITH no tiene la misma incidencia sobre la región, ya que éste atraviesa todo el golfo antes de aproximarse a la región, además de que no se adentra completamente a la región, únicamente se aproxima mucho a esta, y cuando alcanza a tocar la región ya ha perdido la mayor parte de su fuerza.



La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$$

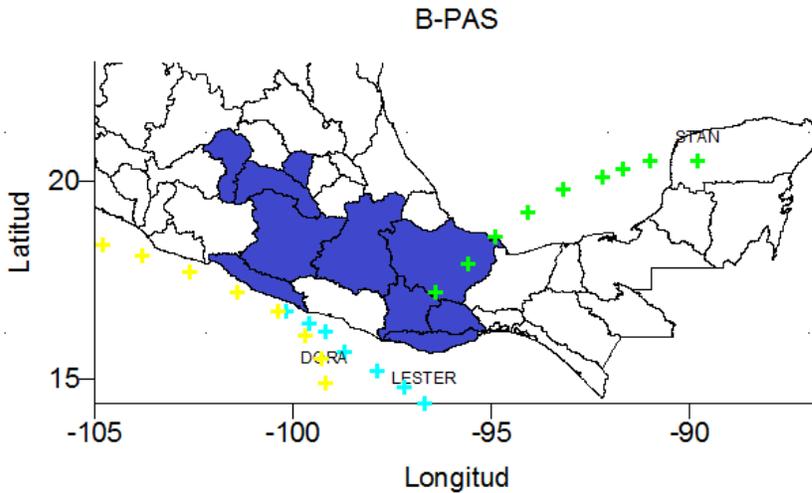
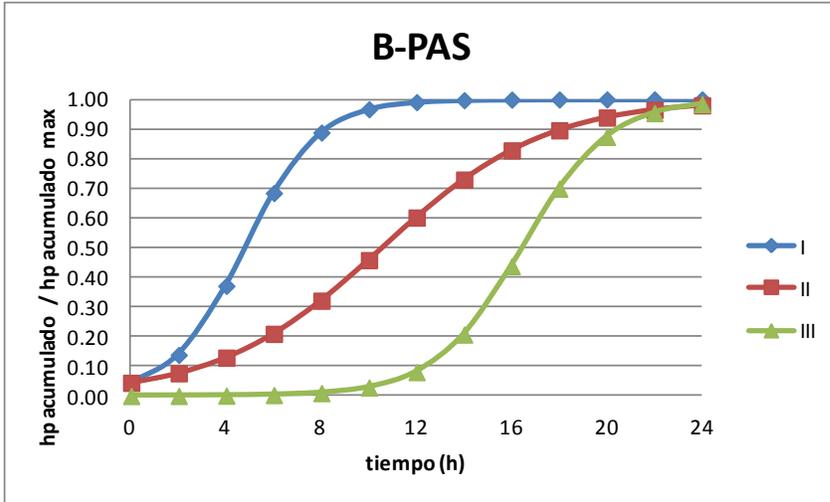
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II
a	1	1
b	6736.21	283.103
c	0.98	0.433

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



Para la subregión B-PAS tenemos 3 curvas representativas de la región, las cuales se muestran la grafica. La I y III se presentan cuando los huracanes pasa cerca de la región por la parte del pacifico, La curva I representa el comportamiento de la lluvia cuando el huracán está muy cerca de la región afectada, como se ve en el mapa con los Huracanes DORA y LESTER, y la curva 2 representa el comportamiento de la lluvia cuando el huracán está lejos de la región, como la trayectoria final del Huracán DORA cuando se aleja de la costa. La curva II representa el comportamiento de la lluvia cuando el

huracán afecta la zona adentrándose a la región por la zona del Golfo de México, como se muestra en el mapa con la trayectoria del Huracán STAN.

La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$$

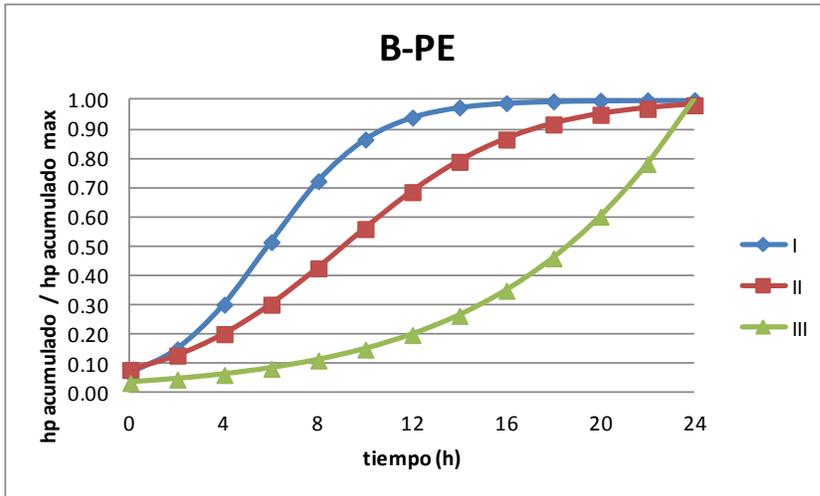
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

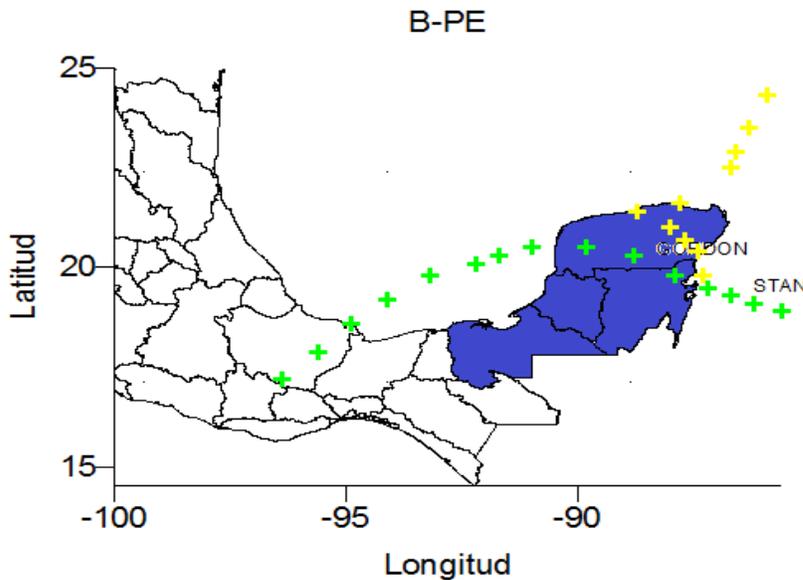
t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a	1	1	1
b	22.8	21.49	7988.26
c	0.65	0.29	0.546

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



En la subregión B-PE se presentan 3 curvas características, las cuales tienen un gran parecido con las de las dos subregiones anteriores. La curva I se presenta cuando el huracán está lejos de la región, tal es el ejemplo de el huracán GORDON antes de llegar a la costa de la península, La curva II se presenta cuando el huracán ha llegado a la costa, Mientras que la curva III representa el comportamiento de la precipitación cuando el huracán se adentra en la región, tal es el caso del huracán STAN, el cual atraviesa por completo la península y sigue su camino por parte del Golfo de México.



La ecuación general del comportamiento de las curvas mostradas es la siguiente

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$$

Donde:

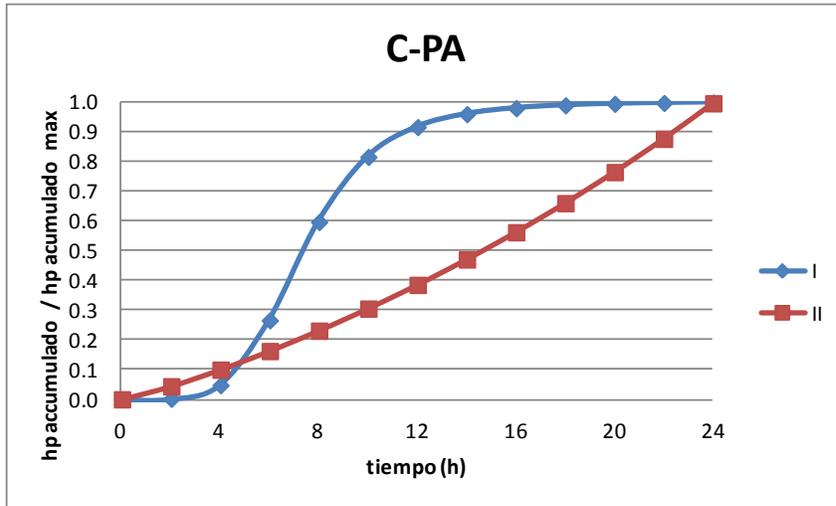
a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

t = Tiempo (h)

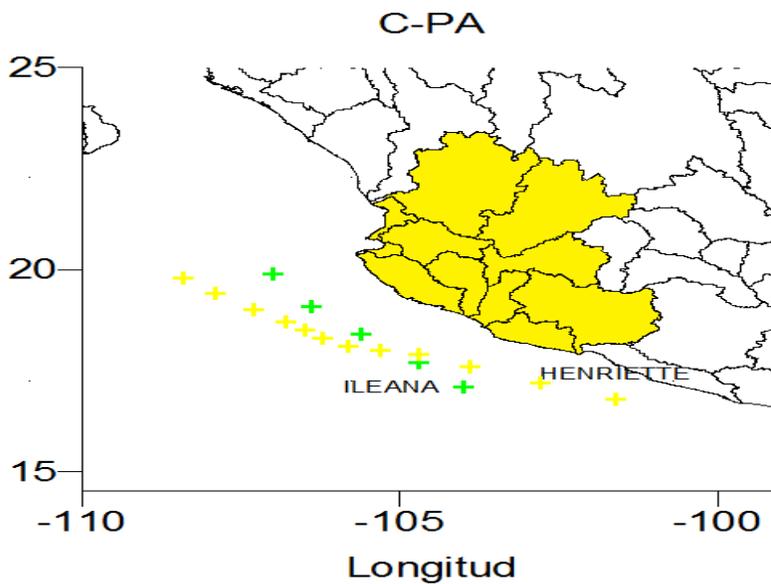
coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a	1	1	5.675
b	13.995	11.69	164.17
c	0.45	0.27	0.1485

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

**REGIÓN C**



En la subregión C-PA se encuentran 2 tipos de comportamientos que son característicos de la región, los cuales están definidos por las curvas que se muestran en la grafica, la curva I se presenta Cuando el huracán, está muy alejado de la costa, como se muestra en el mapa, al final de la trayectoria del huracán



HENRIETTE, mientras que la curva II ocurre cuando el huracán tiene una distancia mas próxima a las costas de la región, como el huracán ILEANA y el huracán HENRIETTE en el inicio de su trayectoria.

La ecuación general para el comportamiento de las curvas se presenta a continuación.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

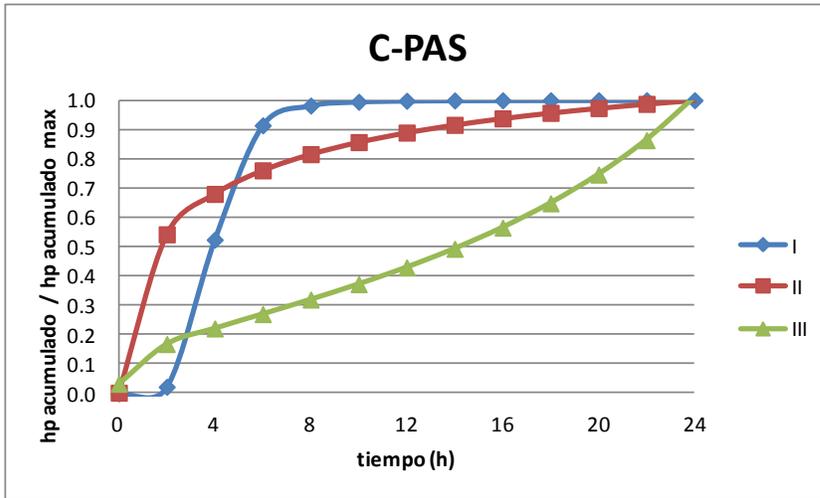
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

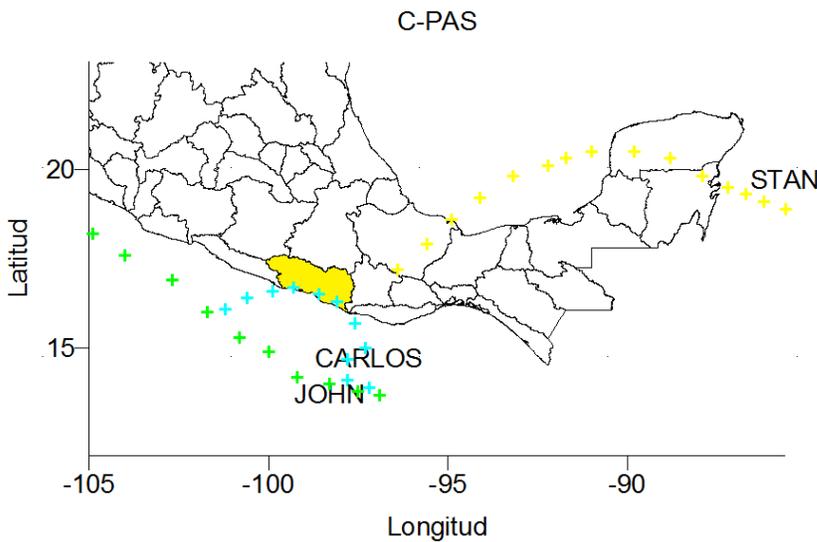
t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II
a	1	-0.2871
b	17538.9	51.597
c	-4.885	-1.16

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS



En la subregión C-PAS se determinaron 3 curvas características del comportamiento de la lluvia huracanada, esta región es muy pequeña y abarca solo una parte del estado de Guerrero. La curva I se presenta cuando el huracán no llega directamente a la costa, en este caso, el huracán STAN proviene del golfo de México, se adentra en el territorio nacional hasta que desaparece, pero nunca toca la región afectada, La curva II se presenta cuando el huracán está muy cerca de la costa por el pacífico, como se muestra en el mapa con el huracán JOHN, y finalmente la curva III se presenta cuando el



huracán toca la costa de la región, como se muestra en el mapa con el huracán CARLOS, el cual se acerca a la región y después recorre toda la costa de la región para finalmente alejarse de ella.

La ecuación general para el comportamiento de las curvas se presenta a continuación.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

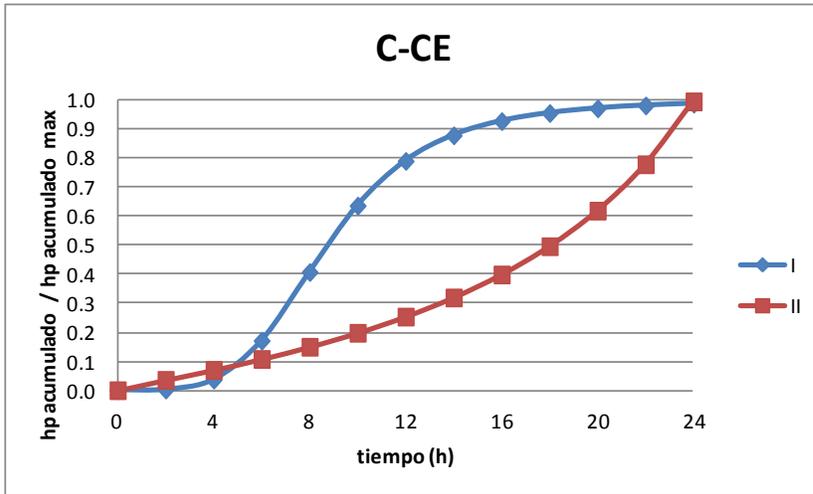
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

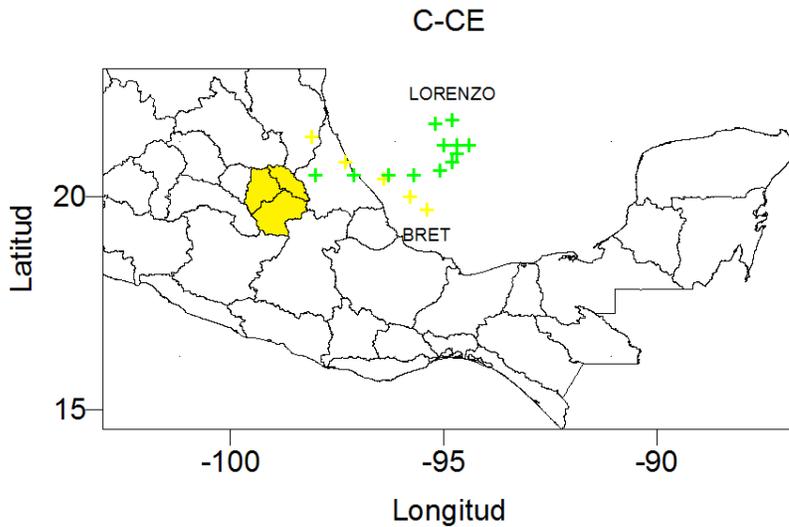
t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a	1	0.7653	-50.59
b	2134.98	1.65	58
c	-5.6	-0.6139	-0.0369

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS



Para la subregión C-CE tenemos 2 curvas características de la región que define el comportamiento de la lluvia. La curva I se presenta cuando el huracán se encuentra cerca de la costa pero no está muy cercano a ella, tal es el caso de el huracán BRET, el cual nunca llega a la subregión, mientras que la curva II se presenta cuando el huracán se adentra en el territorio nacional, aunque no toca la subregión, se aproxima demasiado a ella, como se muestra en el mapa con el huracán LOENZO.



La ecuación general para el comportamiento de las curvas se presenta a continuación.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

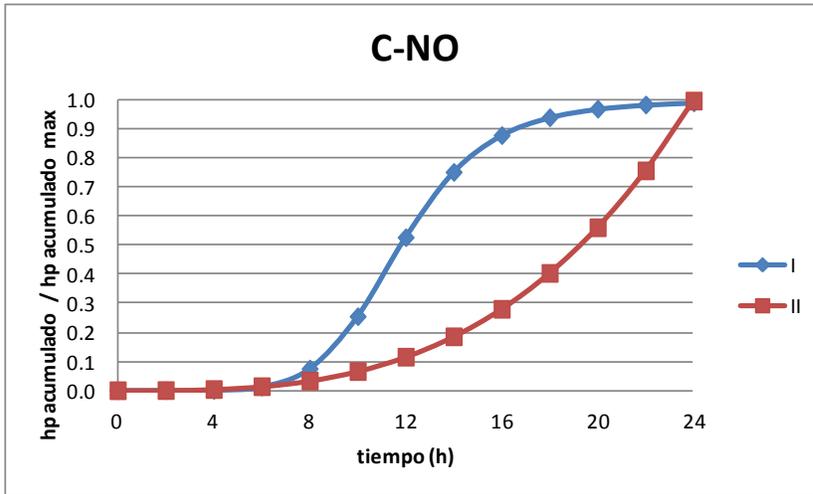
Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

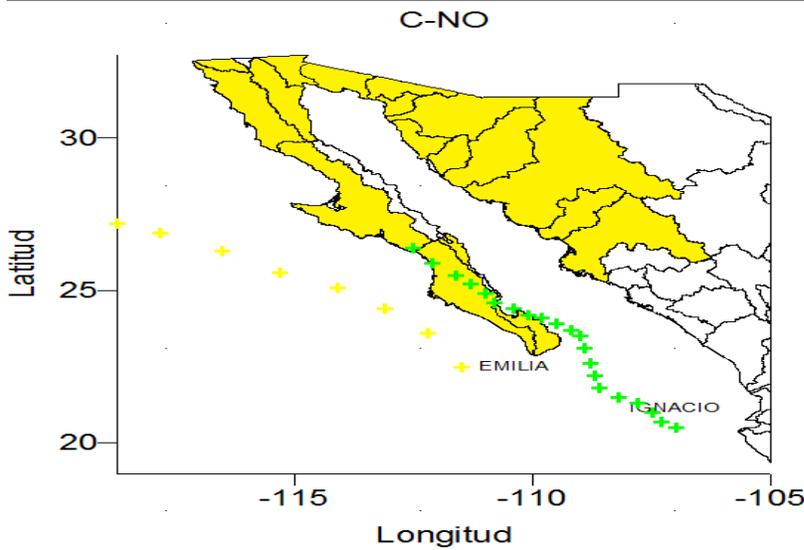
t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II
a	1	-2.588
b	8701.74	55.82
c	-4.18	-0.863

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**



En la subregión C-NO se determinaron 2 curvas características para la región. La curva I se presenta cuando el huracán pasa retirado de la costa, tal es el caso de el huracán EMILIA, el cual recorre la península de Baja California, y a medida que avanza se aleja más de las costas como se muestra en el mapa. Mientras que la curva II tiene lugar cuando el huracán pasa afecta directamente la región, pasando muy cerca de la región ó adentrándose en ella hasta que pierde su fuerza y desaparece, como se muestra en el mapa con el huracán IGNACIO.



La ecuación general para el comportamiento de las curvas se presenta a continuación.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

Dónde:

a, b, c = coeficientes determinados con el ajuste.

t = Tiempo (h)

coeficiente	Curva I	Curva II
a	1	-0.0409
b	8644194.73	17479
c	-6.47	-3.06

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

### 11. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo, se comprobarán las ecuaciones características para algunas de las subregiones hidrológicas de cada región homogéneas, a partir de comparar un histograma producido por un huracán con los datos de precipitación registrados por una EMA de la selección de estaciones representativas, con un histograma generado con las ecuaciones de la región a estudiar, usando los datos de las estaciones climatológicas convencionales, (registro en 24 horas).

Se toma un histograma producido por un huracán, para cada una de las subregiones hidrológicas, y se buscan estaciones convencionales cercanas a ésta estación automática y que pertenezca a la misma subregión hidrológica, para buscar registros de lluvia en 24 horas, de la misma fecha en la que se tiene el histograma de la EMA, para posteriormente aplicar las ecuaciones de comportamiento y comparar los histogramas.

Es necesario el mencionar, que las ecuaciones características de las regiones, nos dan como resultado la curva masa de la precipitación la cual es el acumulado de cada registro de precipitación a cada determinado tiempo, por lo que es necesario el generar el histograma este procedimiento se explica en el desarrollo de este capítulo.

Se mostrará el procedimiento para determinar un histograma para una subregión homogénea, y para las demás subregiones hidrológicamente homogéneas, únicamente se presentarán los histogramas obtenidos comparados con los histogramas reales obtenidos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs).

Para la región A-GO, se tiene el registro de lluvias del huracán “Bret” (figura 11.1), en la fecha 26/06/2005 en una de las EMAs representativas de esta región. Los datos de registro de lluvia corresponden a la estación: CPGM, Veracruz, están en la tabla 8.1 en el capítulo 8 de este documento, además se incluye también el figura 8.1 un mapa del territorio nacional en el cual se encuentra la posición de cada una de las estaciones representativas para cada región hidrológica.

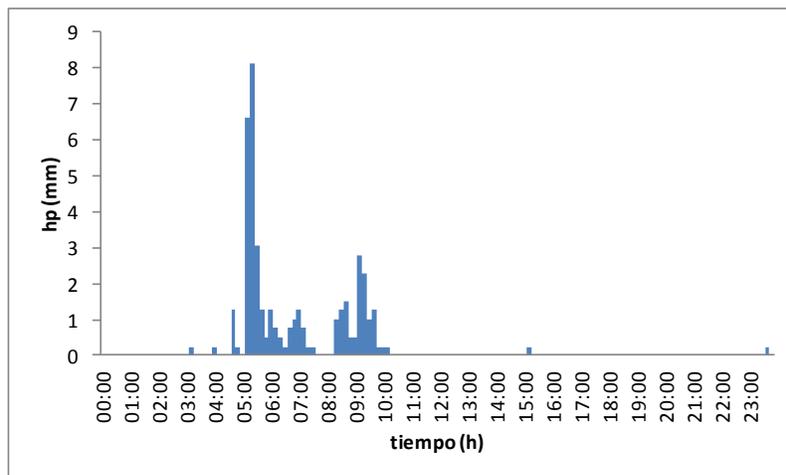


Figura 11.1 Histograma del huracán Bret 26/06/2005. Estación: EMA CPGM

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

Así también, se buscaron estaciones convencionales que estuvieran dentro de esta región A-GO y cercanas a la EMA de la que se determinó el histograma, de éstas estaciones convencionales se buscan registros de precipitación en 24 horas para la fecha mencionada anteriormente, éstos registros de precipitación fueron extraídos de la base de datos que tiene el software ERIC-III, en este caso, para esta fecha, se tiene un registro de lluvia en 24 horas de 146 mm de lamina de lluvia en la estación 30056 (El tejar, Medellín), este valor de precipitación es muy elevado, por lo que evidentemente existió una lluvia extrema ocasionada por un huracán. Una vez que se tienen éstos datos, se aplican las ecuaciones descritas en el capítulo 10 para la región a la que corresponde la estación A-GO.

Para la ecuación I de la región A-GO, se tienen los valores de (hp acumulado / hp acumulado máximo) los cuales van de 0 a 1, estos valores fueron determinados por la ecuación con los coeficientes correspondientes para la ecuación I y dando un intervalo de tiempo cualquiera, en este caso, se usa un intervalo de tiempo de 1 hora.

$$\frac{hp \text{ acumulado}}{hp \text{ acumulado maximo}} = \frac{1}{a + bt^c}$$

Conociendo estos valores para cada intervalo de tiempo, y conociendo el hp acumulado máximo, el cual corresponde a la precipitación en 24 horas, lo único que se hace es despejar hp acumulado para cada intervalo de tiempo, como se muestra en la tabla 11.1

Los datos de la parte inicial, son los datos característicos de las curvas para cada región, y la precipitación en 24 horas de la estación meteorológica convencional que se seleccionó.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

1	2	3	4	5	6	7
coeficiente	Curva I	Curva II	hp 24 (mm)	REGIÓN A-GO		
a	1	0.6879	146			
b	99900	147.43				
c	-5.9237	-1.94				
tiempo (h)	hp / hp acum curva I	curva masa	histograma (mm)	hp / hp acum curva II	curva masa	histograma (mm)
0.0001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2	0.0	0.1	0.1	0.0	3.7	2.7
3	0.0	1.0	0.9	0.1	8.0	4.3
4	0.0	5.2	4.2	0.1	13.6	5.6
5	0.1	17.7	12.5	0.1	20.3	6.7
6	0.3	42.3	24.5	0.2	27.8	7.5
7	0.5	73.5	31.3	0.2	35.9	8.1
8	0.7	100.9	27.4	0.3	44.3	8.4
9	0.8	119.4	18.5	0.4	52.8	8.5
10	0.9	130.5	11.0	0.4	61.3	8.5
11	0.9	136.7	6.3	0.5	69.7	8.4
12	1.0	140.3	3.6	0.5	77.8	8.1
13	1.0	142.4	2.1	0.6	85.6	7.8
14	1.0	143.7	1.3	0.6	93.0	7.4
15	1.0	144.4	0.8	0.7	100.1	7.0
16	1.0	144.9	0.5	0.7	106.7	6.6
17	1.0	145.3	0.3	0.8	113.0	6.2
18	1.0	145.5	0.2	0.8	118.8	5.8
19	1.0	145.6	0.1	0.9	124.2	5.4
20	1.0	145.7	0.1	0.9	129.3	5.1
21	1.0	145.8	0.1	0.9	134.0	4.7
22	1.0	145.8	0.1	0.9	138.4	4.4
23	1.0	145.9	0.0	1.0	142.5	4.1
24	1.0	145.9	0.0	1.0	146.3	3.8

Tabla 11.1 Determinación de histogramas para la región A-GO

Columna 1: intervalo de tiempo propuesto.

Columna 2: valor de (hp / hp acumulado máximo) correspondiente a cada intervalo de tiempo, este valor fue determinado con la ecuación usando las formulas de Excel.

Columna 3: se obtuvo multiplicando la hp en 24h por la columna 2.

Columna 4: se determino haciendo la resta de los valores de la columna 3, es el valor que corresponde a la fila, menos el valor anterior. Como ejemplo, para cuando t=5 h se tiene un valor en la columna 4 de 12.5, el proviene de la resta de la columna 3 menos el anterior de la misma columna.  $17.7 - 5.2 = 12.5$

Columnas 5,6,7: corresponden a las columnas 2,3,4 respectivamente, pero para la ecuación II o curva II.

Una vez que se tienen estas tablas, para determinar los histogramas se grafica los valores de las columnas 4 y 7 para los intervalos de tiempo determinados a manera de grafica de barras. Como se muestra en las figuras

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

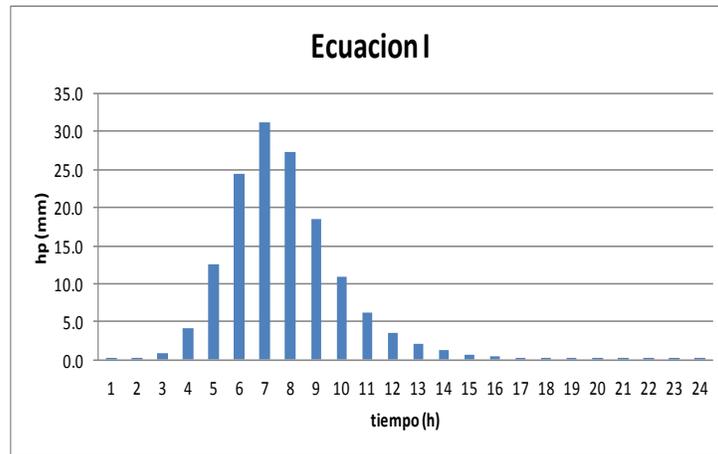


Figura 11.2 Histograma determinado con la ecuación I de la región A-GO.

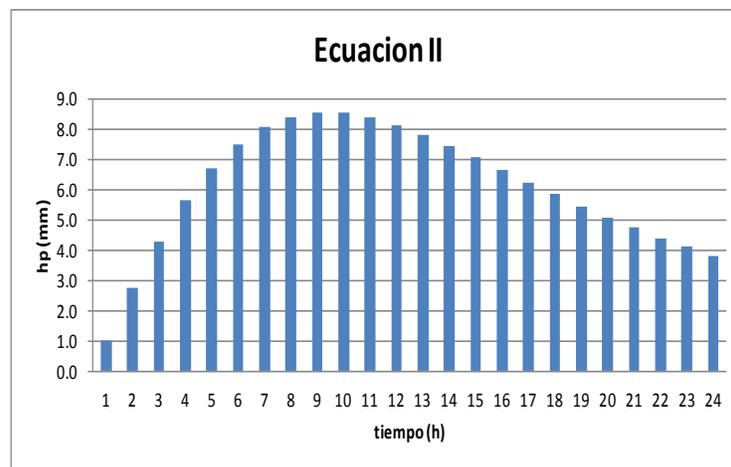


Figura 11.3 Histograma determinado con la ecuación II de la región A-GO.

Se presentan estos dos histogramas generados, con los 2 tipos de curvas que definen la región A-GO, los cuales tienen diferentes comportamientos, en la figura 11.2 se muestra como la distribución temporal de la lluvia es completamente diferente a la de la figura 11.3. Tomando en cuenta que en la figura 11.3 la tormenta ocasionada por el huracán fue a lo largo de todo el día, mientras que en la figura 11.2 la tormenta duró aproximadamente 10 horas, por lo que corresponde más al histograma determinado con la EMA, el cual tiene un registro de lluvia a cada 10 minutos, figura 11.1. De esta manera se puede ver que el momento en el que existe una mayor intensidad de lluvia, ocurre a las 7 a.m. según la figura 11.2 teniendo una intensidad de lluvia de poco más de 30 mm/h.

Con este valor se pueden tomar medidas preventivas para evitar cierto tipo de desastres, saber si las obras hidráulicas de desalaje de agua, (canales, ríos, etc) tienen la capacidad de encausar esta precipitación y no provocar daños a la infraestructura urbana.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

En lo que corresponde a la región B-NO, la cual tiene 2 comportamientos de lluvia, se muestran las graficas del histograma real, producido por el huracán Erika, figura 11.4 además de los histogramas determinado con las ecuaciones características de esta región Figura 11.5 y 11.6.

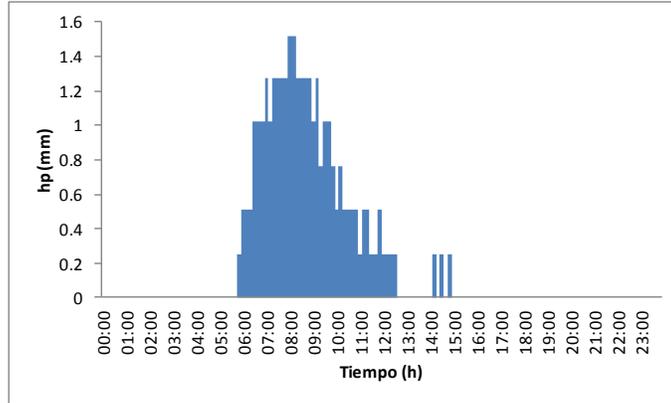


Figura 11.4 Histograma del huracán Erika. Estación: EMA Matamoros.

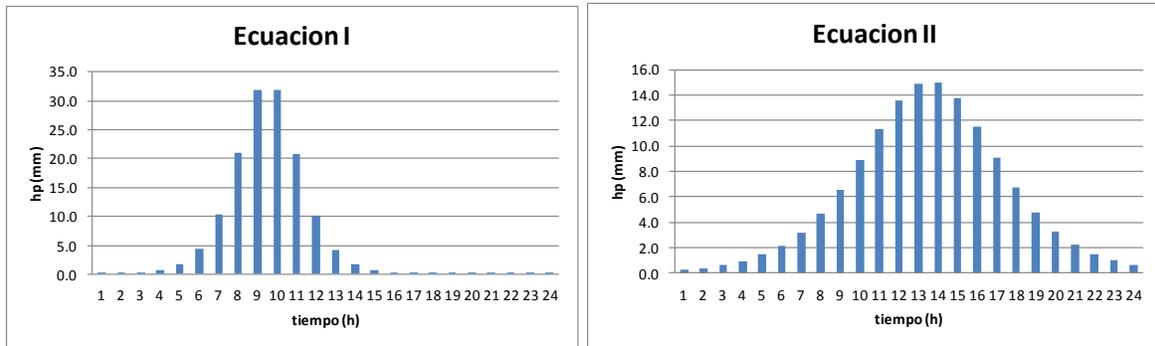


Figura 11.5 y 11.6 Histogramas generados por las ecuaciones representativas de la región.

Haciendo una comparación del histograma real, con los que se generaron con las curvas características de la región homogénea, presentan comportamientos muy similares, pero el de la ecuación I es sin duda el que más se asemeja a el real, por lo que el huracán que lo produjo ocurrió con las características que se muestran en las fichas técnicas de la región para la ecuación I. además de que el histograma de la ecuación II presenta una tormenta que dura las 24 horas, mientras que el real y el de la ecuación I tienen una duración menor. Pero con una mayor intensidad de lluvia. Es necesario el mencionar que el histograma real fue hecho con registros de lluvia a cada 10 minutos, mientras que para los de las ecuaciones se usó un intervalo de 1 hora.

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

En la región C-NO se muestra de igual manera en la figura 11.7 el histograma real del huracán Ignacio, y los histogramas generados con las ecuaciones características de la región. Figura 11.8 y 11.9

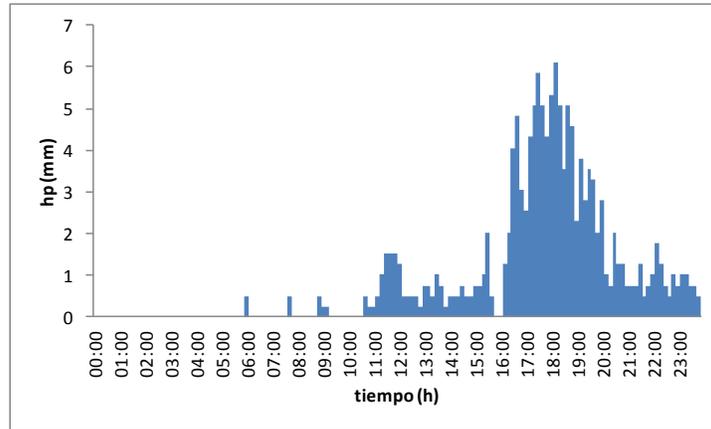


Figura 11.7 histograma del huracán Ignacio. Estación EMA Cd. Constitución.

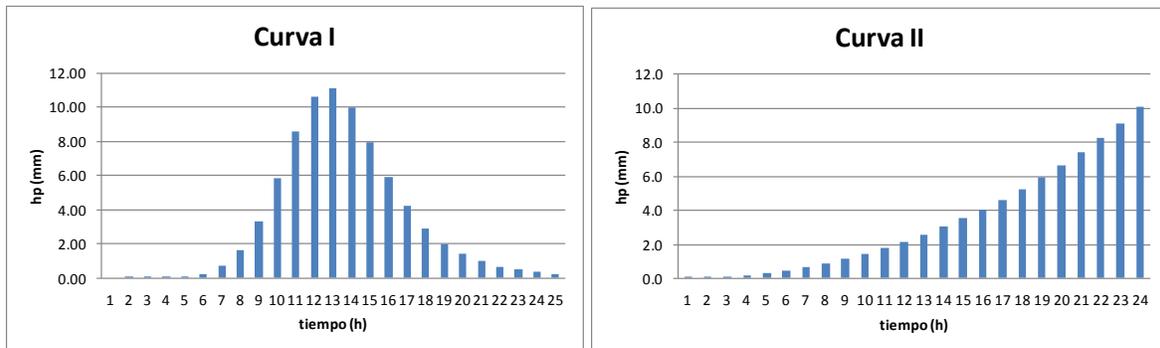


Figura 11.8 y 11.9 Histogramas generados por las ecuaciones representativas de la región.

Se aprecia en las graficas, que también existe un comportamiento similar entre el histograma real, y el histograma de la ecuación I, mientras que en el histograma II no tiene el mismo comportamiento, este comportamiento ocurre cuando la tormenta continua al día siguiente, y se presentara el caso cuando ocurra con las condiciones mencionadas en las fichas técnicas en las cuales se hacen recomendaciones de cuando usar cada una de las curvas características de la región dependiendo de cercanía del huracán, de si el huracán se adentra en la región afectada o únicamente pasa por las costas de ésta región.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

### **12. CONCLUSIONES.**

Los métodos de regionalización hidrológica han demostrado una gran confiabilidad en la estimación de campos de lluvia (Creutin y Obléd, 1982; Lebel y Laborde, 1988; Holawe y Dutter, 1999; Goovaerts, 2000; Humber y Iroume, 2001). En este caso las isoyetas tradicionales calculadas sin la influencia de fenómenos extremos como huracanes lineales, no representan la variabilidad real de las lluvias. Sin embargo, cuando se realiza un análisis de homogeneidad de regiones se pueden caracterizar patrones de ocurrencia tanto en magnitud como en frecuencia del fenómeno de la precipitación, que permiten sin duda tener un mejor conocimiento del fenómeno. Estos campos de precipitación asociados a las trayectorias de huracanes y que ocurren en cuencas hidrológicamente homogéneas, son de gran utilidad para las unidades Protección Civil estatales y para la Comisión Nacional del Agua, son las instituciones encargadas de salvaguardar los bienes nacionales y la vida de las personas en situaciones de emergencia.

El uso de programas computacionales nos ayuda a realizar de una manera más rápida y eficiente el análisis de regiones homogéneas, los índices de proximidad con la ayuda de un software hace una herramienta eficiente para asociar y agrupar datos hidroclimatológicos con características similares.

El uso de Dendogramas, nos ayuda a comprender gráficamente el proceso de agrupación de los datos usados para caracterizar al país por regiones hidrológicamente homogéneas.

Los comportamientos de lluvias huracanadas, son difíciles de predecir y de comprender, por lo que la herramienta presentada es útil para tener una mejor comprensión de estos eventos extremos, ya que no se ha hecho mucha investigación científica para estos eventos, siendo unos de los desastres naturales que más afectan a las regiones de Latinoamérica, especialmente a nuestro territorio nacional. Mediante las técnicas de regionalización, se logró caracterizar al país en 3 regiones hidrológicamente homogéneas, las cuales a su vez se dividen en subregiones debido a que no son contiguas, pero pertenecen al mismo grupo, por lo que presentan comportamientos hidroclimatológicos similares y distintos a los otros grupos, tal y como se demostró en el contenido de este documento y en las fichas técnicas para cada región, las cuales se encuentran en el capítulo 10 de esta investigación, estas técnicas de regionalización, permiten transferir información de una región a otra que tenga el mismo comportamiento, teniendo la certeza de que al transferir la información de precipitación, el error producido será mínimo, ya que teóricamente tienen el mismo comportamiento. A diferencia de transferir información de una región a otra sin tener una previa regionalización, ya que el hacerlo genera resultados completamente erróneos y extremos algunos casos ya que no existe un estudio que demuestre que las regiones tengan comportamientos similares. Una buena aplicación de esta investigación, es el usar las ecuaciones generadas para el comportamiento de lluvia en un lugar de la misma región homogénea, usando datos de las estaciones meteorológicas convencionales para convertir esta precipitación en 24 horas, en una precipitación distribuida temporalmente a lo largo del día, con el intervalo de tiempo deseado, o predecir el comportamiento de la lluvia ocasionada por un huracán que se aproxima cierta región, usando los criterios mencionados en las fichas técnicas de las regiones.

## **CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

Al convertir precipitaciones de 24 horas a una lluvia distribuida en el tiempo, se conocen las intensidades máximas presentadas en la región analizada, y de esta manera se pueden tomar las medidas de prevención necesarias, por ejemplo, si la capacidad de drenaje de la ciudad en riesgo es lo suficientemente grande para desalojar el agua de lluvias sin ocasionar inundaciones, esto en el caso de que existan lluvias intensas en periodos cortos de tiempo, si en lo contrario tenemos lluvias de poca intensidad y un periodo largo de duración es necesario conocer si los embalses o presas tienen la capacidad de retener el volumen total de agua captada por los escurrimientos en la cuenca o si existe el riesgo de que se desborde.

La comprobación de resultados, permite verificar la calidad de las ecuaciones generadas, ya que al usar una ecuación y compararla con los registros reales de lluvia, nos damos cuenta que sin duda tienen una gran similitud. Por lo que podemos concluir que se logró una buena regionalización del territorio nacional.

Finalmente me gustaría hacer un comentario sobre una forma diferente de analizar la distribución temporal de la lluvia ocasionada por una tormenta, en este documento, se muestra el comportamiento de la lluvia en 24 horas, pero en algunos de los casos, los registros de lluvia se cortan al comenzar otro día, esto quiere decir que la tormenta se presenta en la transición de un día a otro, y a partir del día siguiente, por lo que la tormenta es dividida en dos tormentas diferentes y comenzando con el acumulado de lluvia en cero para la segunda tormenta.

Si se analizara el evento de precipitación por periodos completos, sin importar que estos fueran mayores o menores a 24 horas al convertir el eje de las abscisas en un eje adimensional como lo es el eje de las ordenadas ( $hp$  acumulado /  $hp$  acumulado máximo), de esta manera se obtiene una gráfica unitaria en ambos ejes. ( $hp$  acumulado /  $hp$  acumulado máximo) vs. ( $t$  acumulado /  $t$  acumulado máximo). En las gráficas donde se muestran todas las curvas  $S$  para cada subregión, se aprecian curvas con un comportamiento muy similar, pero están desfasadas en el tiempo, si se convierte unitario el eje de las abscisas es muy probable que las curvas queden encimadas o muy cercanas, además de tomar tormentas completas en una sola gráfica, como en el caso en el que la tormenta tenga una duración mayor a 24 horas o ocurra entre la transición de un día a otro. Este tipo de análisis hace más fácil en analizar y comprender el comportamiento de las lluvias huracanadas, y generar ecuaciones características más certeras para cada subregión hidrológicamente homogénea.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

**13. BIBLIOGRAFIA**

Blachet, G. *Analyse cartographique de la pluviometrie annuelle dans la region Rhone-Alpes*. Eaux et climat, CNRS. pp 109-115. (1981)

Balica S. F., Wright N. G., F. van der Meulen (2012). *A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts*. Natural Hazards Journal, June 2012

Creutin, J, y Obled, C. *Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison*. Journal, Water Resources Research, Vol 18, No 2, pp 413-431. (1982)

Ewing Bradley T., Hein Scott E., Krsu Brown J. (2006). *Insurer Stock Price Responses to Hurricane Floyd: An Event Study Analysis Using Storm Characteristics*. Weather and Forecasting, Volume 21. American Meteorological Society. p.396

Fuzhong W. Tong Z. Babghua Y. (2007) *Satellite Data Assimilation in Numerical Weather Prediction Models. Part II: Uses of Rain-Affected Radiances from Microwave Observations for Hurricane Vortex Analysis*. Special section volume 64. Journal of the Atmospheric Sciences. American Meteorological Society p.3910

Goovaerts, P. Geostatistical., *Approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall*, Journal of Hydrology, Vol 288 (1-2) pp. 113-129. (2000)

Gow-Fong Lin y Lu-Hsien Chen, *Identification of homogeneous regional frequency analysis using the self-organizing map*, Journal of Hydrology 324, 9 pp. (2006)

Gutierrez A. Thierry Lebel. Luc Descroix., *Reflexiones Sobre el concepto de cuencas hidrológicamente homogéneas*, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil,. Octubre (2004)

Heinz D. Fill y Jerry R. Stedinger, *Homogeneity tests based upon Gumbel distribution and a critical appraisal of Dalrymple's test*. Journal of Hydrology 166 (1995).

Holawe, F. y Dutter, R. *Geoestatistical study of precipitation series in Austria: time and space*, Journal of Hydrology, Vol 219 (1-2) pp 70-82. (1999)

Huber , A. y Iroume, A. *Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile*, Journal of Hydrology, Vol 248 (1-4) pp 78-92. (2001).

James B. Elsner. (2003). *Traking Hurricanes*. Monthly Bullerin, American Meteorological Society p.353

James P. Kossin and Wayne H. Schubert. (February 2004). *Mesovortices in Hurricane Isabel*. Monthly Bullerin, American Meteorological Society. P.151

Martín Rodríguez Bocanegra.  
Querétaro, 2013

## CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS

John A. Knaff, James P. Kossin and Mark Demaria. (2003). *Annular Hurricanes*, Weather and forecasting. Volume 18. American Meteorological Society p.204

Jonkman S.N., Vrijling J. K., (2008). *Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method*. Natural Hazards Journal (2008) 46:353–389

Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. y Manetas, A., (1998). *A comprehensive study of rainfall intensity-duration-frequency relationships*. Journal of Hydrology, Vol. 206 (1-2) pp. 118-135

Lebel, T. y Laborde, J. *A geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment*. Stochastic Hydrology and Hydraulics. 2, pp 245-261. (1988).

Loukas, A., (2002) *Flood frequency estimation by a derived distribution procedure*, Journal of Hydrology, Vol. 255 (1-4) pp. 69-89.

Mctaggart-Cowan R., Bosart L. F., Christopher A. Davis, Atallah Eyad H., Gyakum John R., Emanuel Kerry A. *Analysis of Hurricane Catarina (2004)*. Volume 134 monthly weather review. November 2006. american meteorological society p.3029

Ouarda, Taha B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S. y Bobée, B., (2001) *Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis*, Journal of Hydrology, Vol. 254 (1-4) pp. 157-173.

Pielke Roger A. Jr. and Landsea Christopher W. (1998). *Normalized Hurricane Damages in the United States: 1925–95*. Weather and forecasting. American Meteorological Society p.621

Ramírez Cerdá Jorge *Caracterización de precipitaciones Máximas e índices de sequía de la republica mexicana*, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. 127 pp. (2011).

Rasmussen P.F., B. Bobée y J. Bernier. (1994) *Une méthodologie générale de comparaison de modèles d'estimation régionale de crue*. Revue des Sciences de l'Eau 7 (1) : 23-41

Simpson R. H. (1998). *Stepping Stones in the Evolution of a National Hurricane Policy*. Weather and forecasting. Volume 13, september 1998. American Meteorological Society p. 617

S.H. Mkhandi, B. P. Parida, *Flood Frequency analysis of southern Africa*, Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques 45(3) june (2000).

Taffa, Tulu., (1991). *Simulation of streamflows for ungauged catchments*, Journal of Hydrology, 129 3-17.

**CAMPOS DE LLUVIA GENERADOS POR HURACANES EN CUENCAS  
HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS**

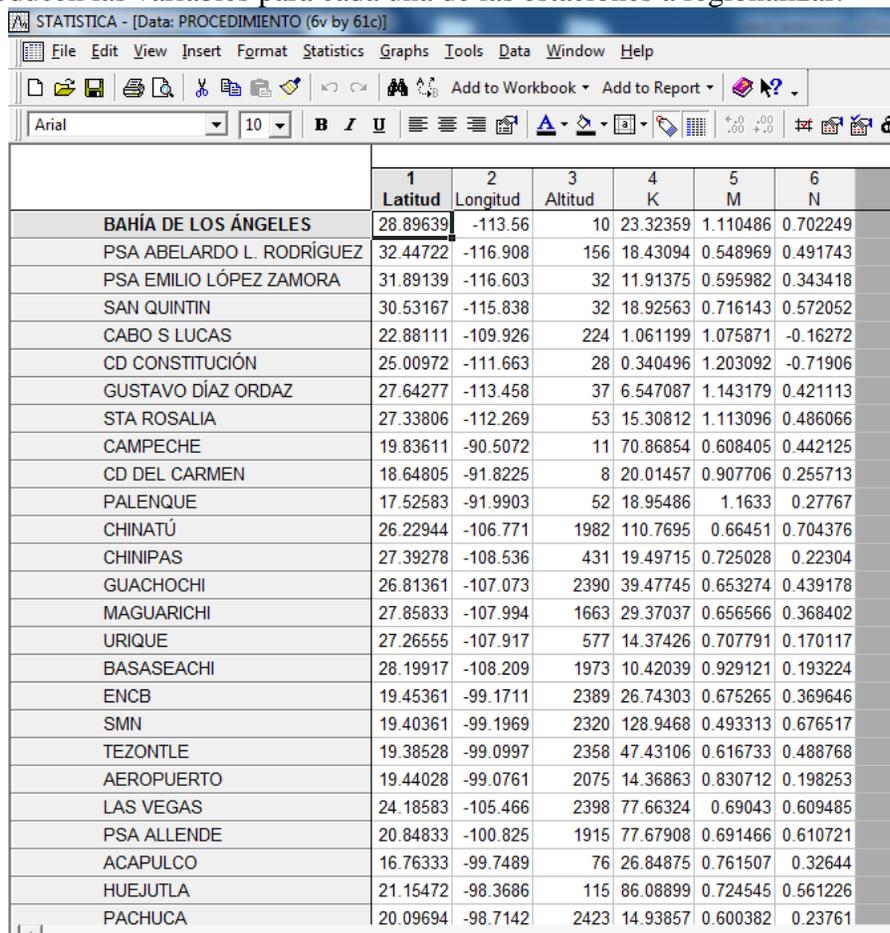
Young C. Kwon and William M. Frank (2005). *Dynamic Instabilities of Simulated Hurricane-like Vortices and Their Impacts on the Core Structure of Hurricanes. Part I: Dry Experiments*. Journal of the Atmospheric Sciences. Volume 62, American Meteorological Society. p.3956

## ANEXOS.

### Anexo 1

A continuación se muestra el procedimiento para la regionalización con este Software.

1.- Se introducen las variables para cada una de las estaciones a regionalizar.



	1	2	3	4	5	6
	Latitud	Longitud	Altitud	K	M	N
BAHÍA DE LOS ÁNGELES	28.89639	-113.56	10	23.32359	1.110486	0.702249
PSA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	32.44722	-116.908	156	18.43094	0.548969	0.491743
PSA EMILIO LÓPEZ ZAMORA	31.89139	-116.603	32	11.91375	0.595982	0.343418
SAN QUINTIN	30.53167	-115.838	32	18.92563	0.716143	0.572052
CABO S LUCAS	22.88111	-109.926	224	1.061199	1.075871	-0.16272
CD CONSTITUCIÓN	25.00972	-111.663	28	0.340496	1.203092	-0.71906
GUSTAVO DÍAZ ORDAZ	27.64277	-113.458	37	6.547087	1.143179	0.421113
STA ROSALIA	27.33806	-112.269	53	15.30812	1.113096	0.486066
CAMPECHE	19.83611	-90.5072	11	70.86854	0.608405	0.442125
CD DEL CARMEN	18.64805	-91.8225	8	20.01457	0.907706	0.255713
PALENQUE	17.52583	-91.9903	52	18.95486	1.1633	0.27767
CHINATÚ	26.22944	-106.771	1982	110.7695	0.66451	0.704376
CHINIPAS	27.39278	-108.536	431	19.49715	0.725028	0.22304
GUACHOCHI	26.81361	-107.073	2390	39.47745	0.653274	0.439178
MAGUARICHI	27.85833	-107.994	1663	29.37037	0.656566	0.368402
URIQUE	27.26555	-107.917	577	14.37426	0.707791	0.170117
BASASEACHI	28.19917	-108.209	1973	10.42039	0.929121	0.193224
ENCB	19.45361	-99.1711	2389	26.74303	0.675265	0.369646
SMN	19.40361	-99.1969	2320	128.9468	0.493313	0.676517
TEZONTLE	19.38528	-99.0997	2358	47.43106	0.616733	0.488768
AEROPUERTO	19.44028	-99.0761	2075	14.36863	0.830712	0.198253
LAS VEGAS	24.18583	-105.466	2398	77.66324	0.69043	0.609485
PSA ALLENDE	20.84833	-100.825	1915	77.67908	0.691466	0.610721
ACAPULCO	16.76333	-99.7489	76	26.84875	0.761507	0.32644
HUEJUTLA	21.15472	-98.3686	115	86.08899	0.724545	0.561226
PACHUCA	20.09694	-98.7142	2423	14.93857	0.600382	0.23761

Figura 6.3.1

2.- Se va al apartado donde dice “statistics” y se busca el submenu de “Multivariate Exploratory Techniques”, ahí se selecciona la opción de “Cluster Analysis”

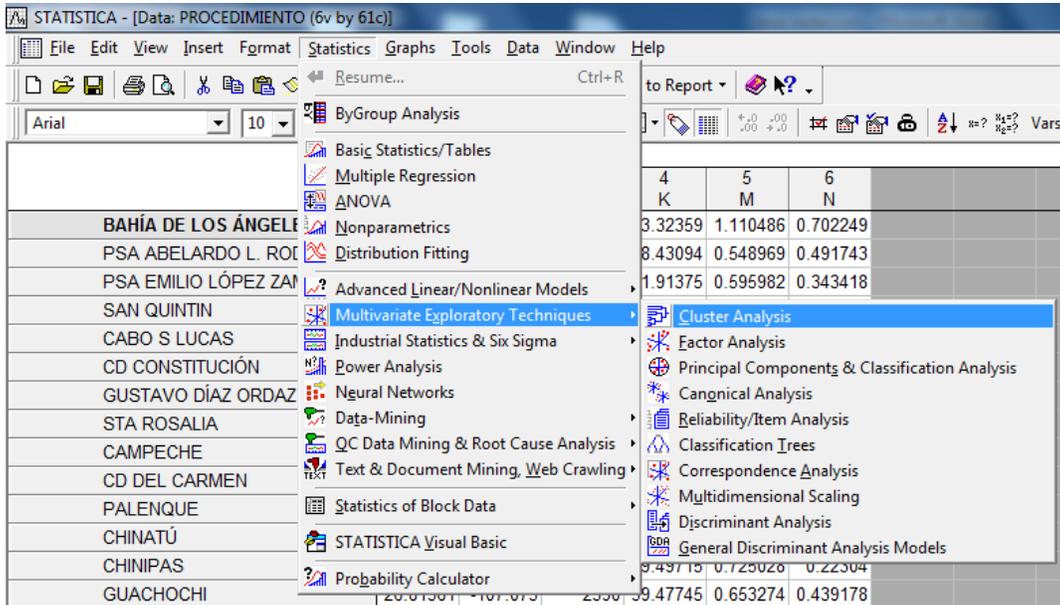


Figura 6.3.2

Una vez que se selecciona lo anterior, aparece esta ventana, donde que da las opciones en las que el programa puede hacer la regionalización, seleccionar la primera, en la cual se encuentran los dendogramas (joining “tree clustering”).

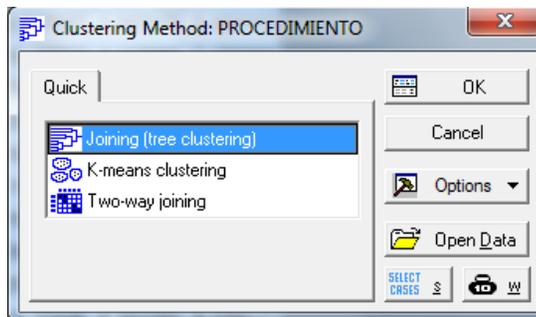


Figura 6.3.3

3.- Cuando se selecciona la opción y se presiona ok, aparece una nueva ventana en la que se selecciona primero las variables que se analizaran, y se da un click a donde dice “variables”.

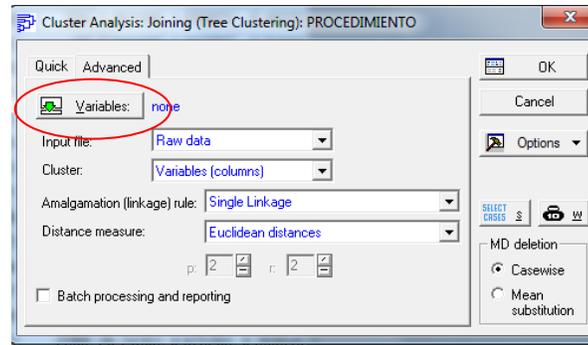


Figura 6.3.4

- 4.- Aparece esta ventana, en donde se encuentran todas las variables que se introdujeron en el paso 1. Dar click en “select all” para que el programa tome en cuenta todas las variables y presionar ok.

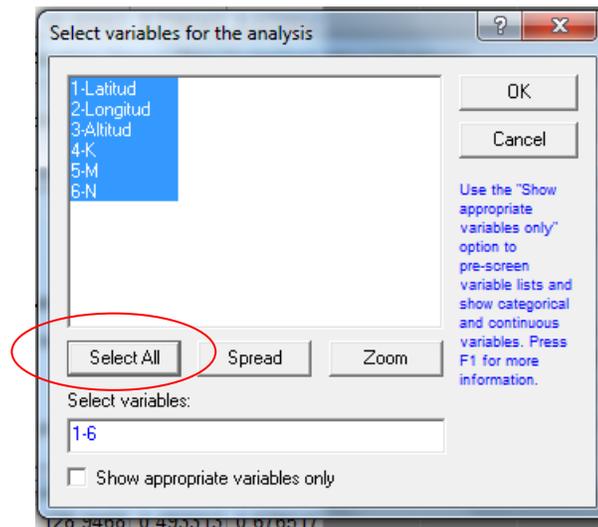


Figura 6.3.5

- 5.-Ahora en “cluster” seleccionar “cases (rows)”

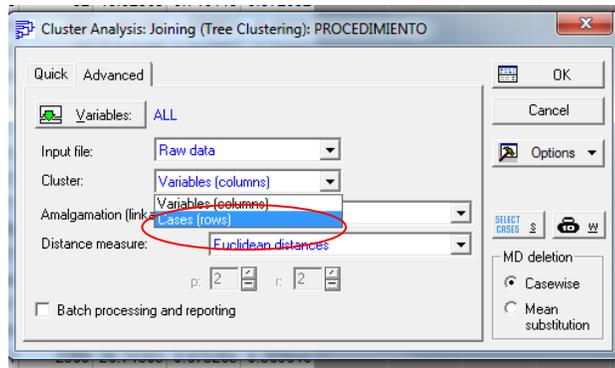


Figura 6.3.6

6.- Se selecciona el índice de proximidad que se desea usar para el análisis los cuales están descritos en el apartado 6.1, para este ejemplo se usó el ligado simple.

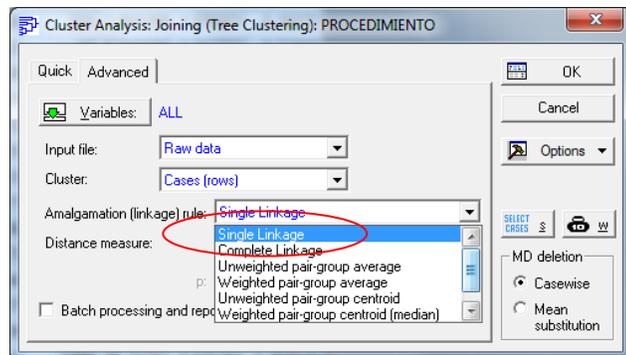


Figura 6.3.7

7.- Seleccionar la Regla de agregación que usara el programa para el análisis y regionalización de las variables, en este ejemplo se usa la distancia euclidiana.

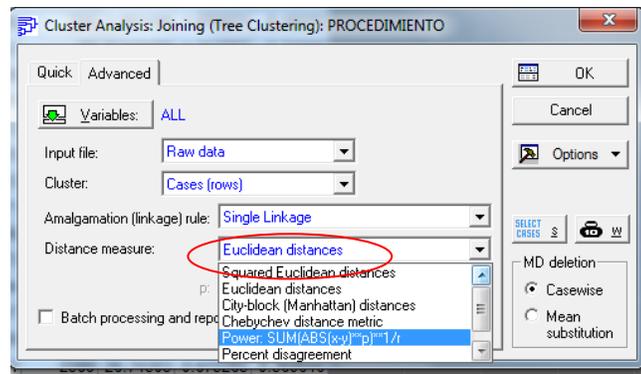


Figura 6.3.8

8.- Una vez que se configuraron todas las opciones presionar “ok” para que comience a hacer el análisis, esto puede tardar algún tiempo dependiendo de las características de la computadora que se esté usando.

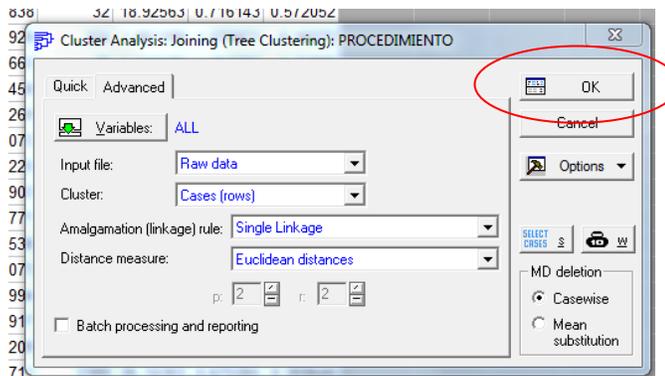


Figura 6.3.9

9.- cuando la computadora termina de hacer el análisis nos aparece esta ventana, y para ver el Árbol Jerárquico (Dendograma) existen 2 formas de verlo, en forma vertical y horizontal. Seleccionar la forma en la cual queremos que el programa presente el grafico.

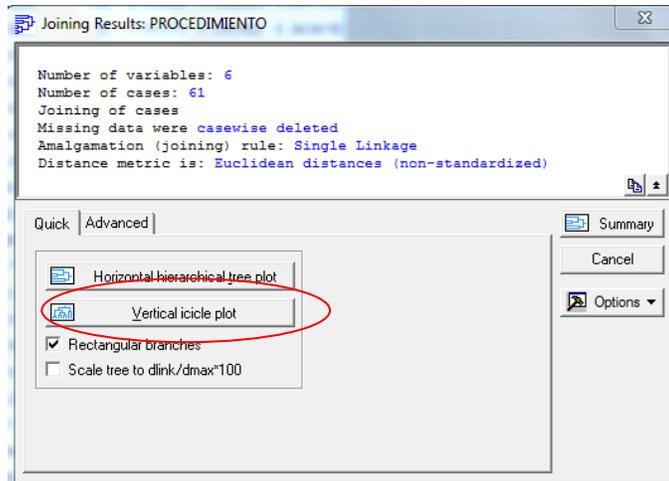


Figura 6.3.10

Este es el dendograma para la configuración anterior de cada una de las estaciones y la manera que se van agrupando en cada iteración. El objetivo es generar 3 grupos, por lo que la distancia a la que se forman los 3 grupos deseados es 400 usando la regla de agregación “single Distance” (ligado simple). El dendograma generado se muestra en la figura Figura 6.3.11 y la distribución geografica de las regiones homogeneas se muestra en la figura 6.3.12

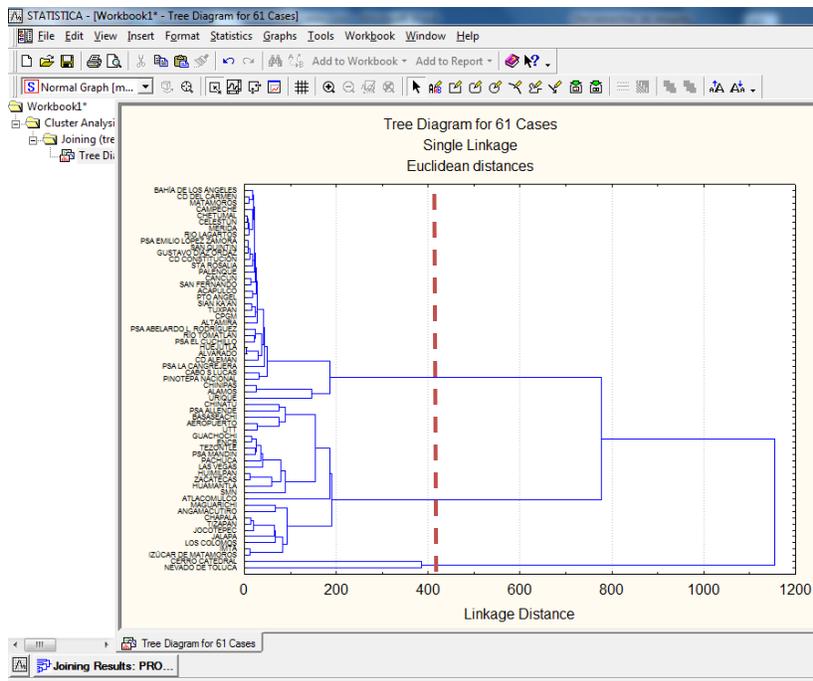


Figura 6.3.11

En este dendograma se aprecia la agrupación de las estaciones a medida que incrementa la distancia de agregación, cada subgrupo se une a otro que tenga el comportamiento similar, nuestro objetivo es el crear 3 regiones homogéneas, por lo que en este dendograma en particular la distancia de agregación a la que esto ocurre es 400, usando el ligado simple.

Para comprender de mejor manera, tracemos una línea imaginaria, perpendicular al eje de las abscisas a la distancia de agregación deseada, en este caso 400, esta línea imaginaria corta el dendograma y las líneas que son cortadas son las que contienen a los 3 grupos homogéneos.

El valor de la distancia de agregación para formar los 3 grupos homogéneos, puede variar dependiendo de la combinación que se está analizando.

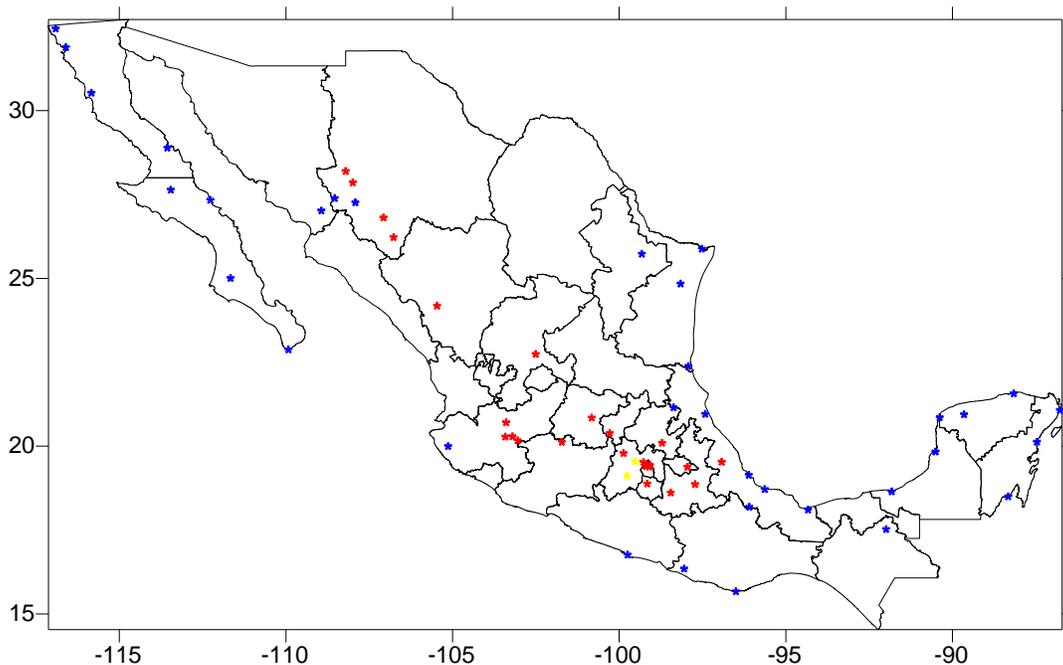


Figura 6.3.12 Distribución geográfica de las 3 regiones homogéneas

En la figura 6.3.12 se muestra la distribución geográfica de los 3 grupos que se generaron con el programa, se aprecia en la imagen que dos de los grupos tienen muchas estaciones, mientras el último grupo está conformado únicamente por 2. Con las variables utilizadas para este análisis se agruparon las estaciones de la costa, las que no están tan cercanas a la costa y en el centro de el país formaron un nuevo grupo, y el último grupo se formó únicamente con 2 estaciones, las cuales son “cerro cathedral, México” y “nevado de Toluca, México”

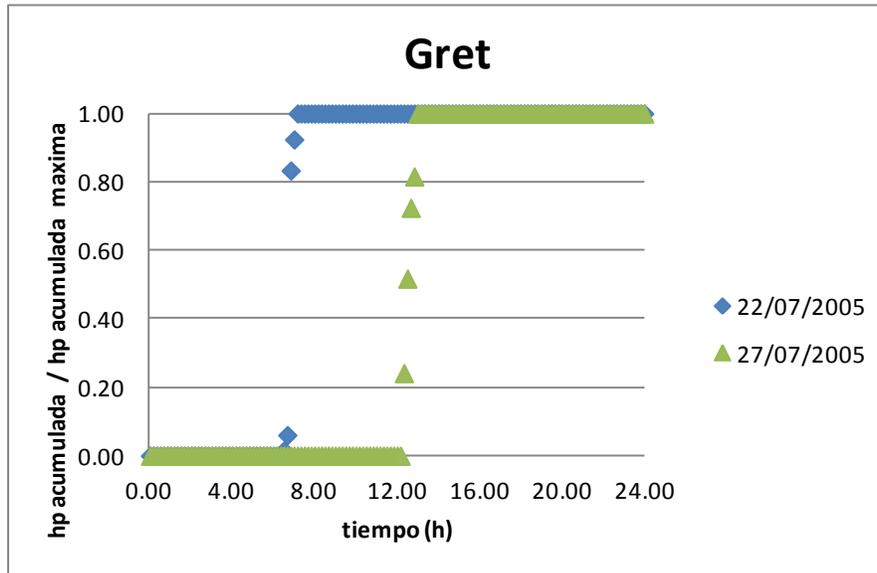
## Anexo 2.

Curvas “S” para los huracanes que afectaron las regiones hidrológicamente homogéneas.

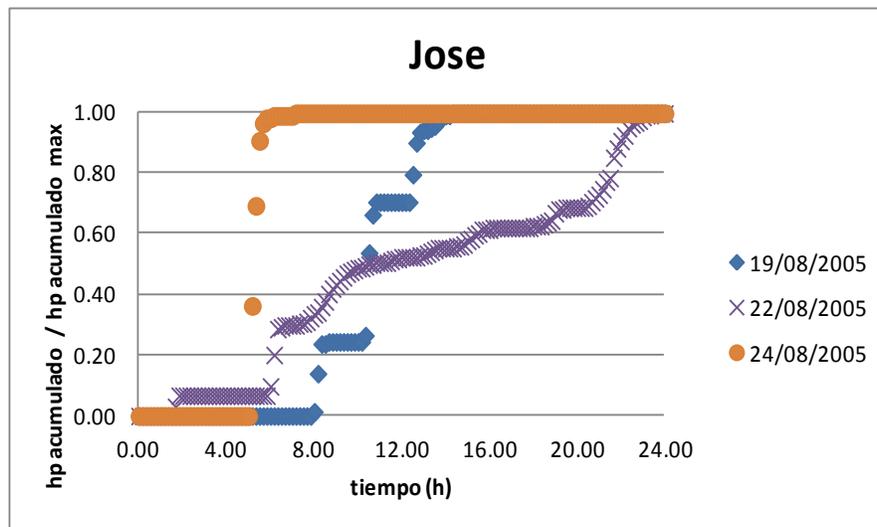
En las siguientes graficas se muestran las curvas del comportamiento de la lluvia por día para cada huracán que afectó las zonas a analizar, estas graficas se obtuvieron con los

registros de precipitación a cada 10 minutos que nos dan las EMAs (Estaciones Meteorológicas Automáticas) de las cuales se hizo una selección de las estaciones representativas para casa subregión hidrológica.

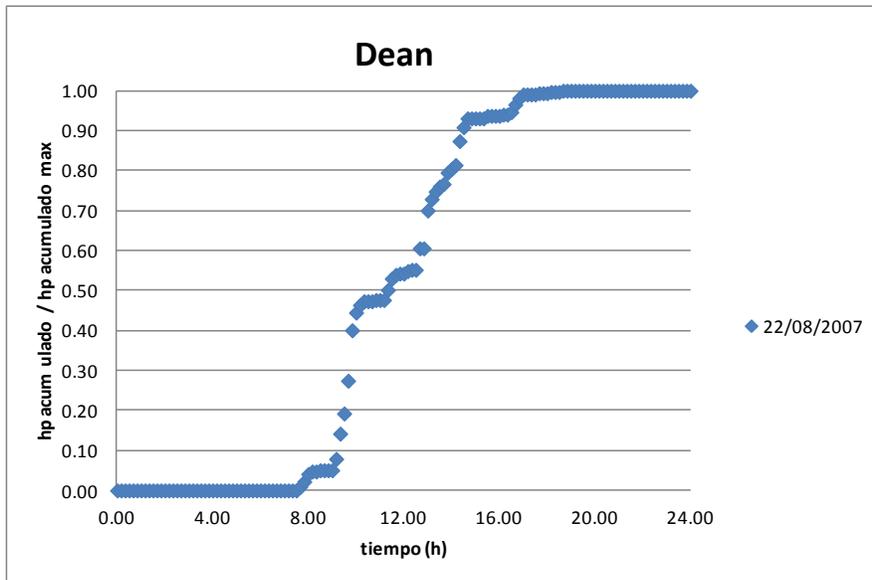
### REGIÓN A



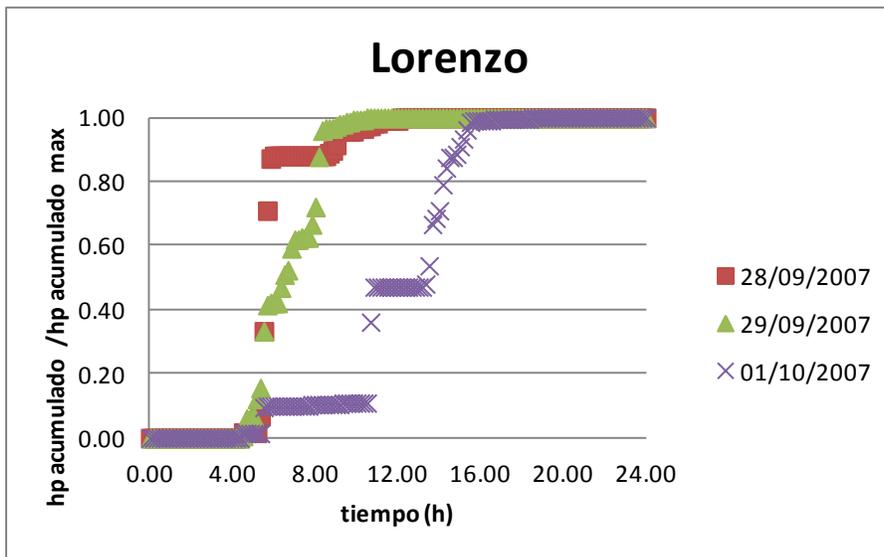
Huracán “Gret” estación CPGM, región A-GO



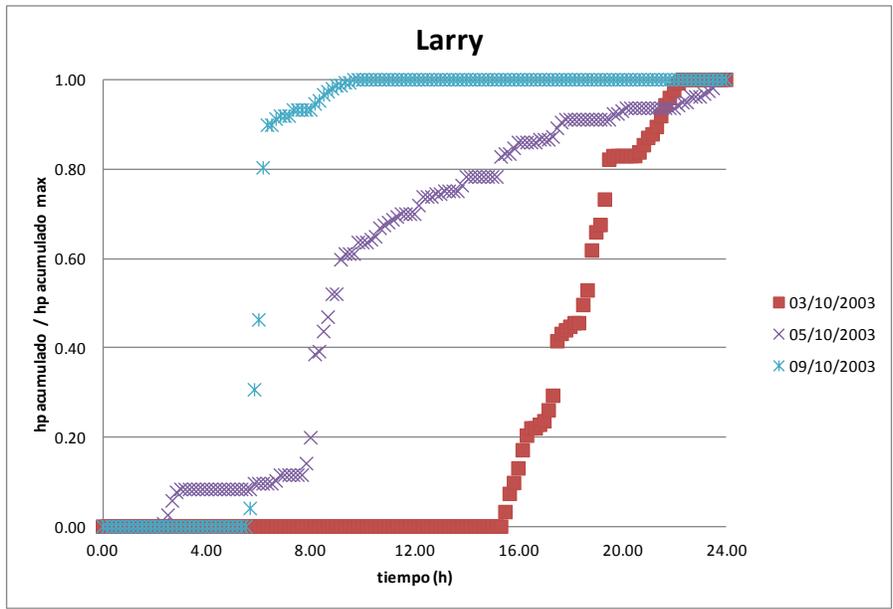
Huracán “Jose” estación CPGM, Región A-GO



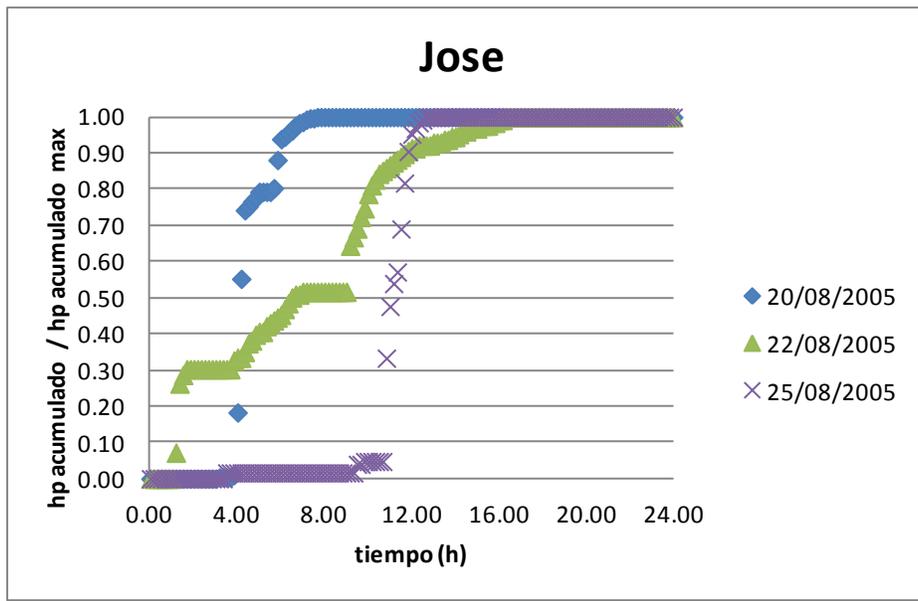
Huracán "Dean" estación Tuxpan Ver, Región A-GO



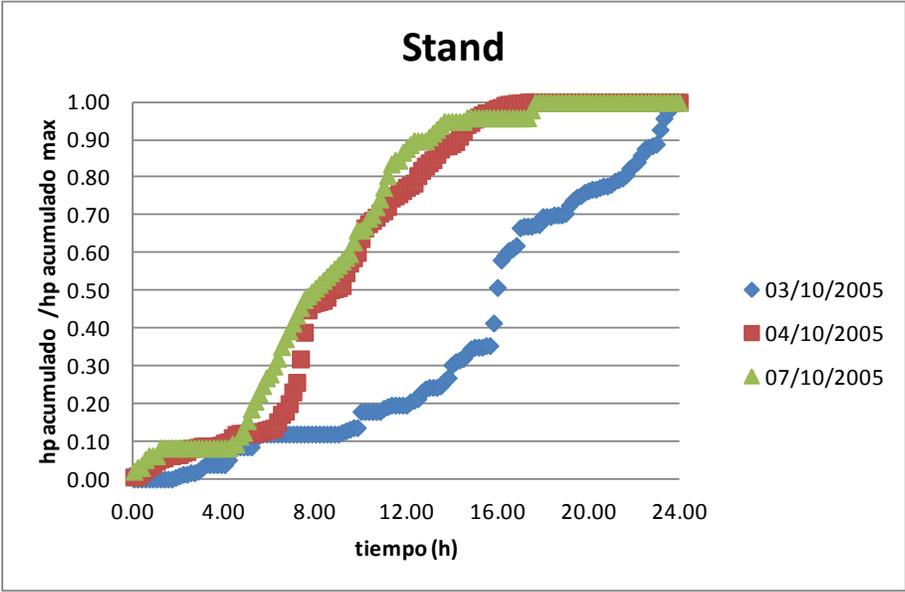
Huracán "Lorenzo" estación CPGM, Región A-GO



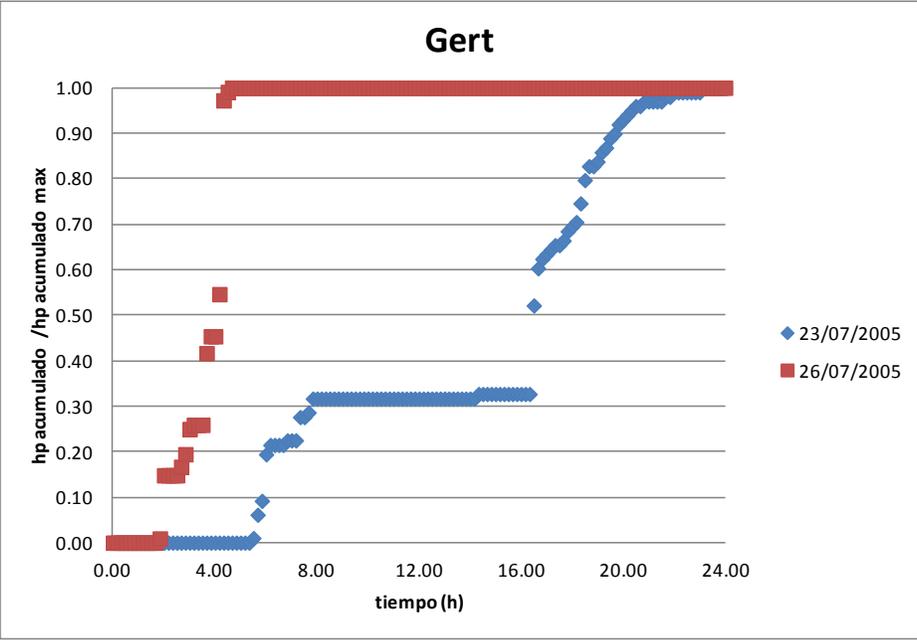
Huracán “Larry” estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS



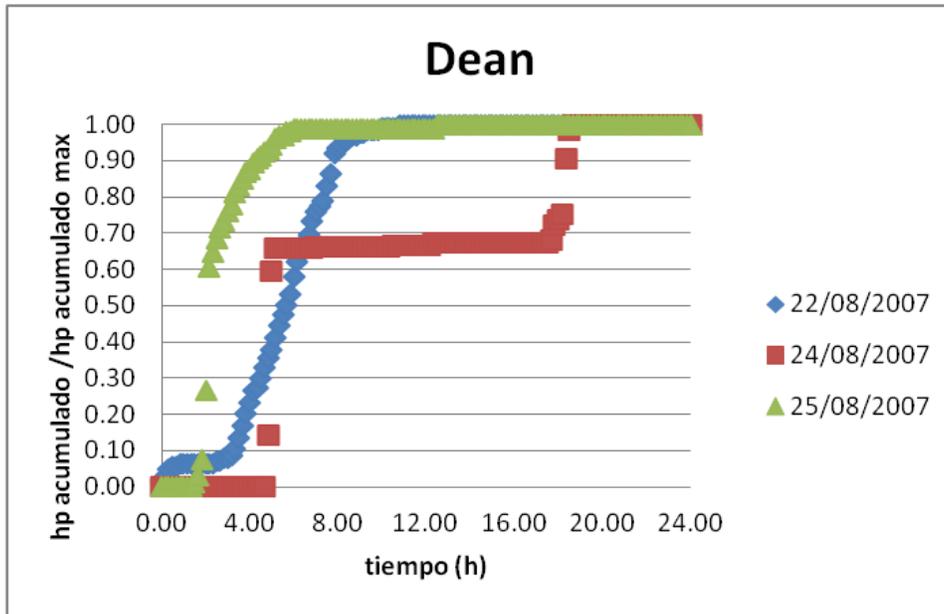
Huracán “José” estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS



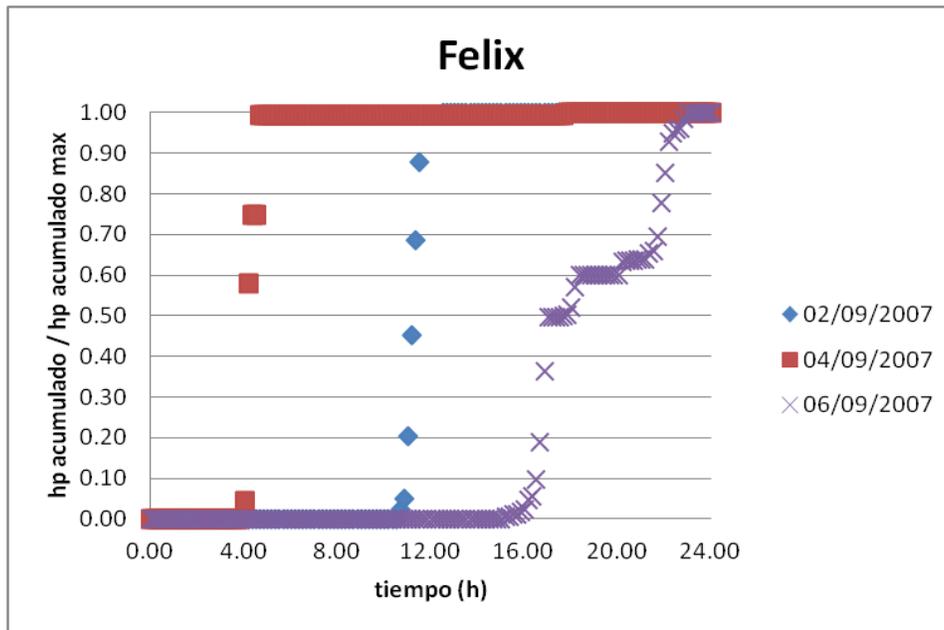
Huracán "Stand" estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS



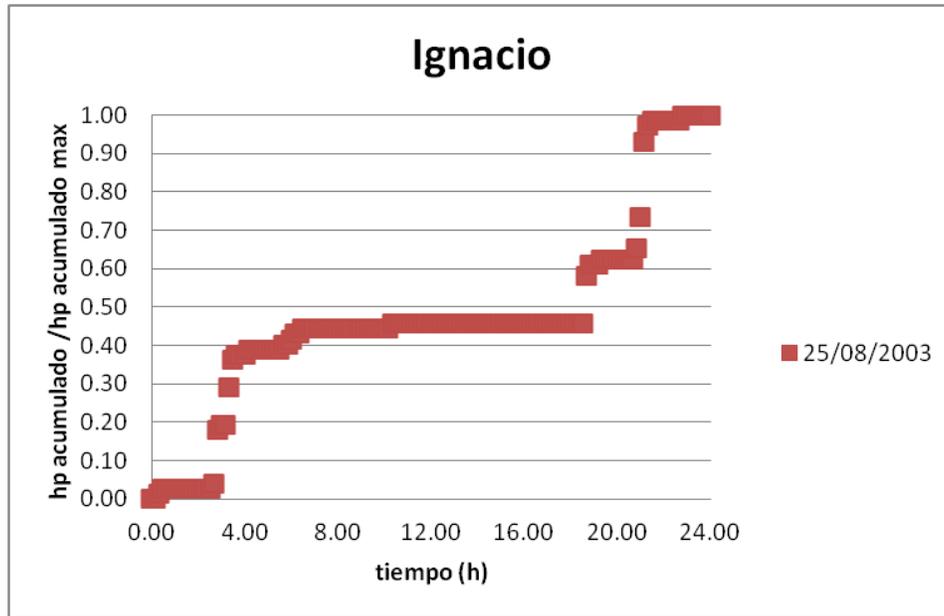
Huracán "Gert" estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS

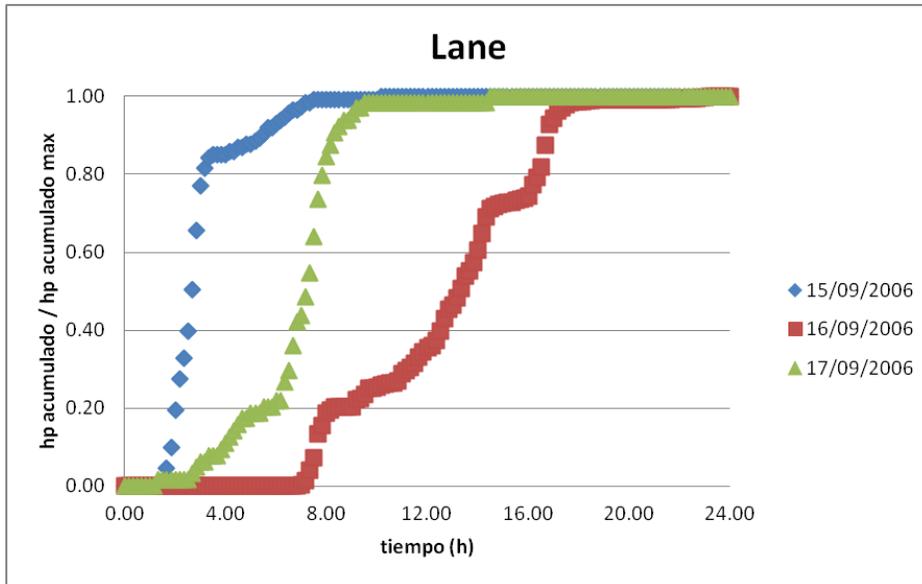


Huracán “Dean” estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS

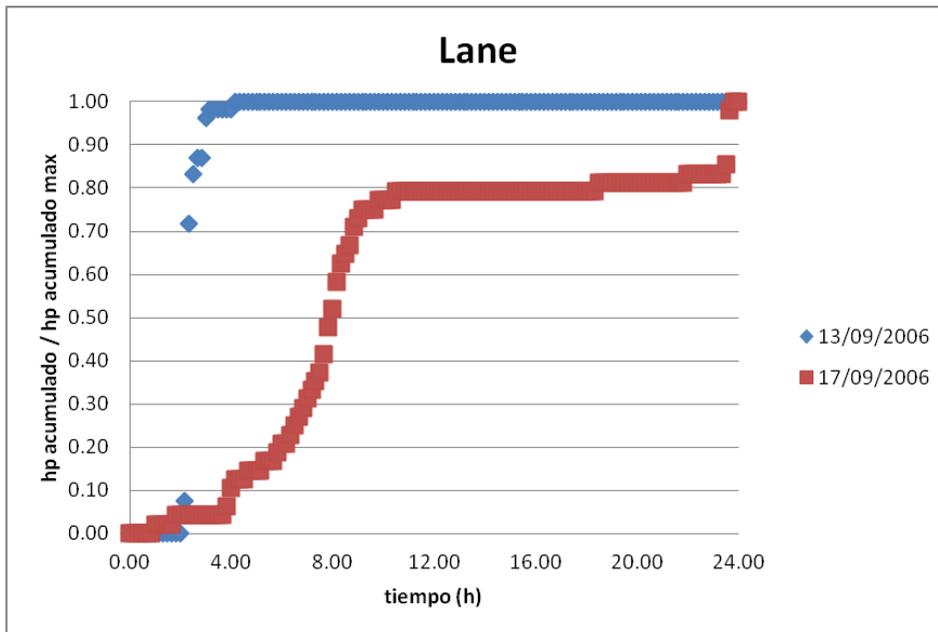


Huracán “Felix” estación Psa la Cangreja, Ver, Región A-GOS



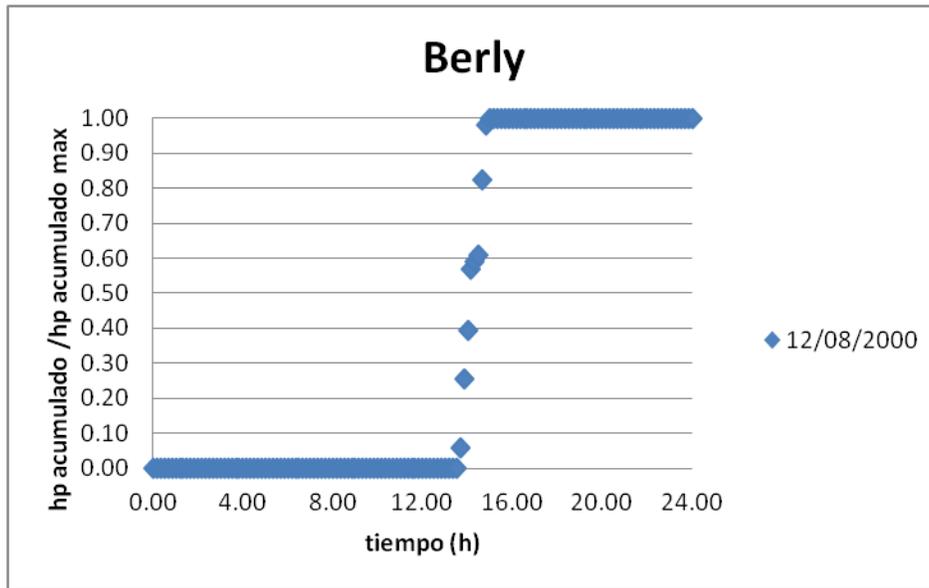


Huracán "Lane" estación Acaponeta, Región A-PA

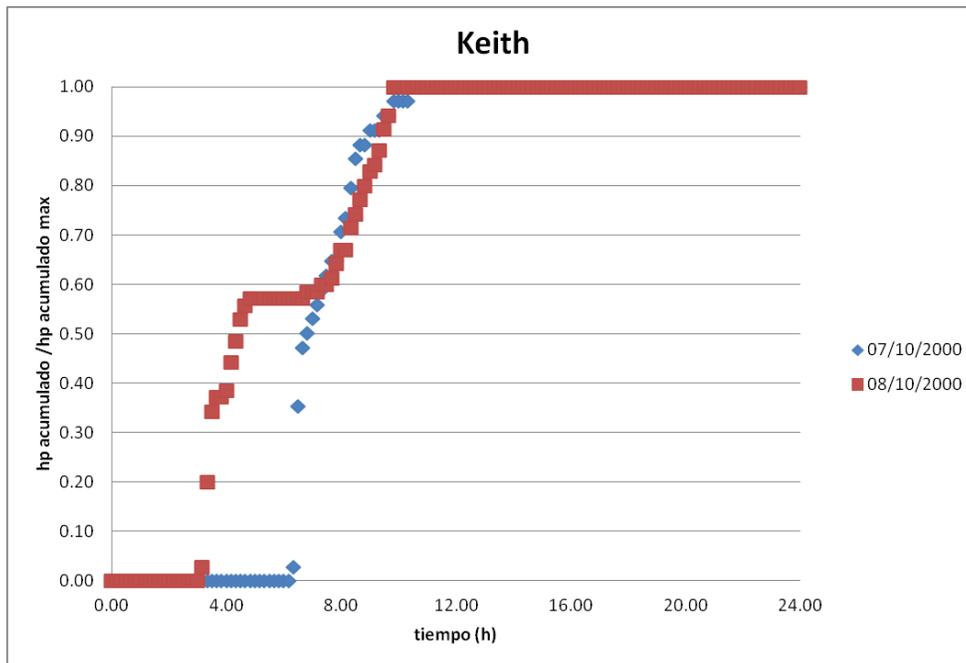


Huracán "Lane" estación Las Vegas, Región A-PA

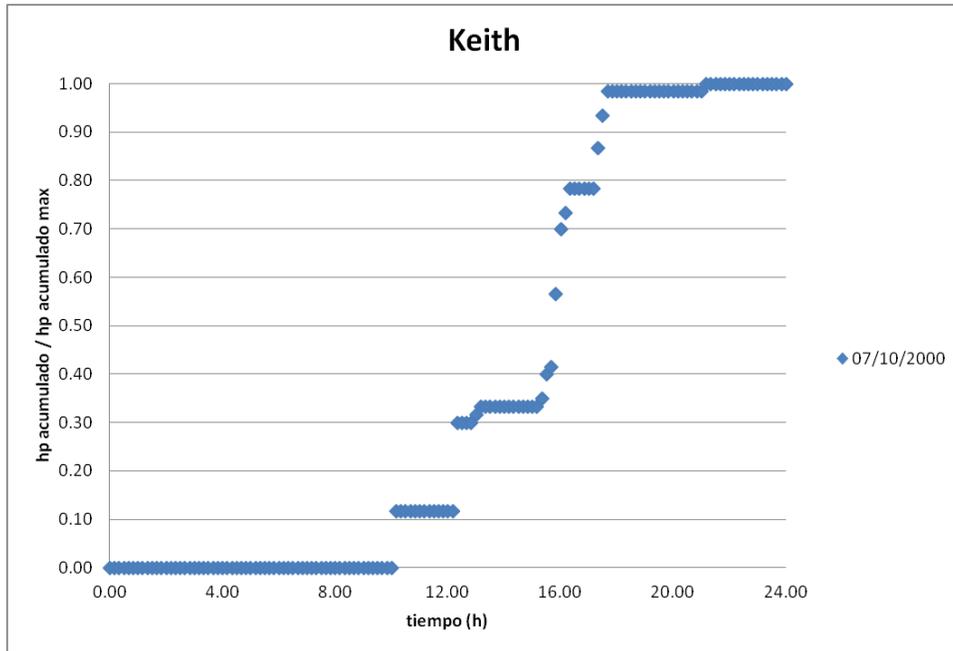
## REGIÓN B



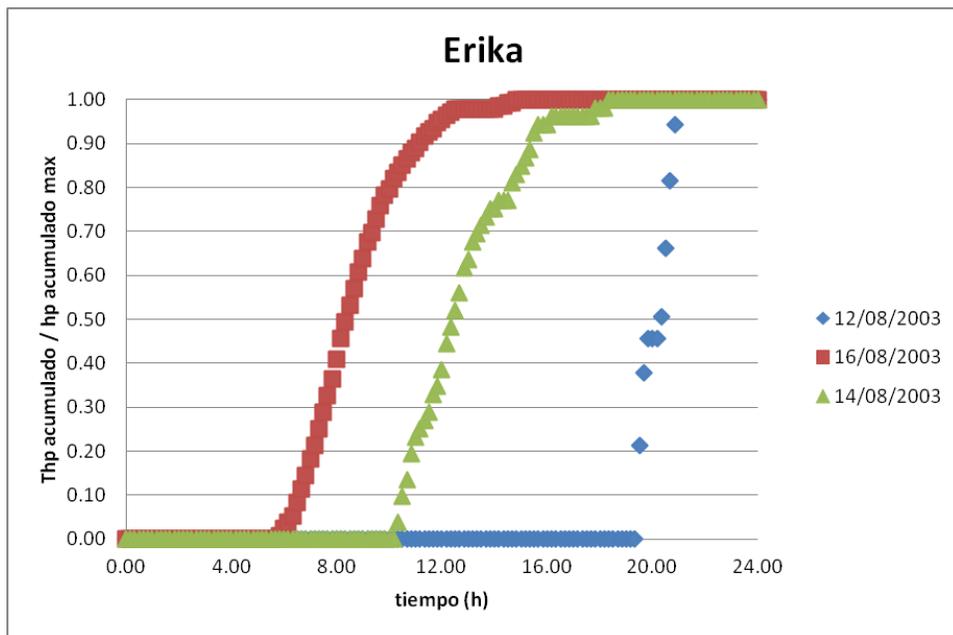
Huracán "Berly" estación Jocotepec, Región B-NO



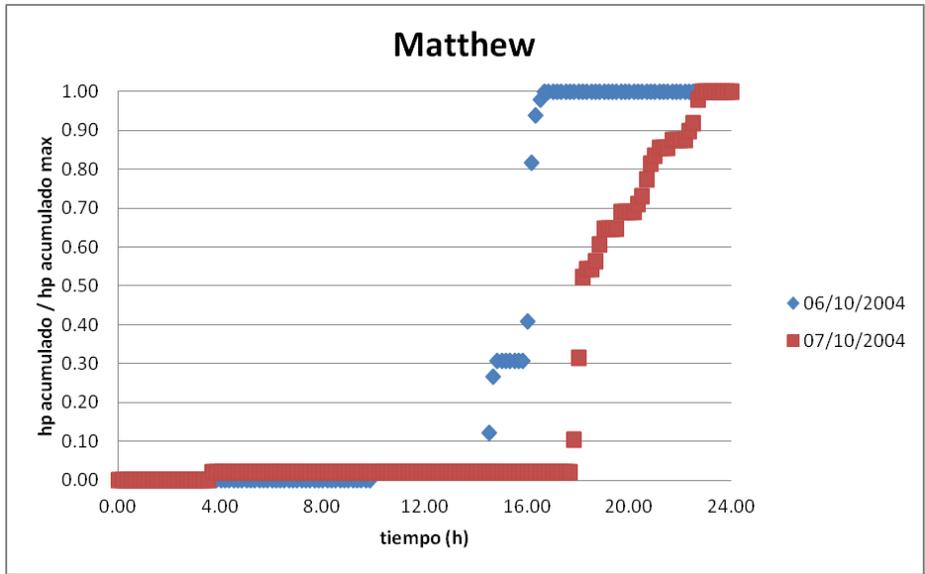
Huracán "Keith" estación Jocotepec, Región B-NO



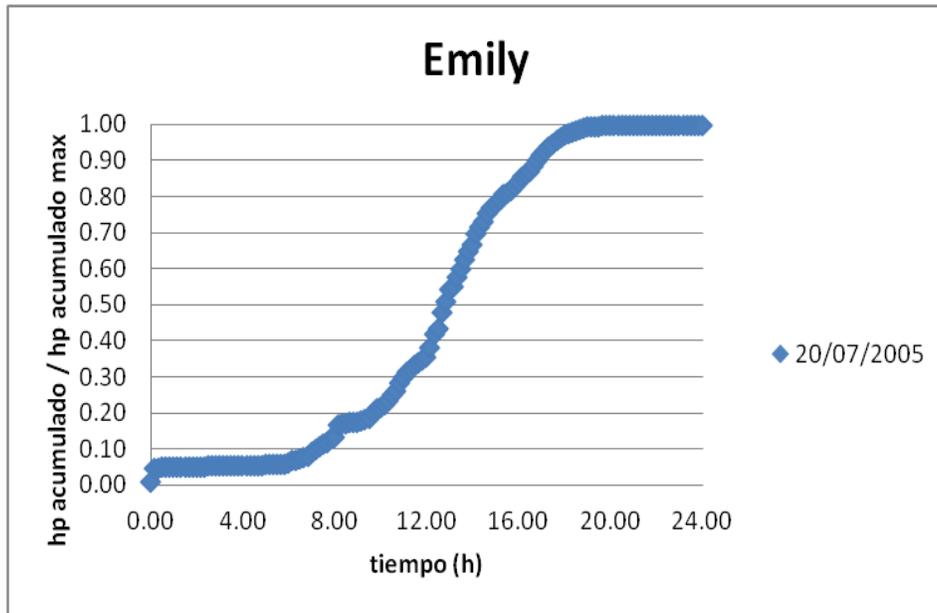
Huracán “Keith” estación Matamoras, Región B-NO



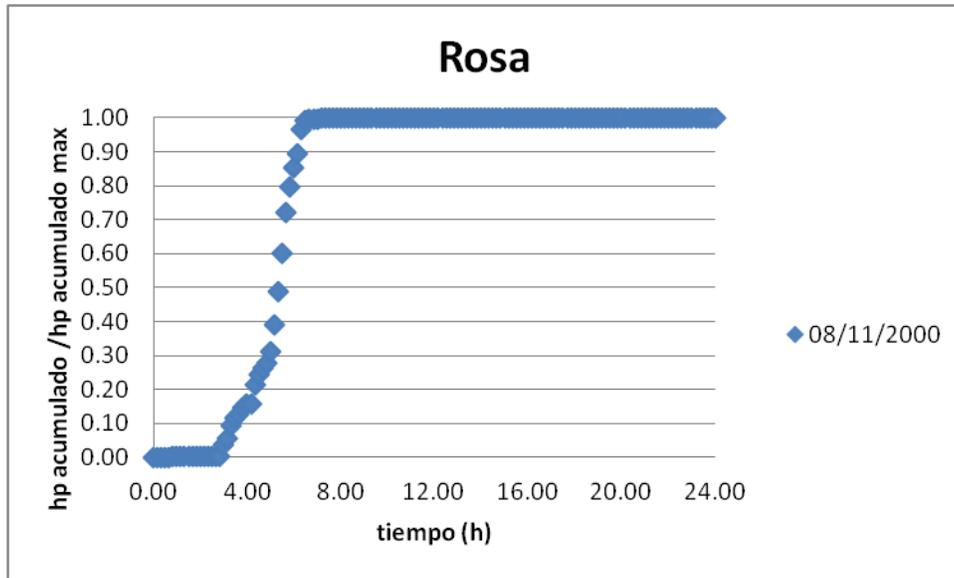
Huracán “Erika” estación Matamoras, Región B-NO



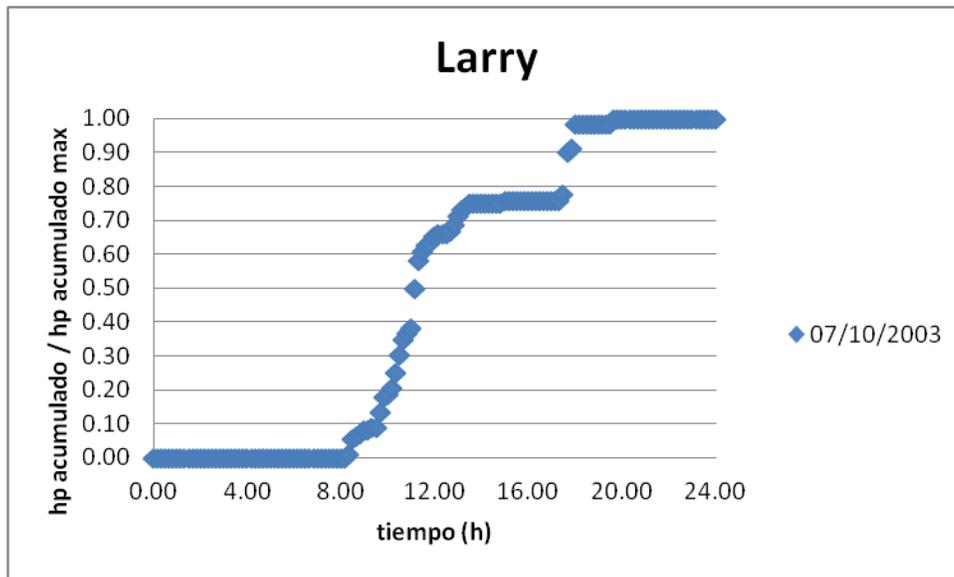
Huracán “Matthew” estación Matamoros, Región B-NO



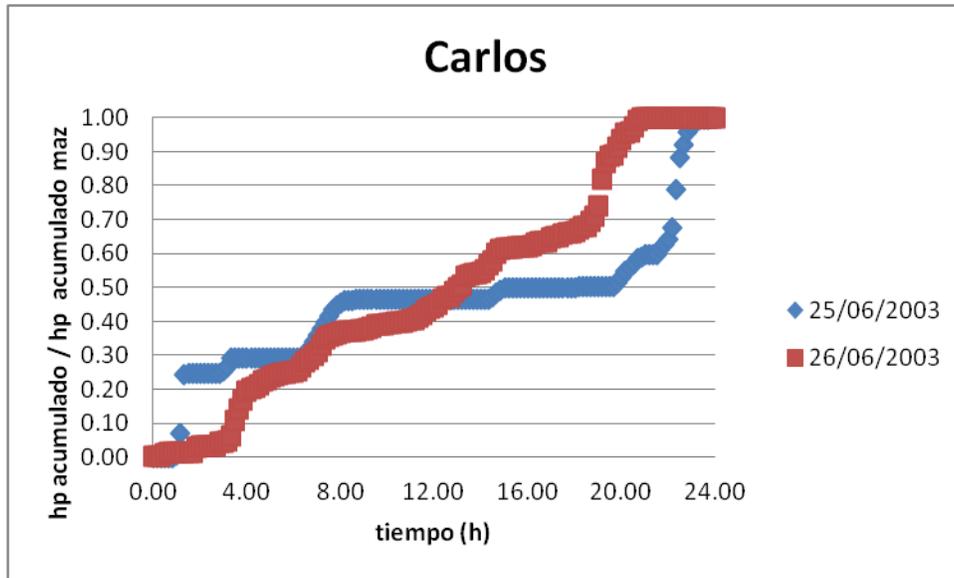
Huracán “Emily” estación Matamoros, Región B-NO



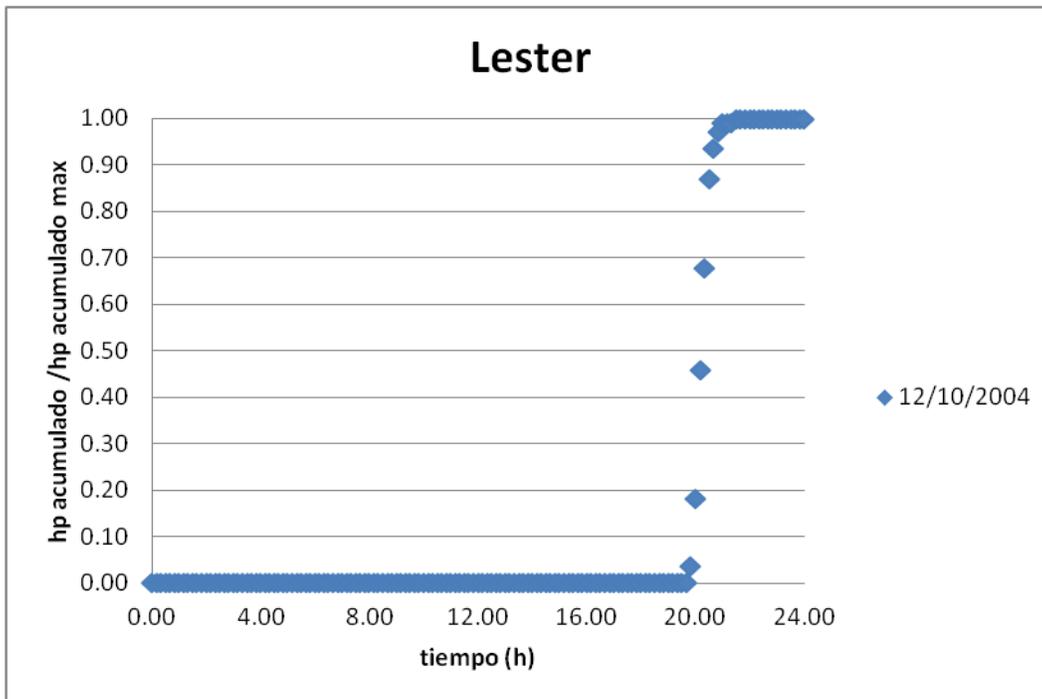
Huracán “Rosa” estación Pto Ángel, Región B-PAS



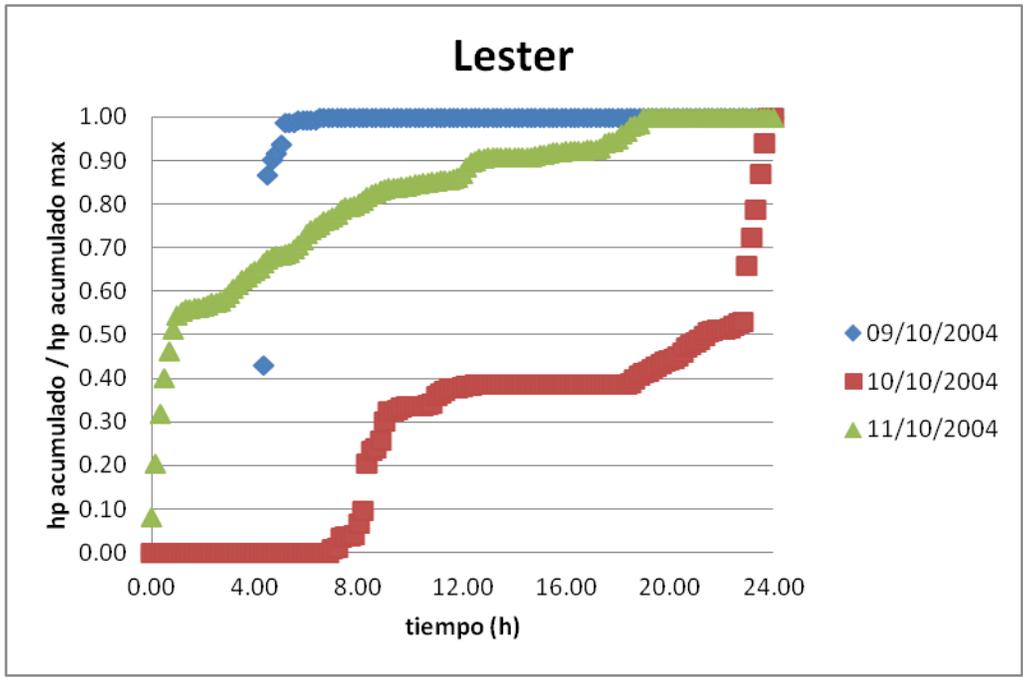
Huracán “Larry” estación Cd Aleman, Región B-PAS



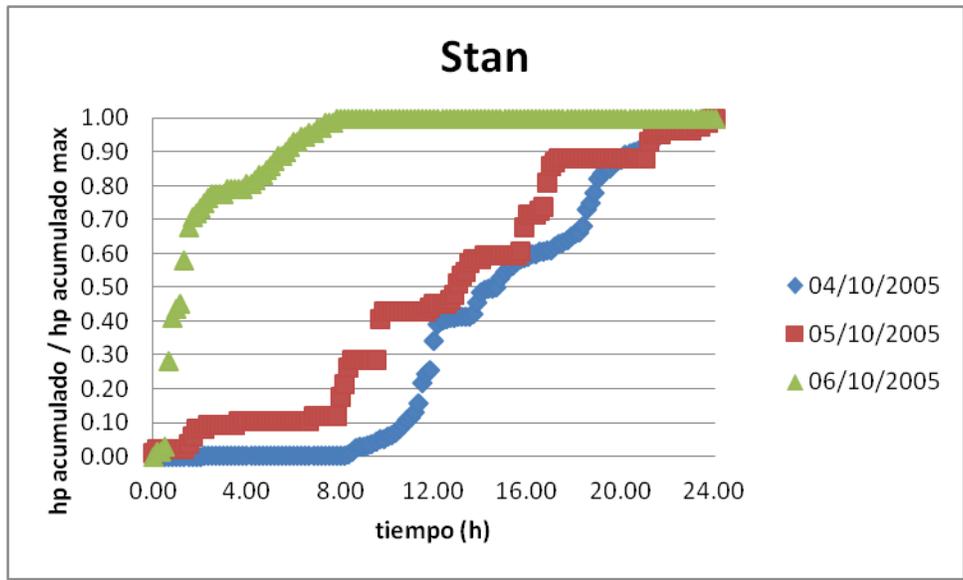
Huracán “Carlos” estación Pto Ángel, Región B-PAS



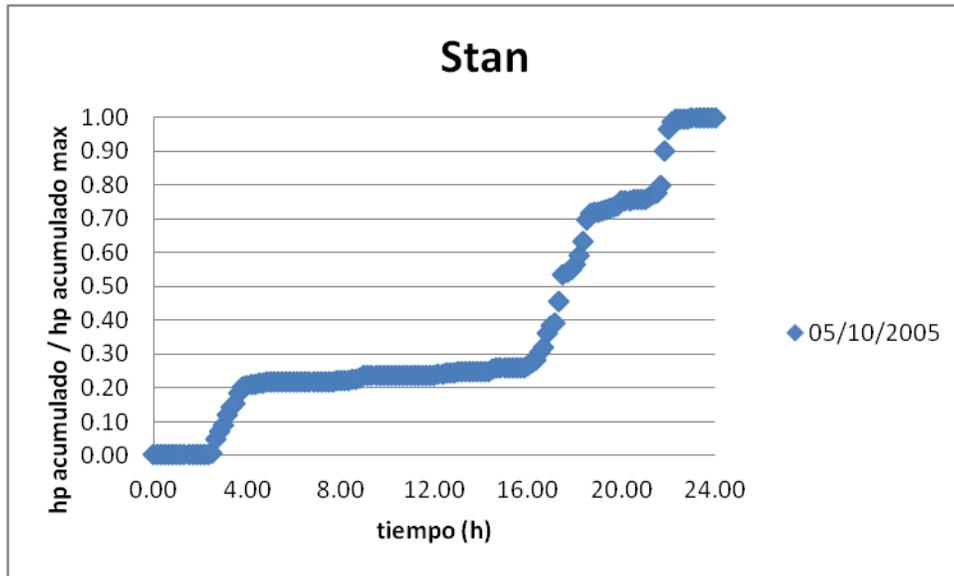
Huracán “Lester” estación Cd Aleman, Región B-PAS



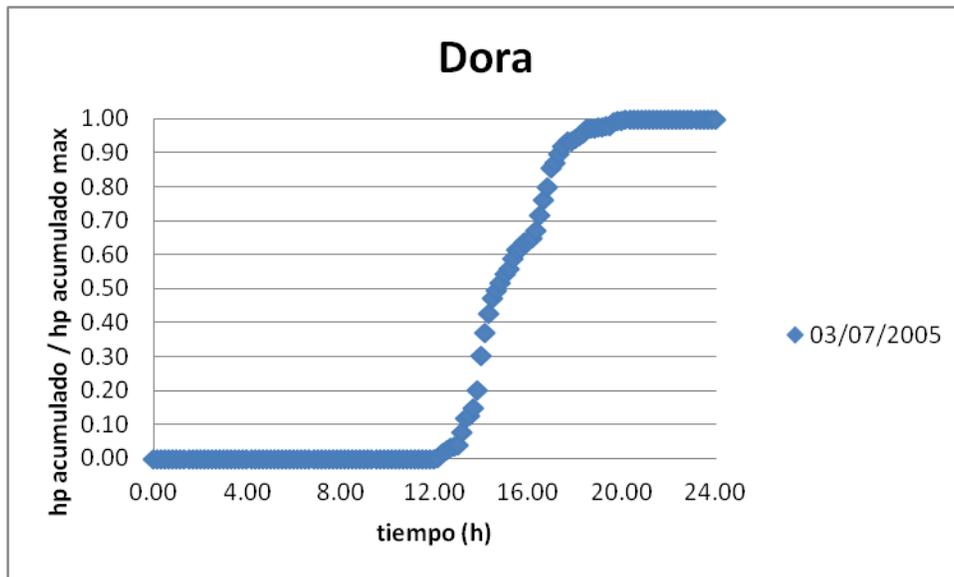
Huracán "Lester" estación Pto Ángel, Región B-PAS



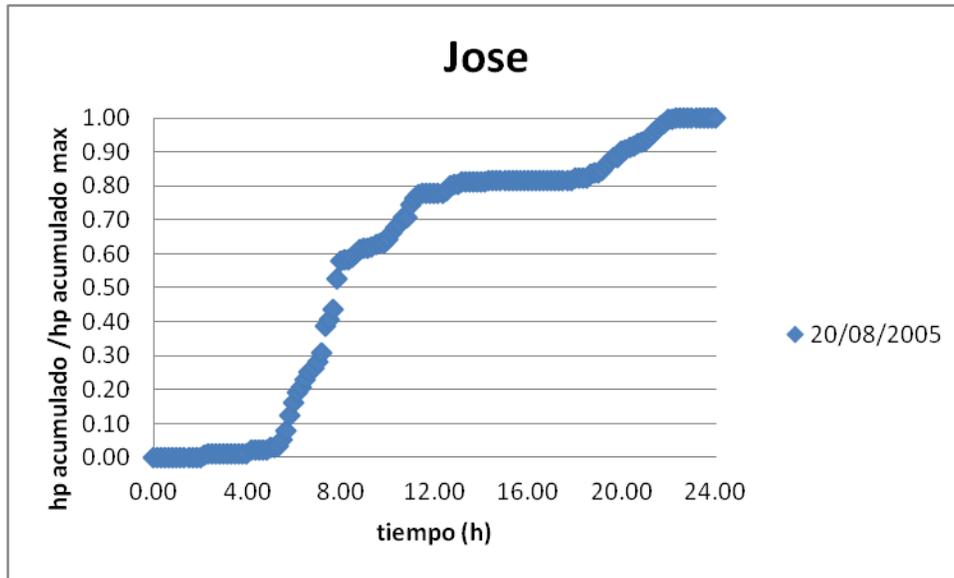
Huracán "Stan" estación Cd Aleman, Región B-PAS



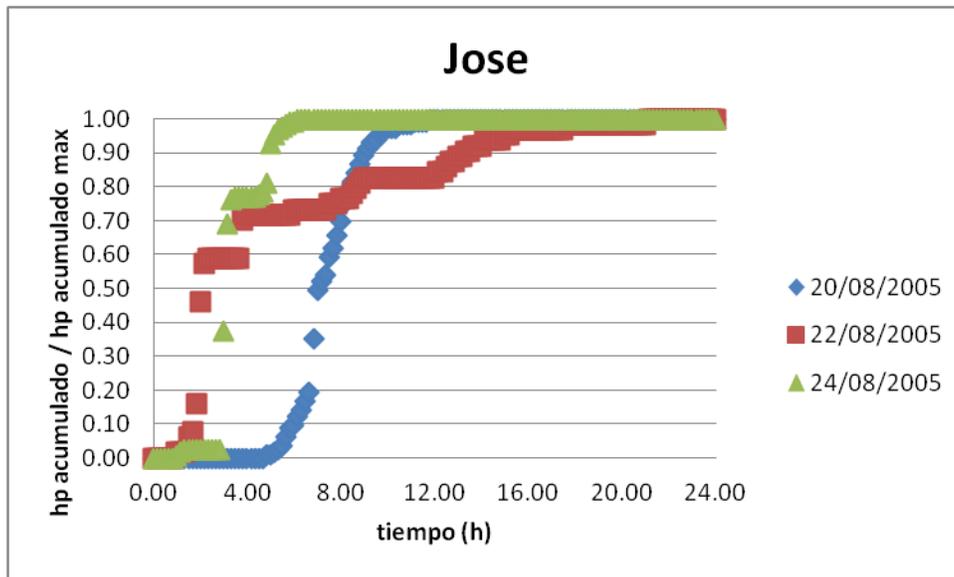
Huracán “Stan” estación Pto Ángel, Región B-PAS



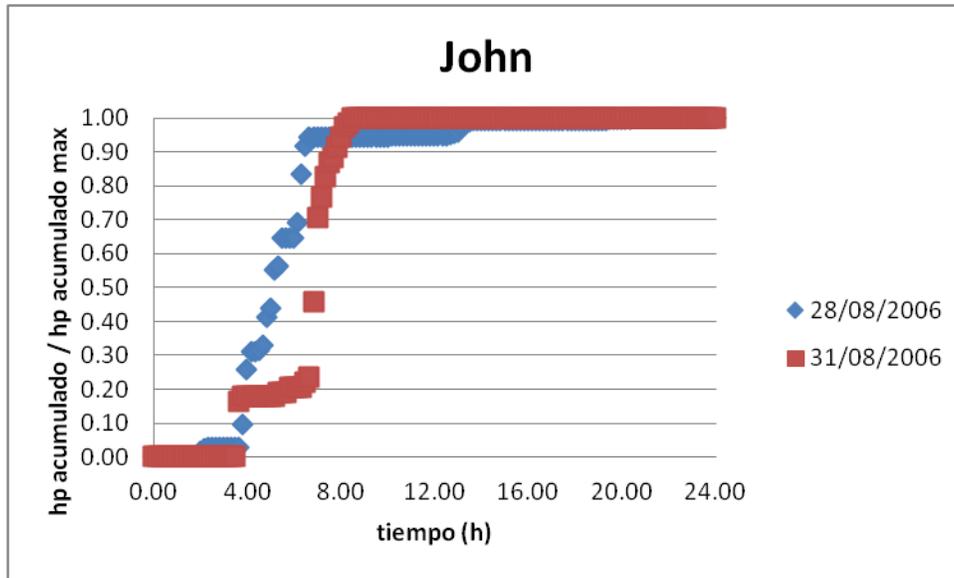
Huracán “Dora” estación Pto Ángel, Región B-PAS



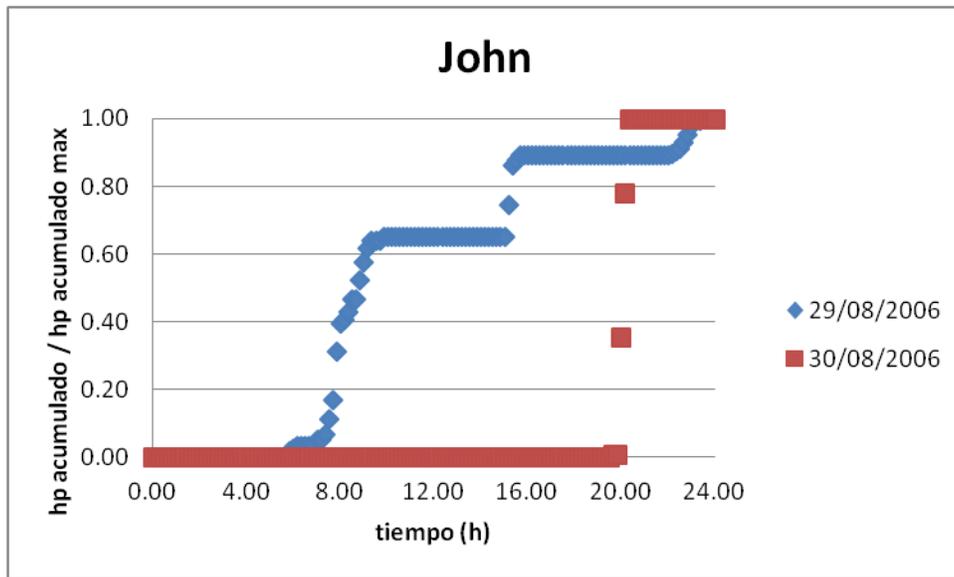
Huracán “José” estación Pto Ángel, Región B-PAS



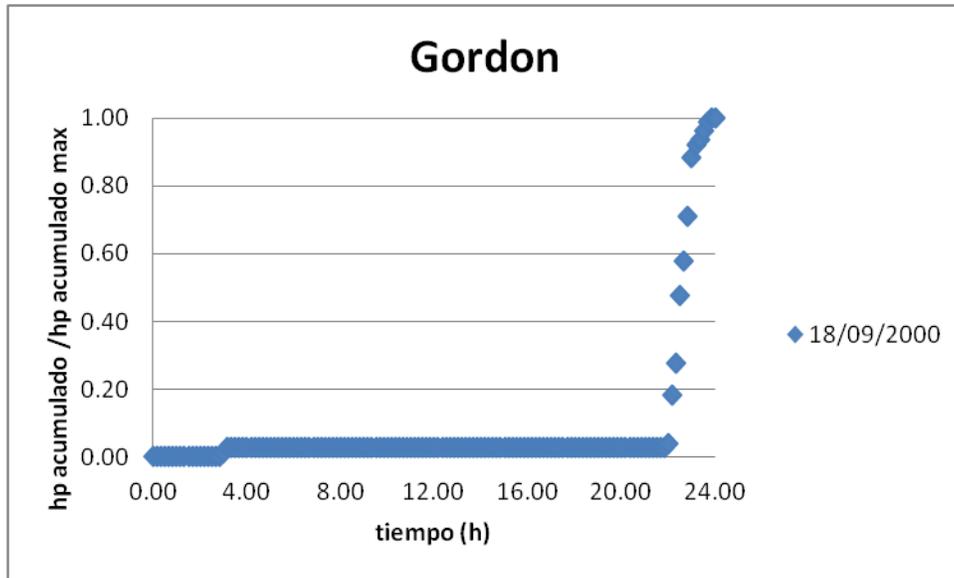
Huracán “José” estación Cd Aleman, Región B-PAS



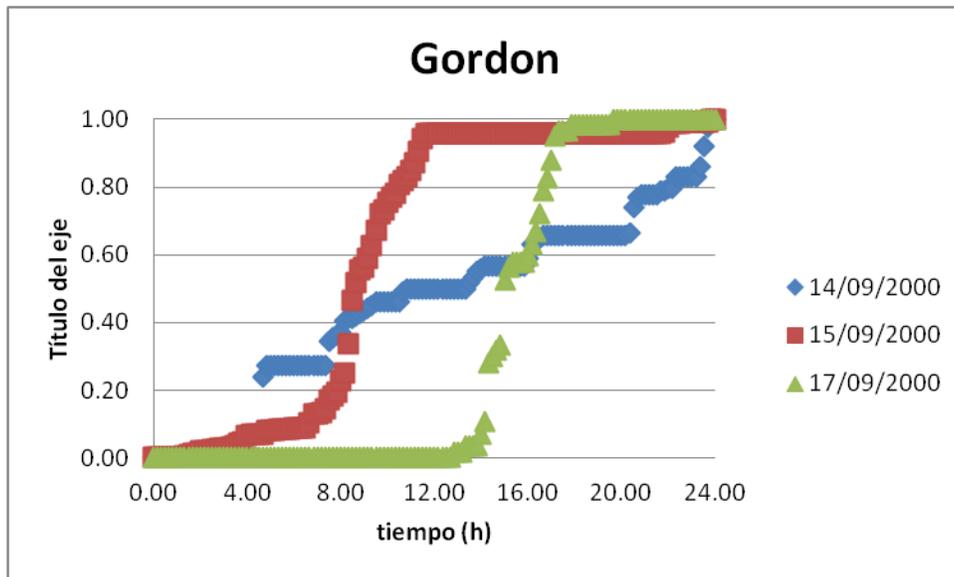
Huracán “John” estación Pto Ángel, Región B-PAS



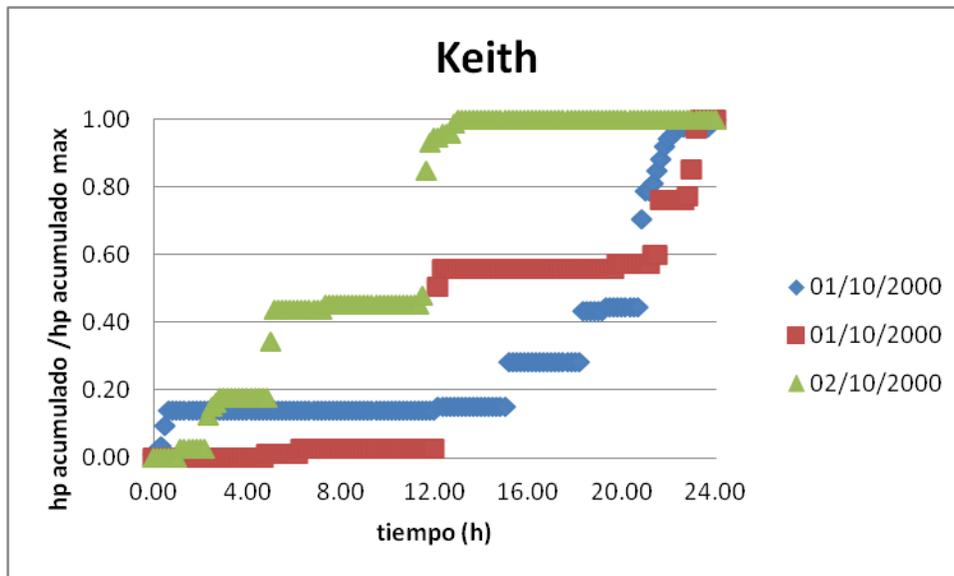
Huracán “John” estación Cd Aleman, Región B-PAS



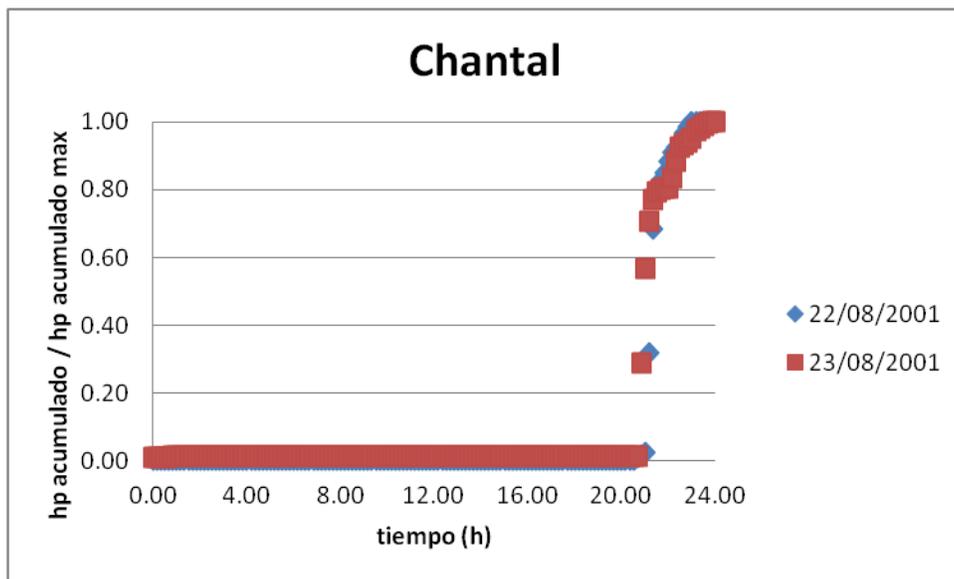
Huracán “Gordon” estación Campeche, Región B-PE



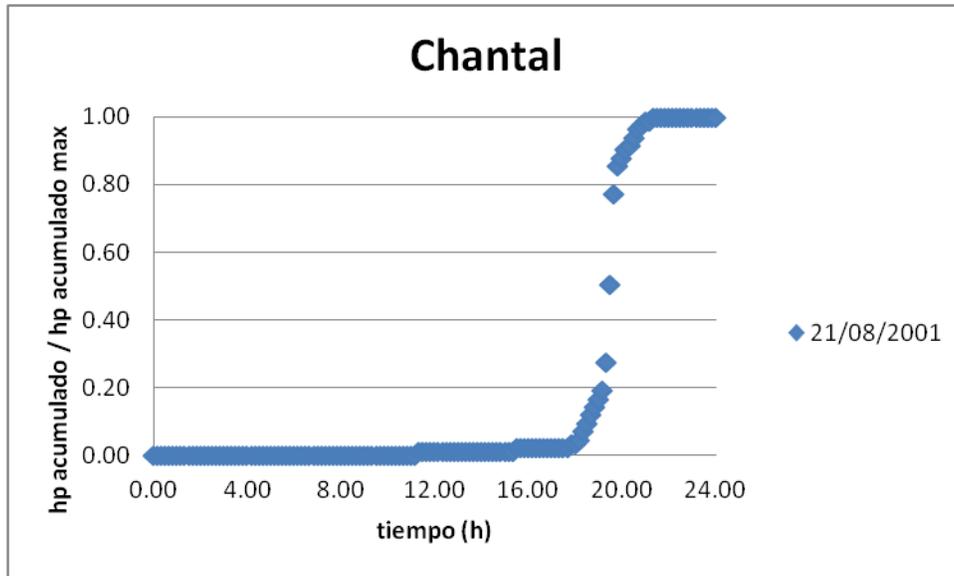
Huracán “Gordon” estación Cancún, Región B-PE



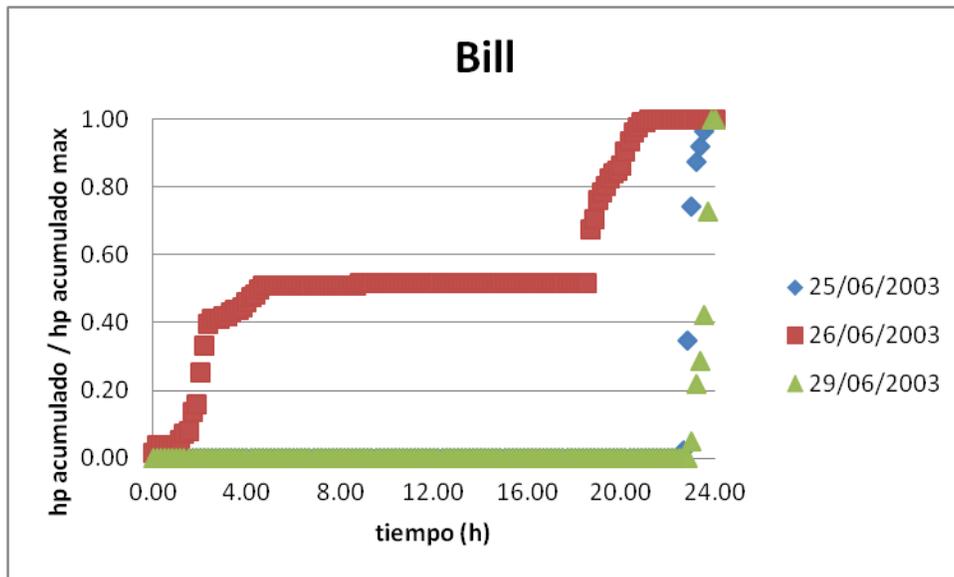
Huracán “Keith” estación Campeche, Región B-PE



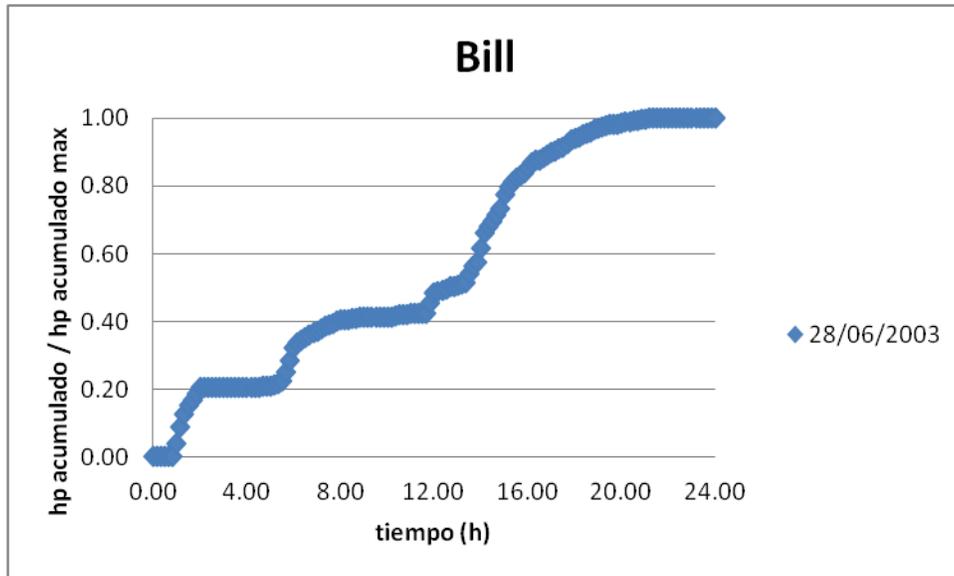
Huracán “Chantal” estación Campeche, Región B-PE



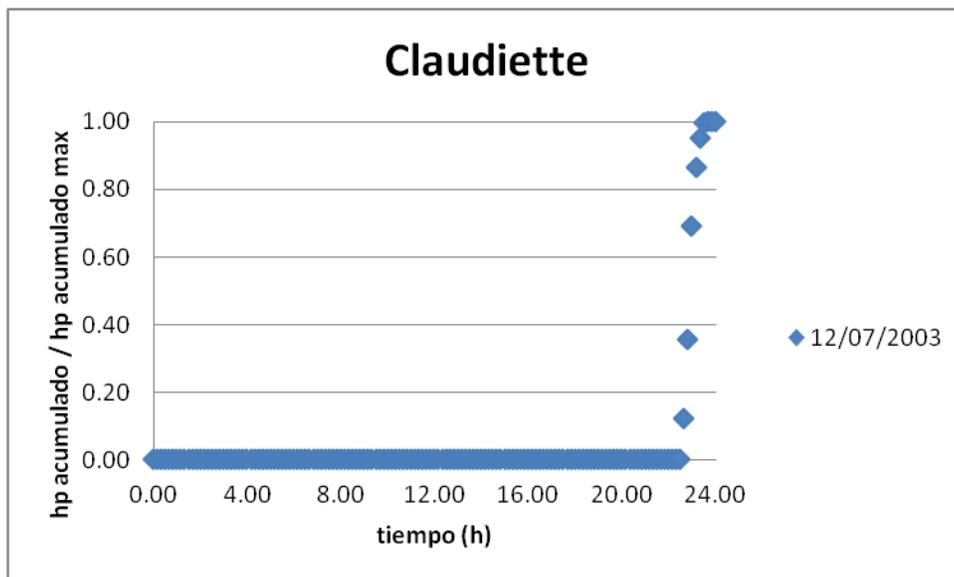
Huracán “Chantal” estación Cancún, Región B-PE



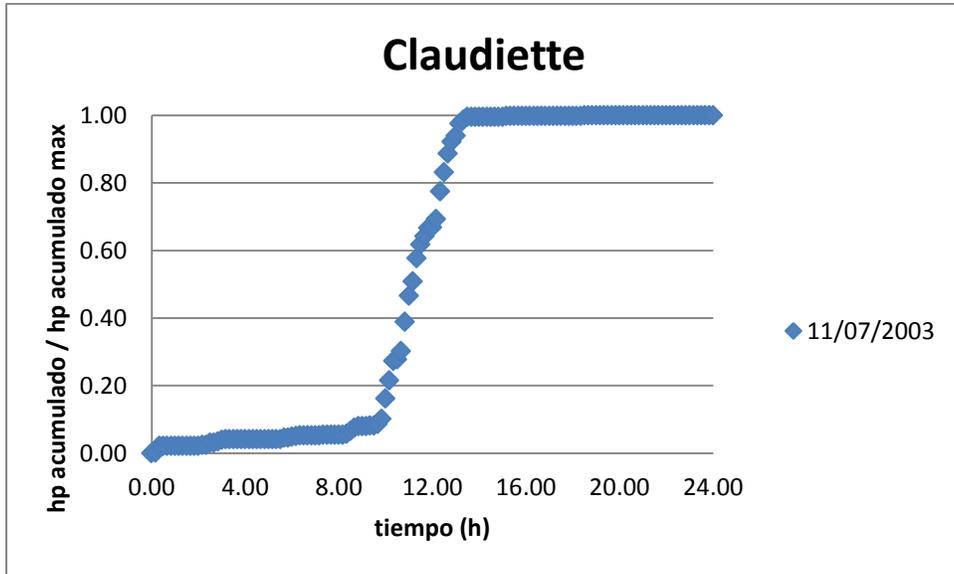
Huracán “Bill” estación Campeche, Región B-PE



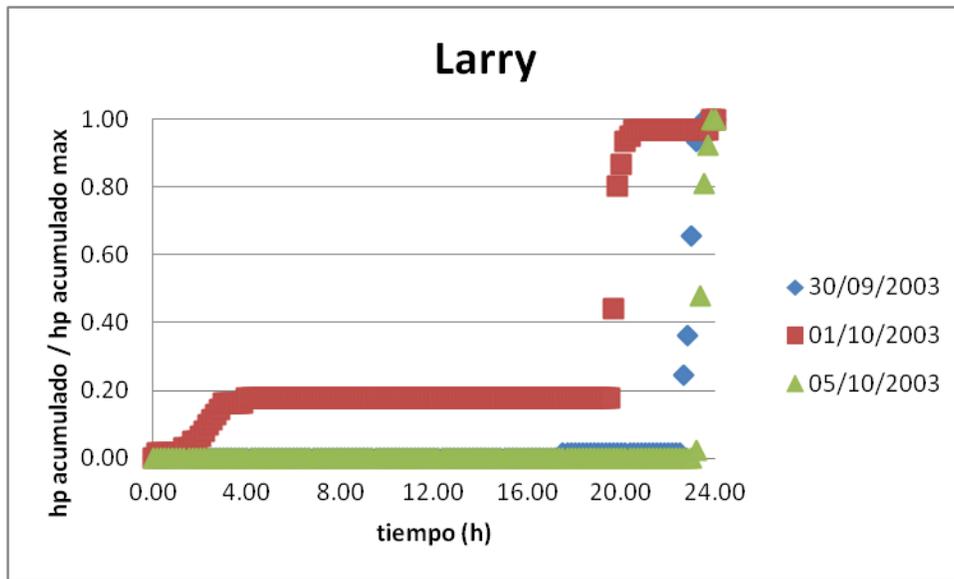
Huracán “Bill” estación Cancún, Región B-PE



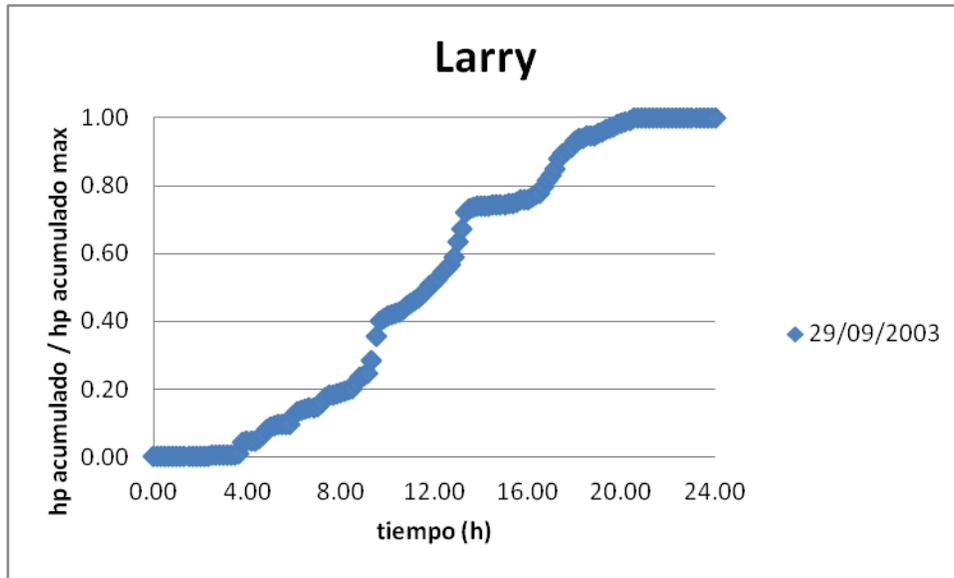
Huracán “Claudiette” estación Campeche, Región B-PE



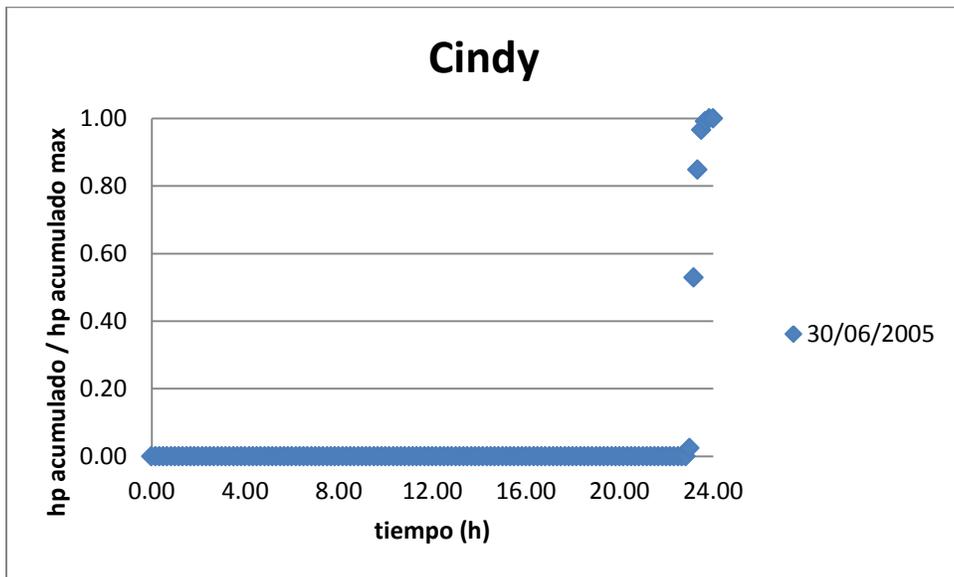
Huracán “Claudiette” estación Cancún, Región B-PE



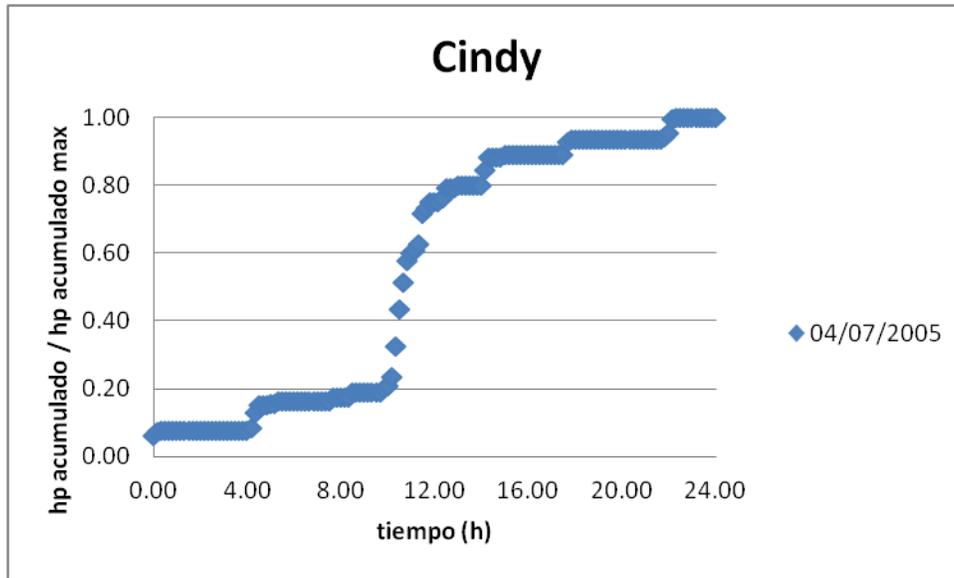
Huracán “Larry” estación Campeche, Región B-PE



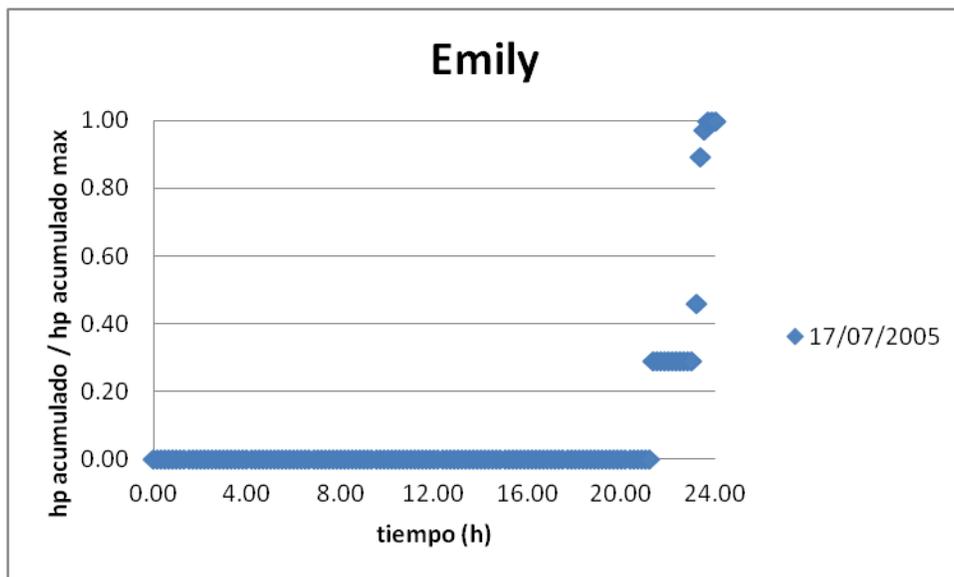
Huracán “Larry” estación Cancún, Región B-PE



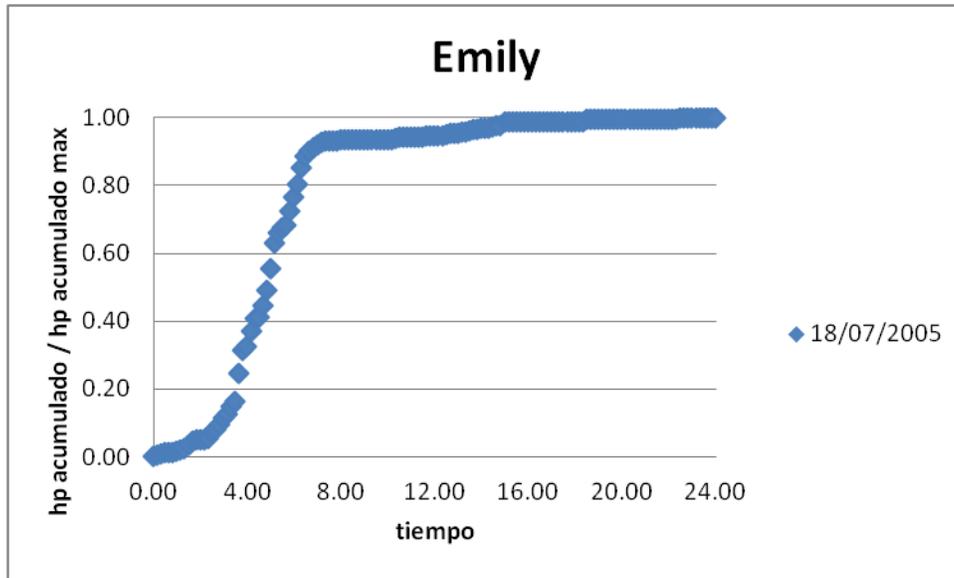
Huracán “Cindy” estación Campeche, Región B-PE



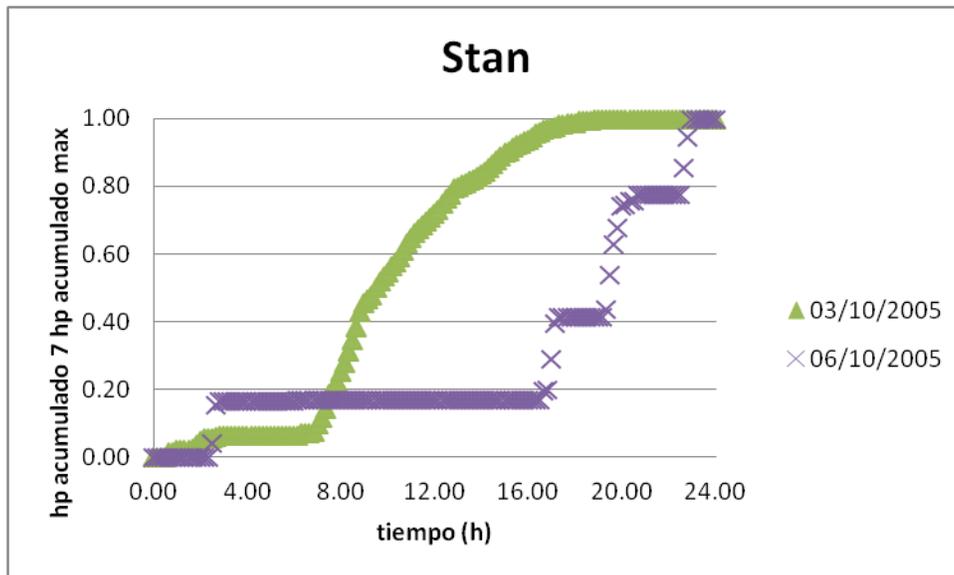
Huracán “Cindy” estación Cancún, Región B-PE



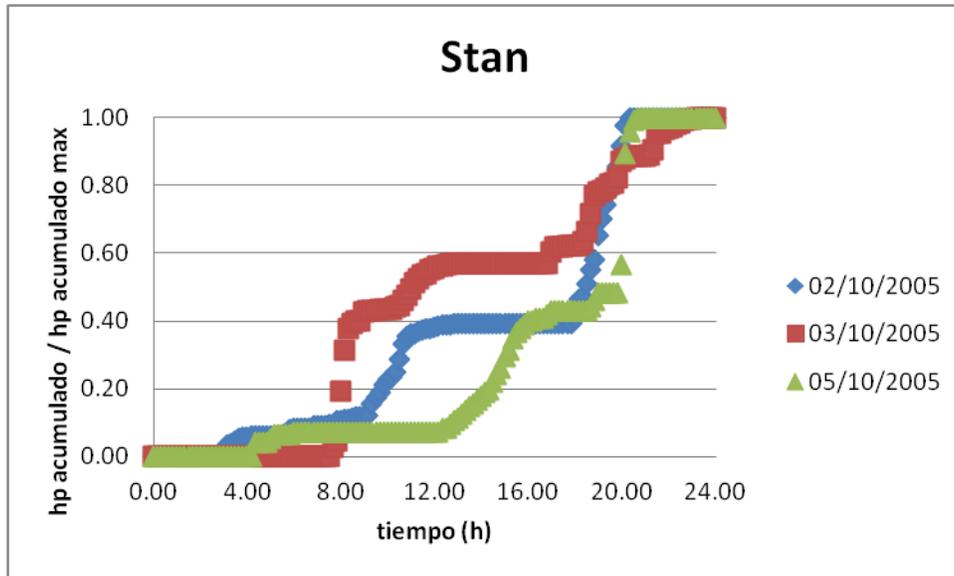
Huracán “Emily” estación Campeche, Región B-PE



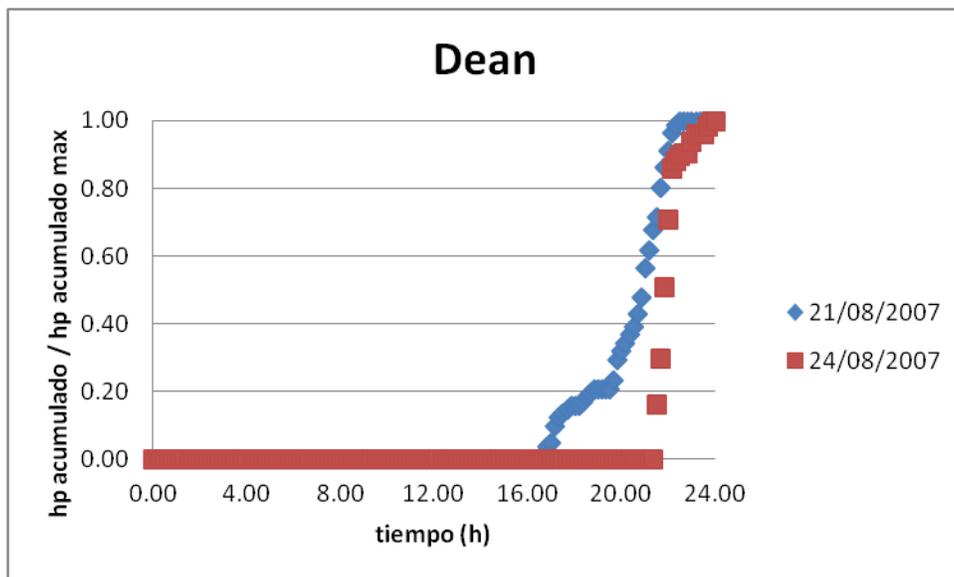
Huracán “Emily” estación Cancún, Región B-PE



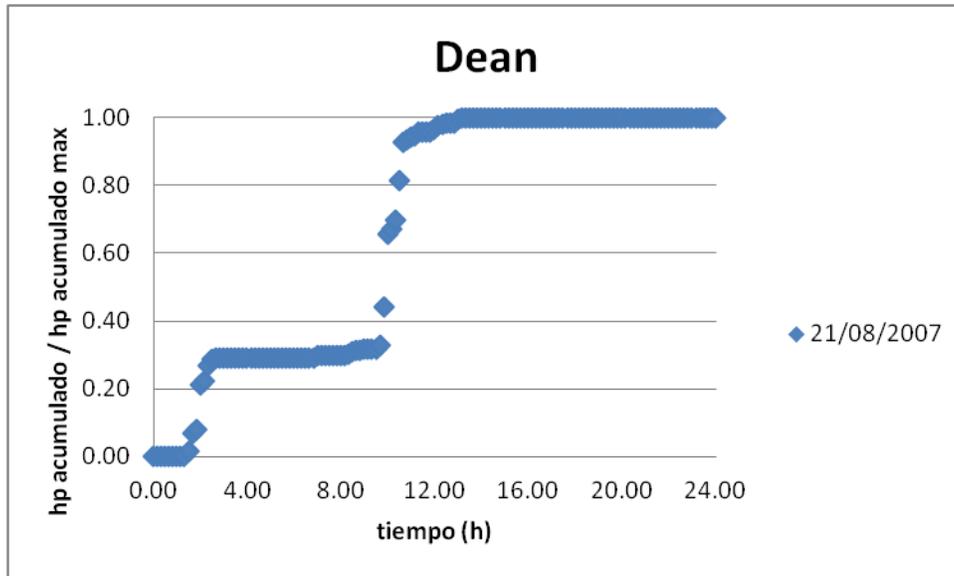
Huracán “Stan” estación Campeche, Región B-PE



Huracán “Stan” estación Cancún, Región B-PE

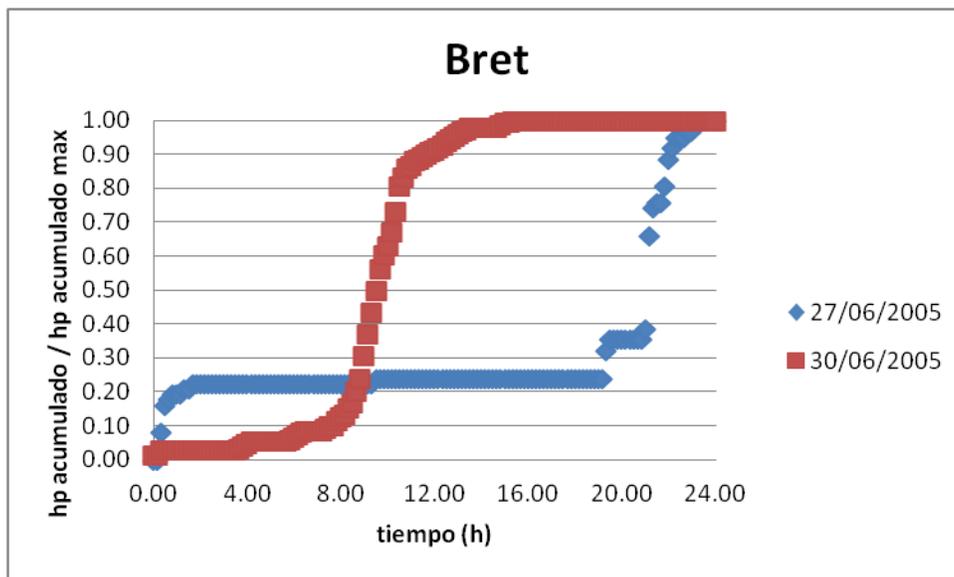


Huracán “Dean” estación Campeche, Región B-PE

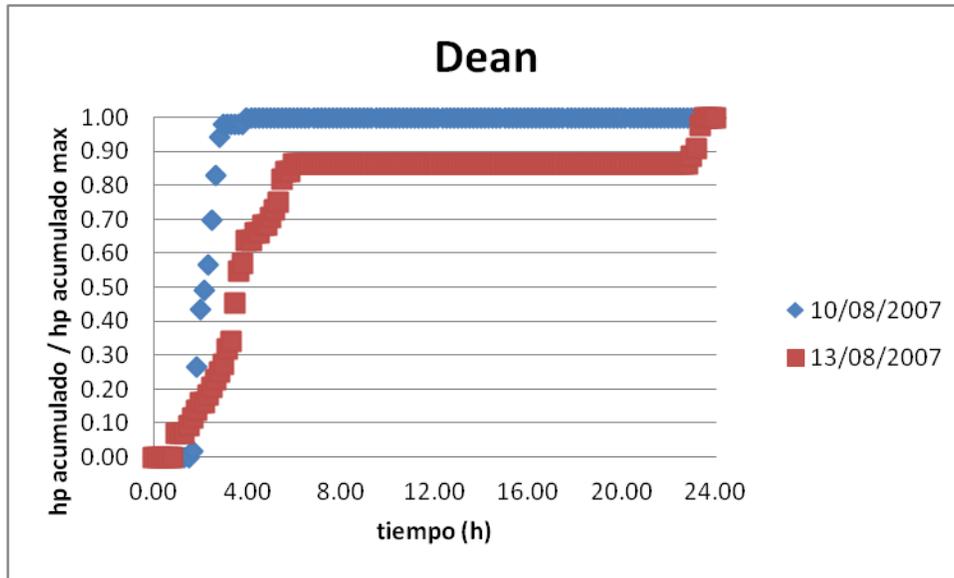


Huracán “Dean” estación Cancún, Región B-PE

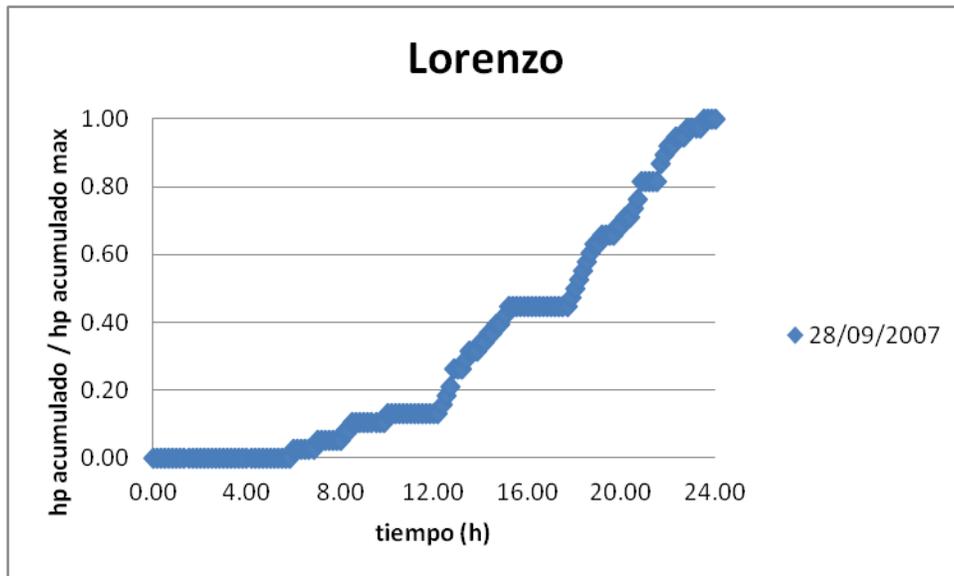
### REGIÓN C



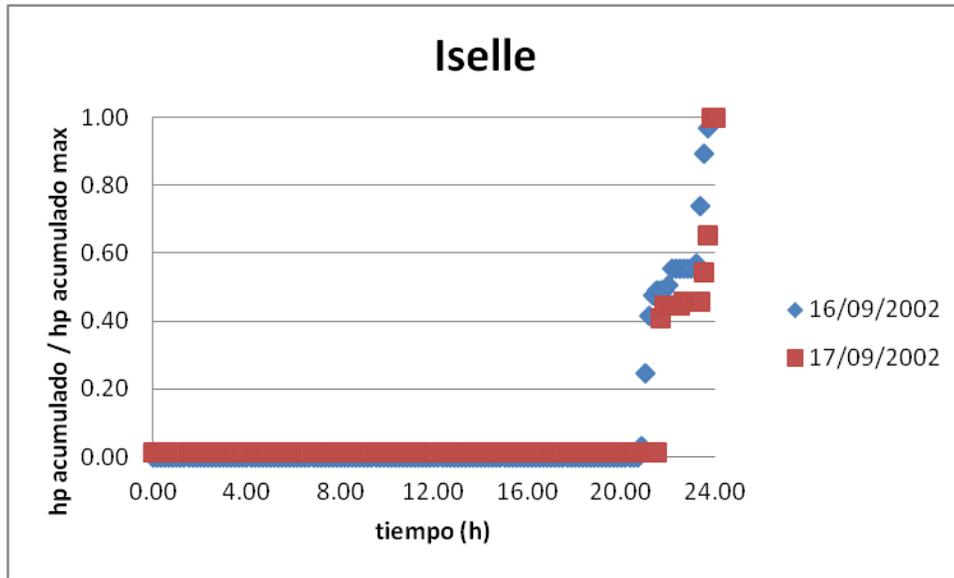
Huracán “Bret” estación Nevado de Toluca Región C-CE



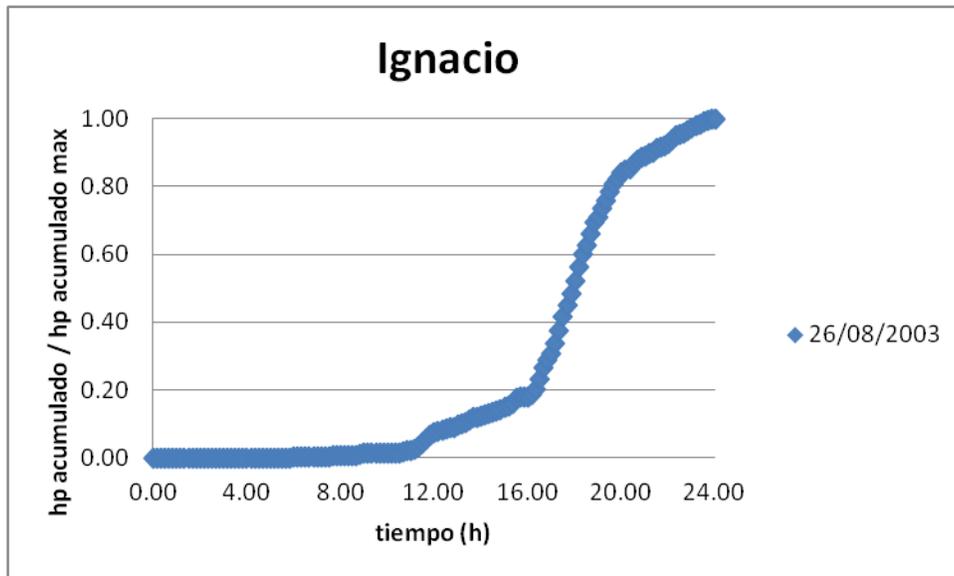
Huracán “Dean” estación Nevado de Toluca Región C-CE



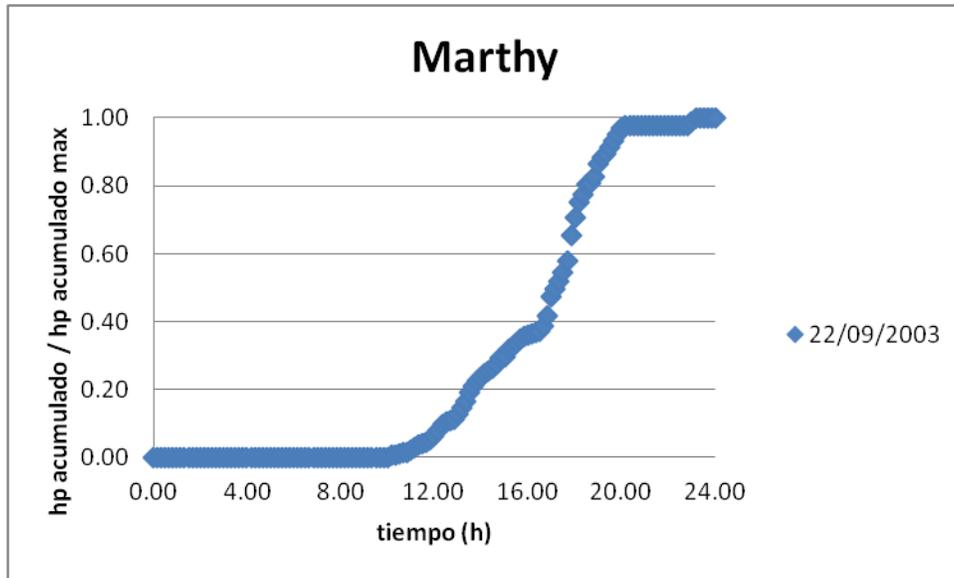
Huracán “Lorenzo” estación Nevado de Toluca Región C-CE



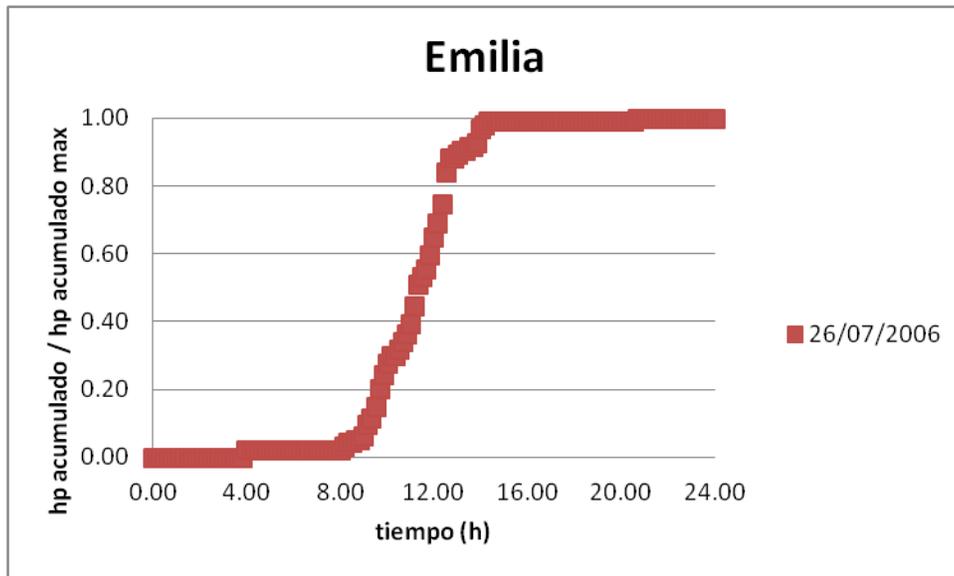
Huracán “Iselle” estación Nevado de Toluca Región C-NO



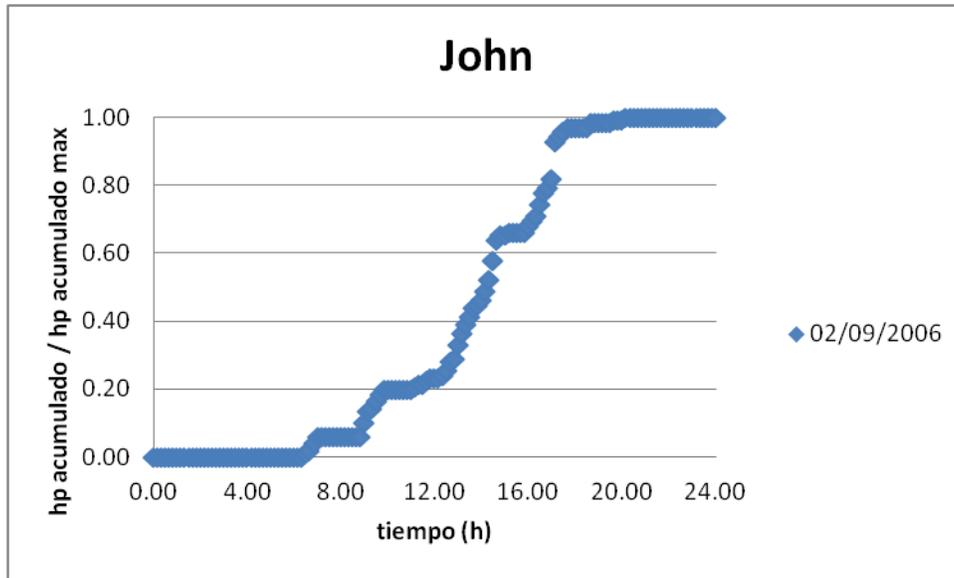
Huracán “Ignacio” estación Nevado de Toluca Región C-NO



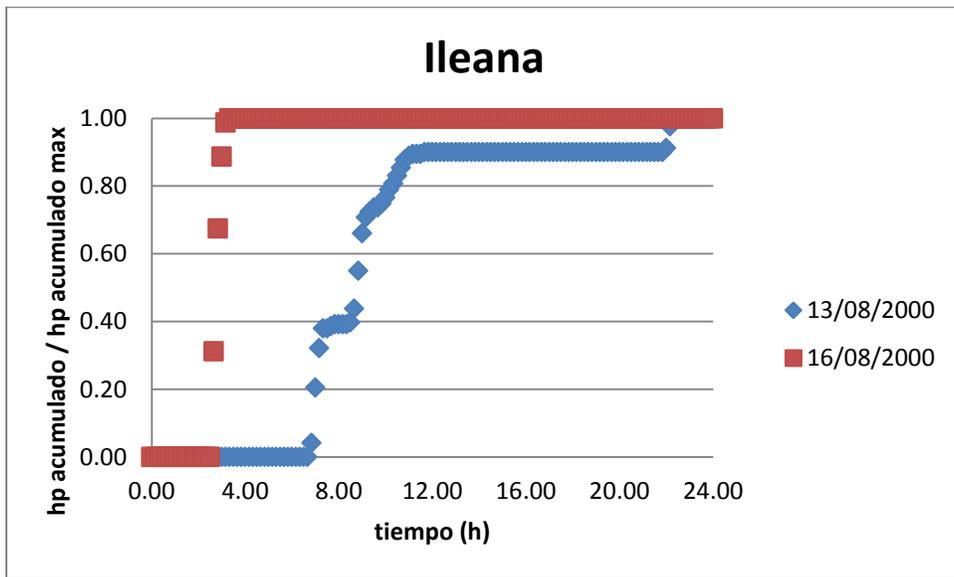
Huracán “Marthy” estación Nevado de Toluca Región C-NO



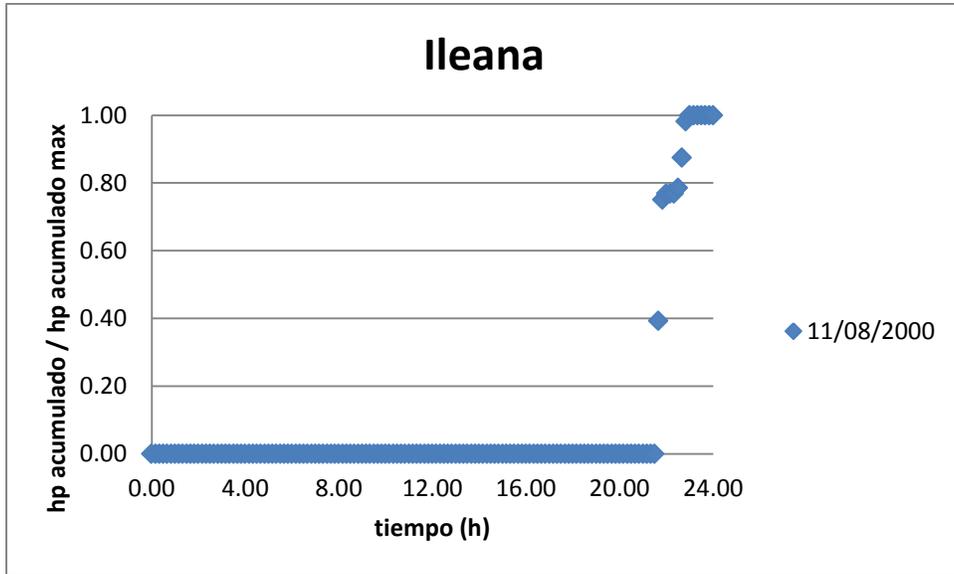
Huracán “Emilia” estación Nevado de Toluca Región C-NO



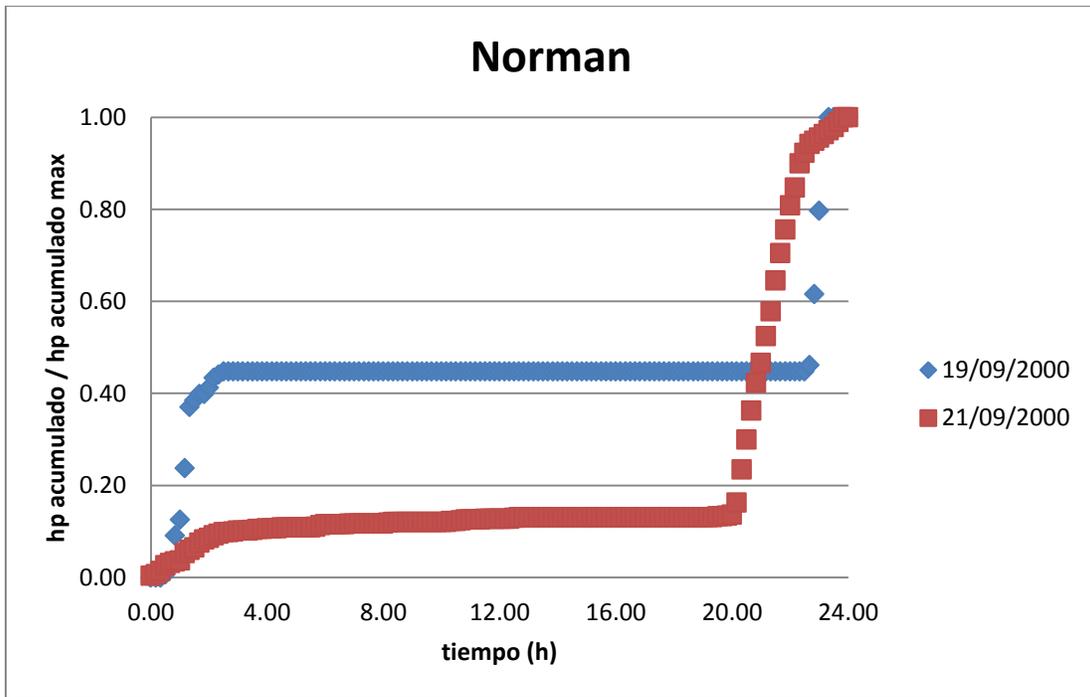
Huracán "John" estación Nevado de Toluca Región C-NO



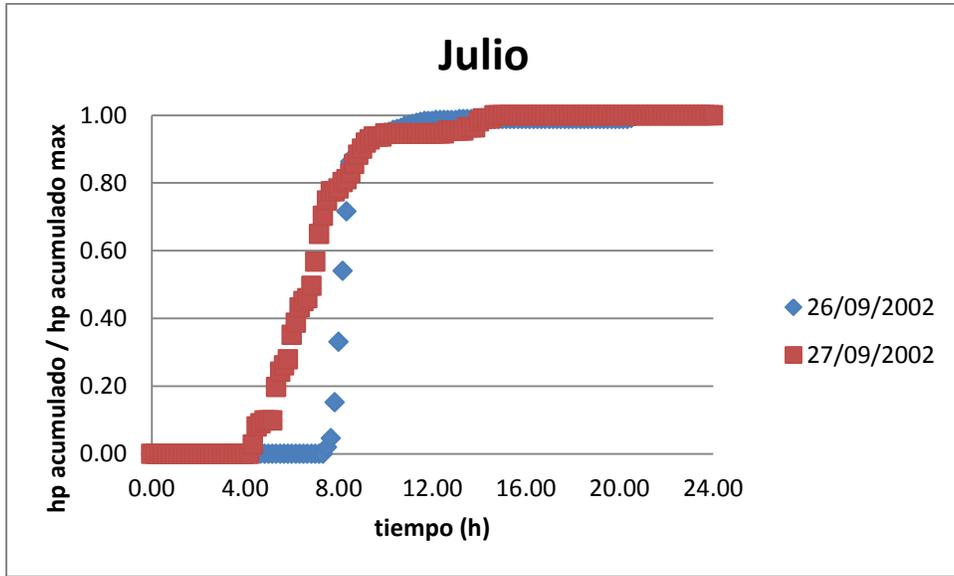
Huracán "Ileana" estación Los Colomos, Región C-PA



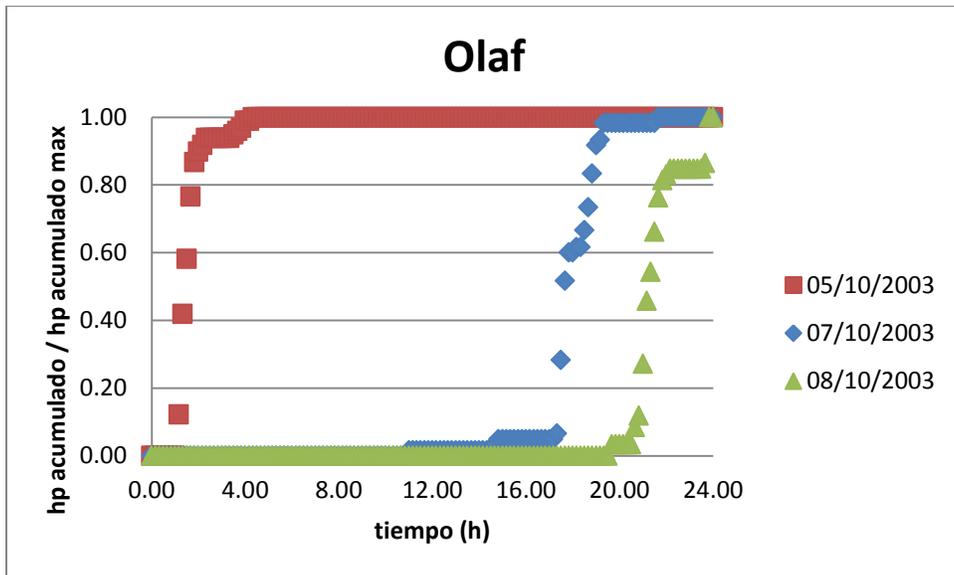
Huracán "Ileana" estación Rio Tomatlan, Región C-PA



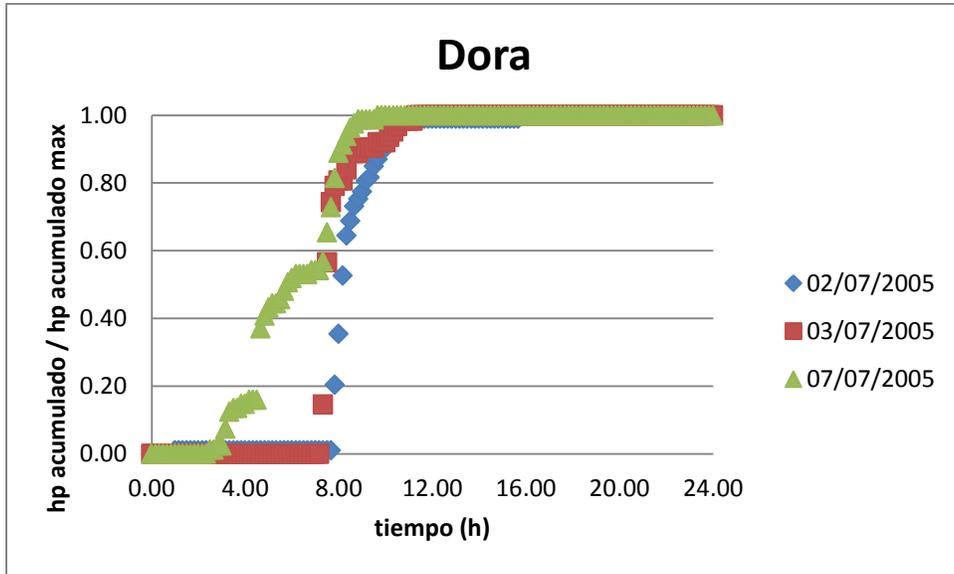
Huracán "Norman" estación Rio Tomatlan, Región C-PA



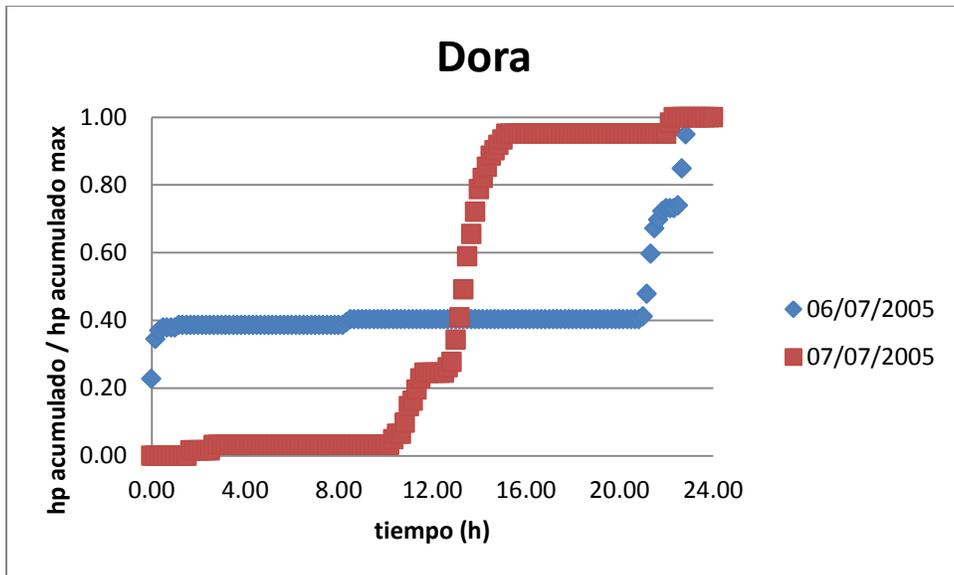
Huracán “Julio” estación Rio Tomatlan, Región C-PA



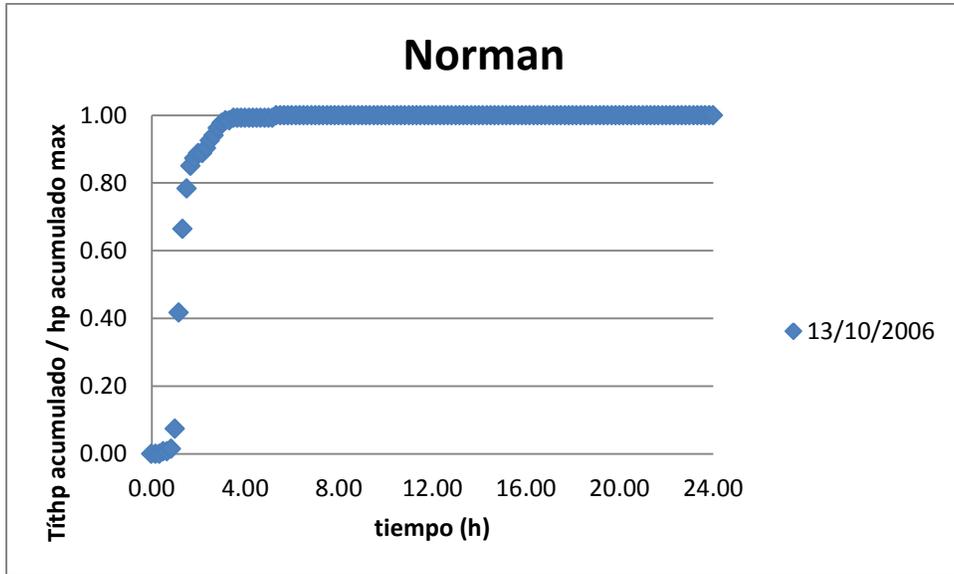
Huracán “Olaf” estación Rio Tomatlan, Región C-PA



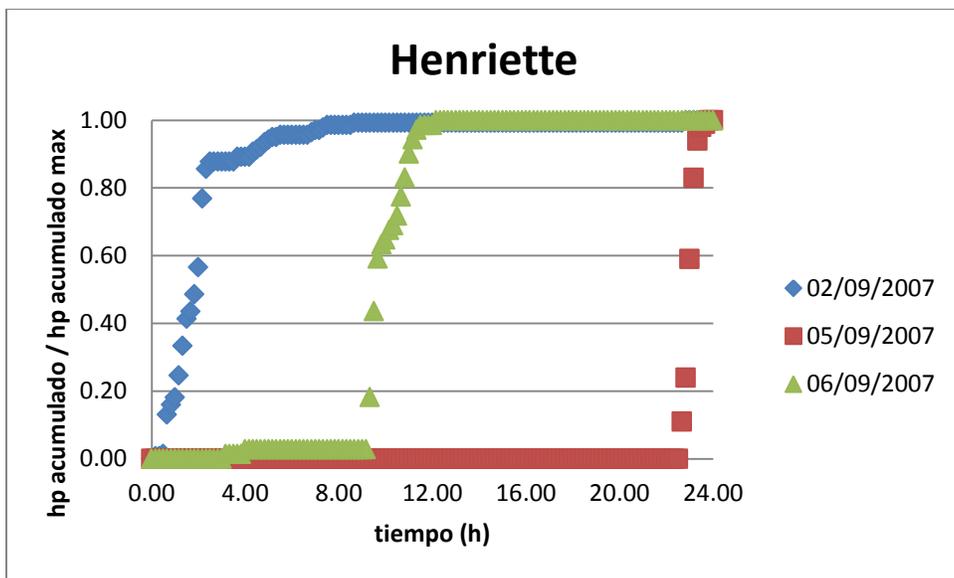
Huracán "Dora" estación Los Colomos, Región C-PA



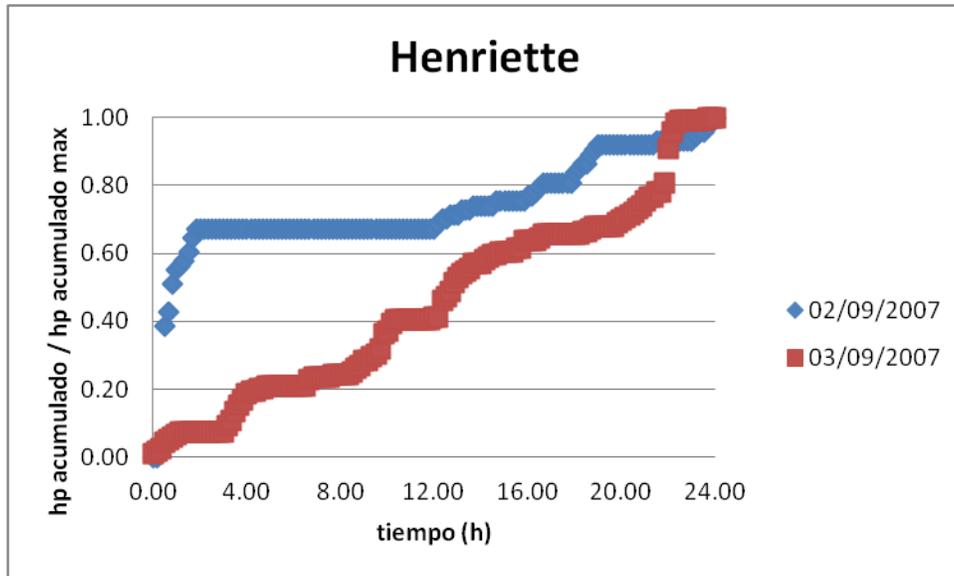
Huracán "Dora" estación Rio Tomatlan, Región C-PA



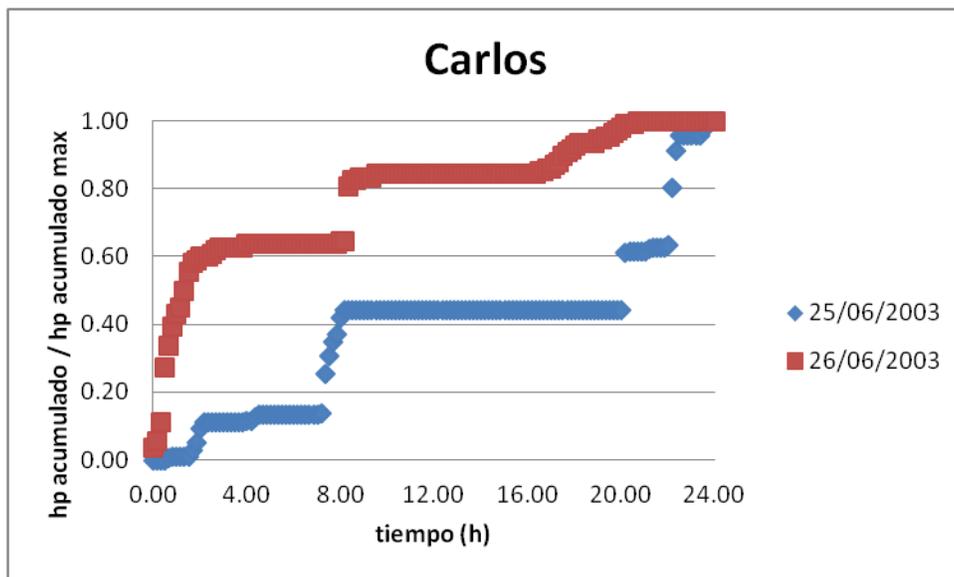
Huracán “Norman” estación Los Colomos, Región C-PA



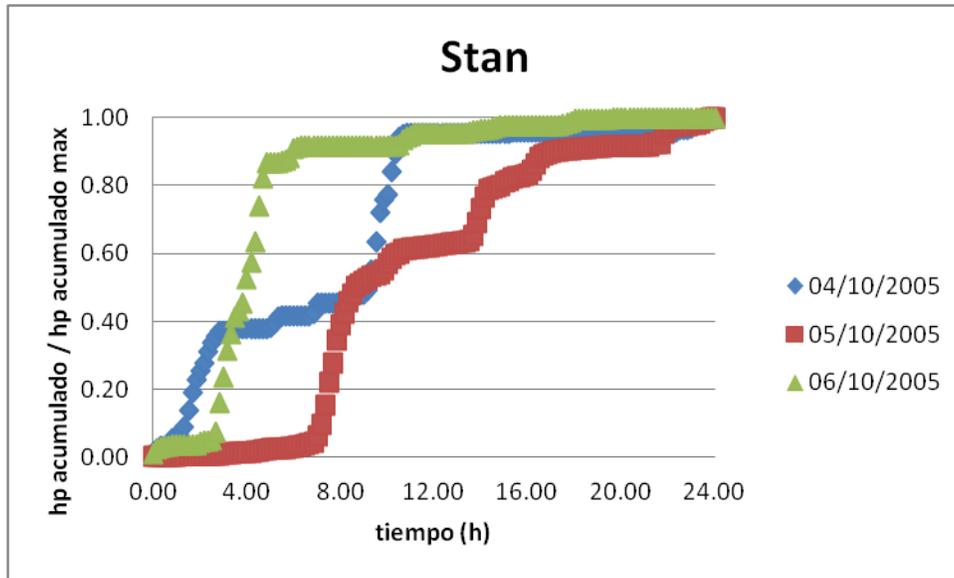
Huracán “Henriette” estación Los Colomos, Región C-PA



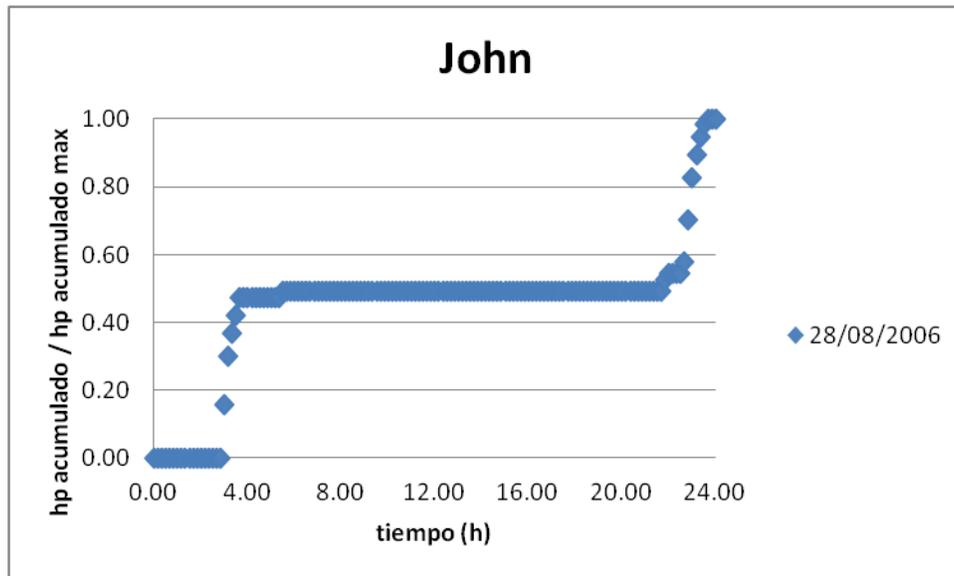
Huracán “Henriette” estación Rio Tomatlan, Región C-PA



Huracán “Carlos” estación Pinotepa Nacional, Región C-PAS



Huracán “Stan” estación Pinotepa Nacional, Región C-PAS



Huracán “John” estación Pinotepa Nacional, Región C-PAS