



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Programa de Posgrado

T e s i s
EVALUACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LLUVIA
DEL SISTEMA HIDROESTIMADOR EN LAS
CUENCAS DE LOS RÍOS GRIJALVA Y
USUMACINTA DEL SURESTE DE MÉXICO

que para obtener el grado de
Maestría en Ciencias del Agua
(Hidrometeorología y Meteorología Operativa)
presenta
Martín Ibarra Ochoa

Tutor: Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa de Posgrado

Tesis

**EVALUACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LLUVIA
DEL SISTEMA HIDROESTIMADOR
EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS GRIJALVA Y USUMACINTA
DEL SURESTE DE MÉXICO**

que para obtener el grado de
Maestría en Ciencias del Agua
(Hidrometeorología y Meteorología Operativa)

presenta
Martín Ibarra Ochoa

Tutor: Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "EVALUACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LLUVIA DEL SISTEMA HIDROESTIMADOR EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS GRIJALVA Y USUMACINTA DEL SURESTE DE MÉXICO", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

MARTÍN IBARRA OCHOA

Jiutepec, Morelos; a 27 de Enero de 2011

Lugar y fecha



Firma

DEDICATORIA

Tanto a mis padres José Guadalupe Ibarra López y Clementina Ochoa Sánchez como a mis hermanas Elizabeth Rocío y Arianna, motivantes de mi superación personal y profesional.

A mi esposa, Mónica Castro Padilla, por su cariño, motivación e invaluable comprensión y apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

Tanto a la memoria de mis abuelos y tíos Ma. Guadalupe Sánchez, J. Carmen Ochoa, Eduardo y Salvador Ochoa, como a los integrantes de la Familia Ochoa Sánchez: Elba, Otilia, Ángel y Javier.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de la Comisión Nacional del Agua por la promoción de acciones de capacitación al interior de la institución: Ing. José Luís Luege Tamargo, Director General de la CONAGUA; Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, Subdirector General Técnico; Ing. Enrique Mejía Maravilla, Gerente de Calidad del Agua; M. Sc. Felipe Adrián Vázquez Gálvez, Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional. A la Dra. Valentina Davydova Belitscaya, Gerente de Meteorología y Climatología y al Dr. M. Michel Rosengaus Moshinsky, Gerente de Redes de Información y Telemática, por las facilidades proporcionadas en la realización de los estudios de posgrado.

Al Fís. Fernando Romero Cruz, Subgerente de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo por las facilidades para la conclusión de este trabajo de investigación.

A la Subgerencia de Monitoreo Atmosférico Ambiental, adscrita al Servicio Meteorológico Nacional por la disponibilidad de la información que permitió el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco, Dr. René Lobato Sánchez, M. I. Juan Fco. Gómez Martínez y M.I. Ernesto Aguilar Garduño, miembros del Comité Tutorial por el apoyo proporcionado.

A los académicos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por la enseñanza transmitida y a los compañeros de clase, Yendi, Doroteo, José Luís, Víctor y Juan Carlos con quienes tuve la fortuna de convivir y hacer amistad.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I	
Introducción	1
CAPÍTULO II	
Planteamiento del problema	3
CAPÍTULO III	
Antecedentes	5
CAPÍTULO IV	
Objetivo	9
CAPÍTULO V	
Revisión Bibliográfica	
IV.1 El ciclo hidrológico y la distribución del agua	10
IV.2 Medición de la precipitación	12
IV.3 Estimación de la lluvia a través de imágenes de satélite, Hidroestimador	13
IV.3.1 Técnicas para el pronóstico de tormentas	13
IV.4 Avenidas repentinas e inundaciones	19
IV.5 Prevención de desastres	19
IV.6 Efectos de los desastres ocurridos en el 2007	21
IV.7 Cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos	24
IV.7.1 Impactos del Cambio Climático	25
IV.7.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático y la gestión del riesgo de desastres de origen hidrometeorológico	26
IV.7.3 Adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo hidrometeorológico en México	27

CAPÍTULO VI

Descripción del área de estudio	28
VI.1 Morfología y Fisiografía	29
VI.2 Precipitación	30
VI.3 Hidrología	30

CAPÍTULO VII

Metodología

Etapa I: Recopilación de las bases de datos de hidroestimador	33
Etapa II: Procesamiento de datos hidroestimador.....	34
Etapa III: Integración de series de tiempo.....	43
Etapa IV: Procesamiento de las series de tiempo.....	48
Etapa V: Presentación de resultados	49

CAPÍTULO VIII

Resultados

VIII.1 Resultados 2004	50
VIII.2 Resultados 2006, 2007 y 2008	56

CAPÍTULO IX

Conclusiones y Recomendaciones	70
---	----

BIBLIOGRAFÍA	74
---------------------------	----

PÁGINAS INTERNET CONSULTADAS	77
---	----

ACRÓNIMOS	78
------------------------	----

ANEXO A

Características de estaciones climatológicas 2004	79
---	----

ANEXO B

Características de estaciones climatológicas 2006, 2007 y 2008	81
--	----



ANEXO C

Gráficas de dispersión de estaciones
climatológicas 2004 90

ANEXO D

Pluviogramas de estaciones climatológicas 2006, 2007 y 2008 95

ANEXO E

Pluviogramas de estaciones
climatológicas con corrección 2007 100

CAPÍTULO I Introducción

En la última década México se ha visto afectado por diversos fenómenos hidrometeorológicos que han ocasionado inundaciones severas y cuantiosos daños materiales y humanos, en especial en la región sureste en el estado de Tabasco, en el que durante los años 1995, 1999, 2007, 2008, 2009 (López, 2010) y 2010 se registraron inundaciones severas que causaron cuantiosos daños materiales y humanos a causa de lluvias extraordinarias que rebasaron las estadísticas históricas de precipitación en la entidad. Se atribuye su mayor incidencia al cambio climático global y se pronostican eventos de mayor severidad a escala global que sin duda tendrán efectos a escala regional y local; proponer e instrumentar medidas preventivas y correctivas es una prioridad nacional.

Se pronostican cambios en el régimen de lluvias tanto en su intensidad como en su duración, lo que favorecerá que algunas regiones sean más o menos húmedas de lo que normalmente suelen ser, impactando a diversos sectores productivos, económicos y ambientales como la agricultura, la acuicultura, la energía, el turismo, la biodiversidad, etc. Para cuantificar los cambios en las lluvias es importante contar con redes de medición que permitan su evaluación y monitoreo; en México la dependencia responsable de realizar su medición es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) para lo cual cuentan con diversas redes de medición.

A partir de la década de los 1990's en México se han realizado importantes esfuerzos para implementar redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) que favorezcan la disponibilidad de información casi en tiempo real, la cual es de vital importancia para la toma de decisiones tanto en materia hídrica como de protección civil, no obstante los costos de su operación y mantenimiento son considerables, por lo que también se han realizado esfuerzos para cuantificar la lluvia a través de imágenes de satélite. A partir del año 2004 en colaboración con la NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) de los Estados Unidos de Norteamérica (EUA) el SMN implementó de manera operacional el sistema Hidroestimador, a través del cual se estima la lluvia utilizando imágenes de satélite, haciendo posible tener información de áreas inaccesibles o que no son cubiertas por las redes de medición convencionales, y con una mayor resolución espacial y temporal.

En el presente trabajo se evalúa la confiabilidad de las estimaciones de lluvia realizadas por el sistema Hidroestimador mediante su comparación con las observaciones registradas en la red de estaciones climatológicas convencionales localizadas en las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta en el Sureste de México. Dicha comparación se realizó para dos escenarios: a) Comparaciones punto a punto, es decir dato de estación climatológica vs dato estimado Hidroestimador en la imagen de satélite, y b) Comparación punto a campo de lluvia Hidroestimador, es decir, dato de estación climatológica vs el promedio de las estimaciones de satélite Hidroestimador correspondiente a los pixeles contenidos en un radio de 0.08 décimas de grado. Después de haber calculado los coeficientes de correlación de ambos escenarios para las series de tiempo que comprenden el periodo 2004, 2006, 2007 y 2008, se encontró que para 70 estaciones climatológicas convencionales las comparaciones punto a punto para el año 2004 presentaron coeficientes de correlación en el rango de [-0.08 a 0.69], mientras que las comparaciones punto a campo de lluvia para 90 estaciones climatológicas estuvieron en el rango de [-0.04 a 0.48]. Se presentan las posibles causas que explican dicha variación, se identifican las regiones a nivel de subcuenca con mejores correlaciones y se proponen una serie de recomendaciones para mejorar las comparaciones entre ambas clases de información.

CAPÍTULO II Planteamiento del problema

En la última década se han incrementado los problemas de inundaciones en la región del Sureste de México, en donde se han registrado lluvias extraordinarias a causa, por un lado por eventos hidrometeorológicos extremos, como los ciclones tropicales Emily, Stan y Wilma, y por el otro por lluvias ocasionadas por frentes fríos, ondas tropicales, bajas presiones, etc.

El estado de Tabasco ha sido particularmente afectado por lluvias torrenciales en los años 1995, 1999, 2007, 2008, 2009 y recientemente en el 2010 que han ocasionado inundaciones y graves daños y afectaciones a la población civil y a las actividades económicas y productivas, impactando su desarrollo. Prever las inundaciones con fines de protección civil y adecuada operación de la infraestructura hidráulica es fundamental para las agencias responsables de su administración.

Debido a las dificultades de contar con una extensa, representativa y funcional red de estaciones meteorológicas que registren la lluvia y la transmitan en tiempo real para apoyar la toma de decisiones, y a lo cuantioso que resulta su implementación, operación y mantenimiento, es necesario buscar métodos y herramientas alternativas que permitan la estimación de la precipitación en regiones donde resulta difícil implementar una red de medición en tierra ya sea por su costo, por la inaccesibilidad de la región bajo estudio o por la propia operación debido a la transmisión de datos de manera telemétrica, o en su caso a la recolección de los datos en sitio, esto sin considerar los daños y averías por falta de mantenimiento y vigilancia.

A falta de información de las redes de estaciones meteorológicas el uso de las imágenes de satélite constituye una herramienta alternativa para la estimación de la lluvia en tiempo casi-real. Sus aplicaciones resultan atractivas para el sureste mexicano, en especial con fines de prevención de inundaciones en el estado de Tabasco, el cual ha sido severamente afectado en los últimos años.

Ha sido hasta años recientes que debido a la colaboración del SMN con la NOAA y a la transferencia de tecnología se ha consolidado la implementación y operación del sistema Hidroestimador para la estimación de la lluvia a través de imágenes de satélite en México, no obstante que en el Servicio Meteorológico Nacional se ha desarrollado una cultura ya de hace años en la adquisición y procesamiento de imágenes de los satélites GOES y TIROS.

Una vez que la información Hidroestimador se encuentra disponible y operativa en México, el siguiente paso es evaluar la confiabilidad de sus estimaciones a fin de identificar si es necesario realizar alguna calibración del sistema y mejorar sus productos. Éste último es precisamente el motivo del presente trabajo de investigación.

Así, este trabajo tiene por objetivo realizar la evaluación del sistema Hidroestimador en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta localizados en el Sureste de México mediante su comparación con las mediciones de la red de estaciones climatológicas de la CONAGUA. Esta región es de particular interés dado que el área de captación de estas cuencas es tan amplia que la administración de sus aguas a lo largo de sus cauces resulta de singular importancia con fines de prevención de inundaciones y generación de energía eléctrica.

Adicionalmente, el uso de imágenes de satélite para la estimación de la lluvia en esta región resulta apropiado dado que su área de captación es compartida tanto por México como por Guatemala, por lo que las imágenes Hidroestimador favorecerían la estimación de la lluvia en un área en donde no se cuenta con información de las redes de medición en tierra, no obstante los esfuerzos vertidos en acuerdos bilaterales para compartir información transfronteriza, mejorando así la toma de decisiones con fines de administración y manejo de sus aguas, máxime cuando parte de sus áreas de captación se localizan aguas arriba en territorio guatemalteco.

En la evaluación de la confiabilidad de la estimación de lluvia a través del sistema Hidroestimador se han sugerido como alternativas realizar comparaciones de las mediciones Hidroestimador contra lo registrado en las estaciones climatológicas, o realizar las comparaciones en términos de láminas de lluvia estimadas por ambos métodos para áreas específicas, que bien pudieran ser subcuencas. El presente trabajo se enfoca en la primera alternativa dado que con frecuencia se plantea la interrogante sobre la similitud que guarda el registro de una estación climatológica contra lo estimado en una imagen de satélite, en este caso Hidroestimador; se presentan los resultados que esto conlleva.

CAPÍTULO III Antecedentes

El Servicio Meteorológico Nacional realiza el registro de la precipitación en México a través de las siguientes redes de medición: La red de estaciones climatológicas convencionales, administrada por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR); la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS), la red de observatorios meteorológicos, y la red de Estaciones Sinópticas Meteorológicas (ESIMES), administradas éstas tres últimas por el SMN. En materia de información climatológica la base de datos CLICOM (CLIma COMputarizado) almacena la información histórica tanto institucional (GASIR y Observatorios Meteorológicos) como la proporcionada por otras dependencias como la Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Agricultura. Las figuras 1 y 2 muestran la distribución de estas redes.

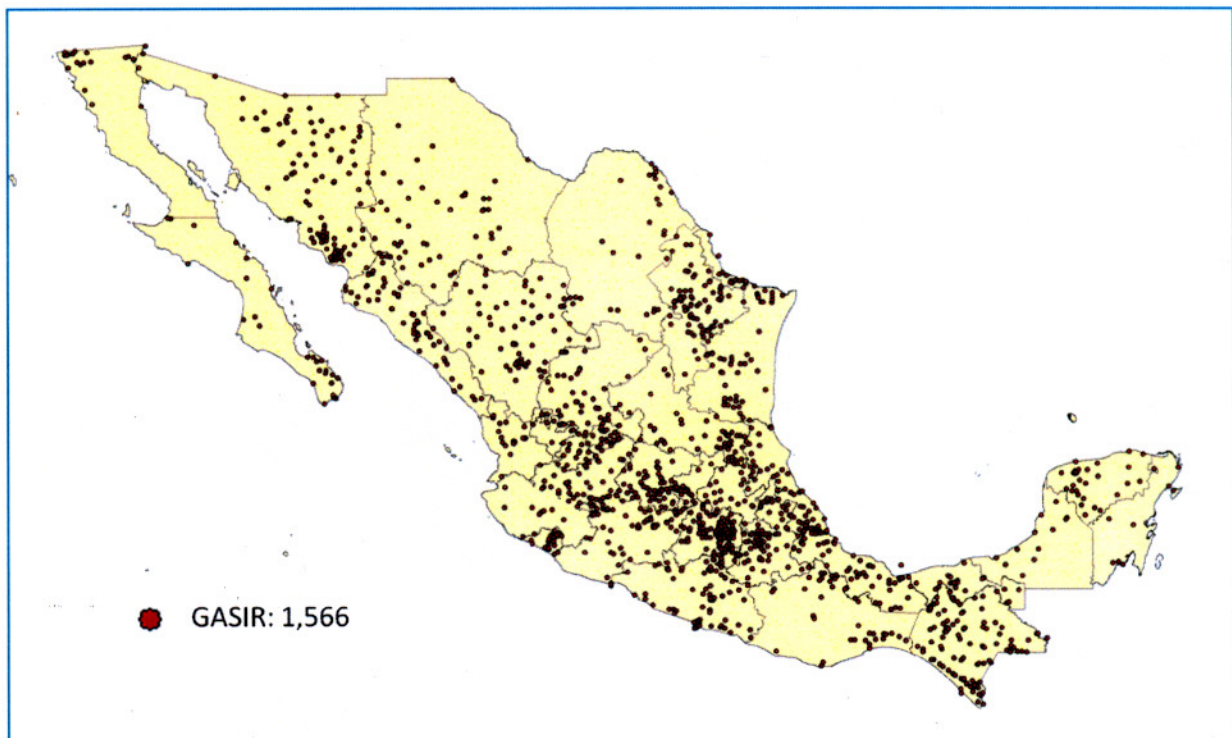


Fig. 1. Distribución de estaciones climatológicas convencionales (GASIR).

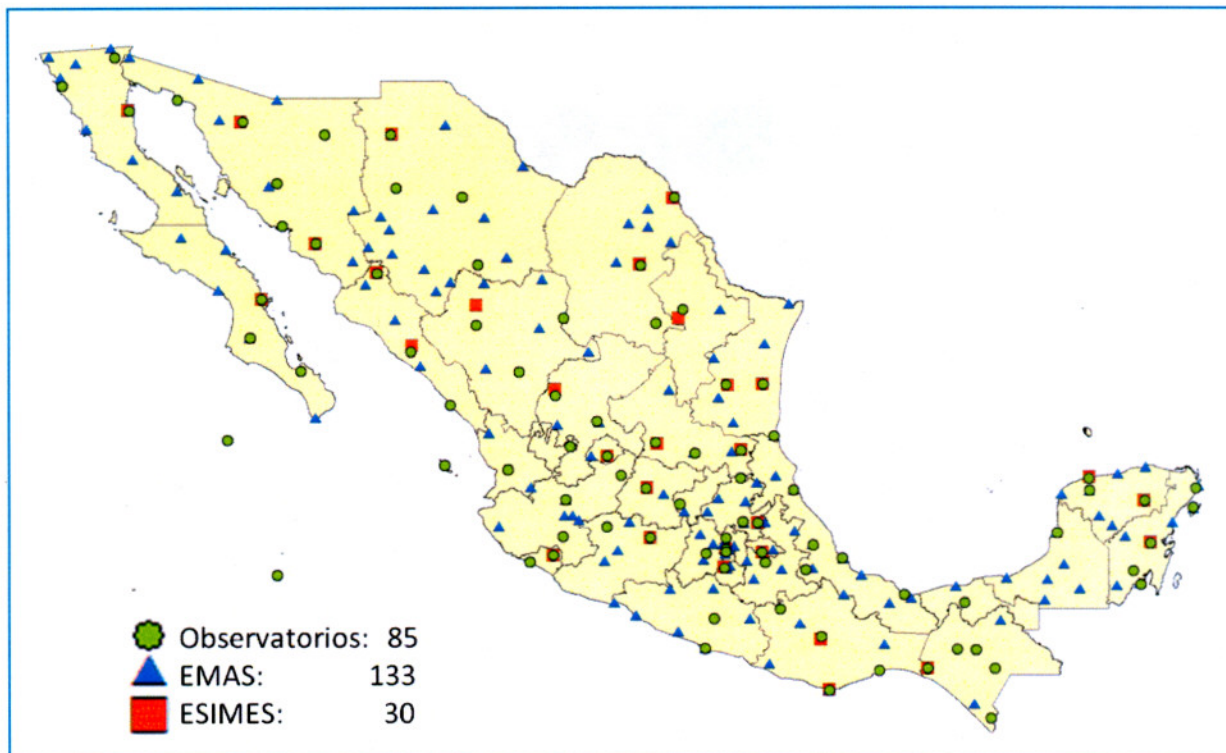


Fig. 2. Distribución actual de Observatorios Meteorológicos, EMAS y ESIMES.

Es a partir de estas redes que el Servicio Meteorológico Nacional y la GASIR han apoyado la toma de decisiones tanto para la formulación de políticas y lineamientos en materia de administración del agua en México como para el diseño y operación de diversas obras hidráulicas; el SMN lo ha realizado a través de su evolución por diversas dependencias, desde sus orígenes con la fundación del Observatorio Meteorológico Central el 6 de marzo de 1877, a través de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y actualmente la Comisión Nacional del Agua.

La adquisición de datos es fundamental para el soporte y toma de decisiones, de manera tal que la continuidad de las mediciones y su confiabilidad es de vital importancia; la operación, mantenimiento y desarrollo de las redes de medición está delimitada por aspectos presupuestales, por lo que el proceso de planeación al que están sujetas es motivo de un reflexivo análisis de desarrollo.

Antes de emplear los datos con fines climatológicos la información registrada por las redes de medición está sujeta a un control de calidad que se realiza a través del sistema CLICOM, dando por resultado una base de datos histórica de precipitación acumulada diaria de 5,448 estaciones climatológicas cuya distribución se muestra en la Figura 3; es claro que no todas estas estaciones han registrado información de manera continua a lo largo de su historia, por lo que algunas de ellas presentan “huecos de información”.

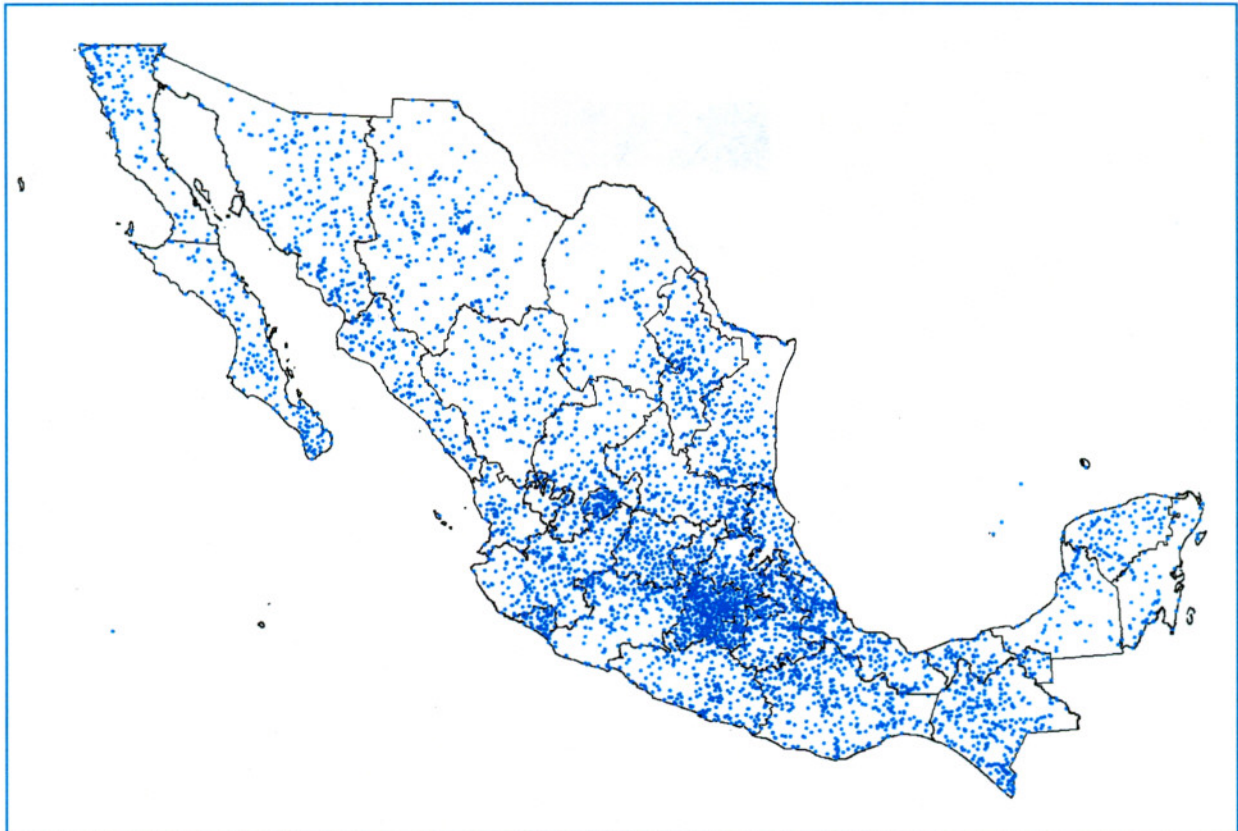


Fig. 3. Red de estaciones climatológicas CLICOM.

Ante una disminución en la densidad de la red de estaciones climatológicas convencionales de 5,448 a poco más de 1,300 actualmente operativas, es clara la necesidad de contar con métodos alternativos que permitan estimar la precipitación en áreas donde han dejado de operar las estaciones climatológicas convencionales o que sean de inaccesible o remoto acceso; así, la estimación de la lluvia a través de imágenes de satélite o de radar se constituyen como alternativas para la obtención de información de manera indirecta.

Actualmente el SMN cuenta con una estación de recepción del satélite meteorológicos TIROS y una red de siete de GOES (CONAGUA, 2010) de cobertura regional y nacional respectivamente, distribuidas en las diferentes oficinas regionales de la CONAGUA. Ambas estaciones de recepción han operado desde los 1980's y han proporcionado información actualizada de manera permanente a los meteorólogos para sus actividades operativas.

La transferencia de tecnología del sistema Hidroestimador de la NOAA hacia el SMN favoreció que a partir del año 2004 se contara con datos de estimación de lluvia a través de imágenes de satélite. La Figura 4 muestra una imagen generada por el sistema Hidroestimador.

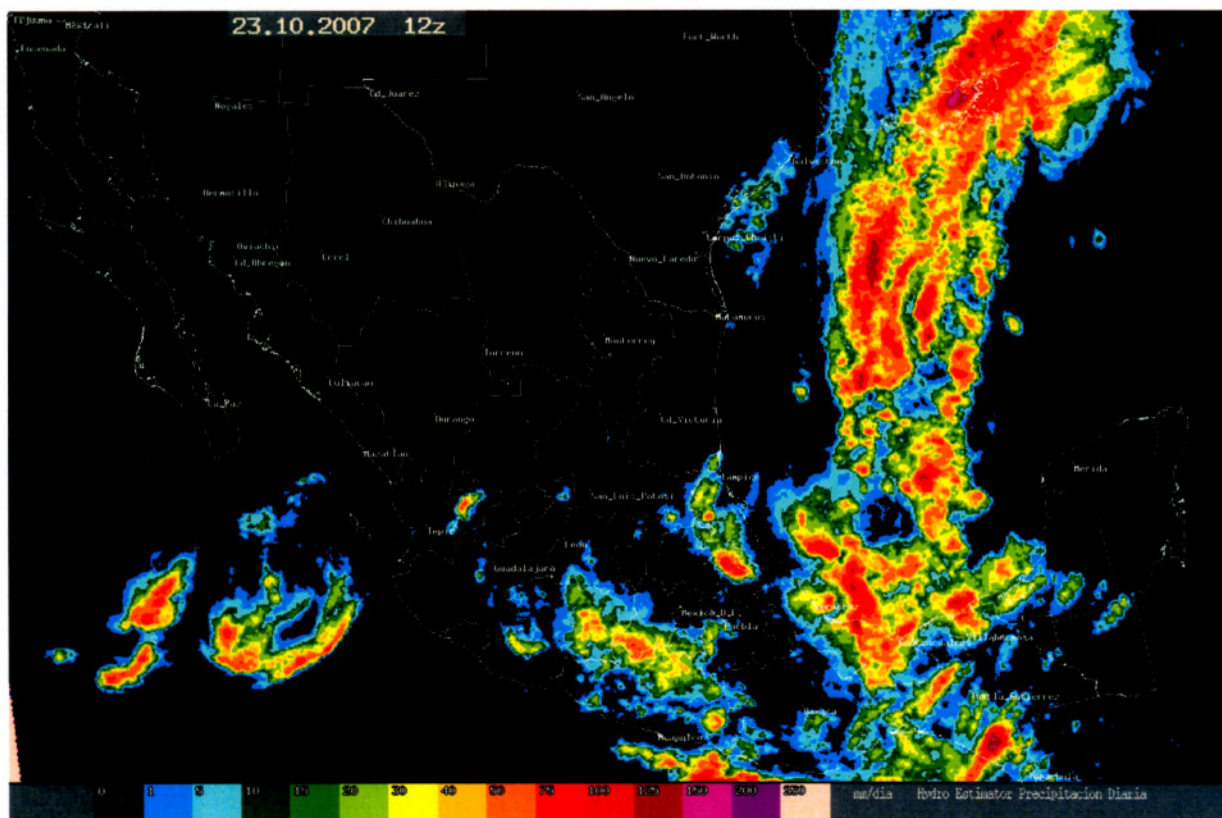


Figura 4: Imagen Hidroestimador

Pese a la nueva disponibilidad de información que provee el sistema Hidroestimador es necesario evaluar la certidumbre de sus estimaciones de precipitación mediante su comparación con las mediciones observadas en las estaciones climatológicas en tierra a fin de tener una mejor comprensión del grado de certidumbre, motivo del presente trabajo.

De este trabajo se espera evaluar la confiabilidad de las estimaciones de lluvia del sistema Hidroestimador en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, regiones sobre las cuales han ocurrido precipitaciones intensas que han ocasionado inundaciones severas en el estado de Tabasco, con la finalidad de mejorar el análisis de resultados ante su posible asimilación en modelos hidrológicos para el pronóstico de avenidas.

CAPÍTULO IV

Objetivo

Evaluar la confiabilidad de las estimaciones de lluvia del sistema Hidroestimador (HE) mediante su comparación con las mediciones registradas en las estaciones climatológicas convencionales a fin de identificar las áreas con mejores correlaciones dentro de las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta en el Sureste de México.

CAPÍTULO V Revisión Bibliográfica

IV.1 EL CICLO HIDROLÓGICO Y LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA.

Conocer la distribución de la precipitación es importante para fines de aplicaciones científicas y socioeconómicas, como los relacionados con la elaboración de estudios climáticos, inicialización de modelos de pronóstico numérico del tiempo, gestión de recursos hídricos en agricultura y energía, prevención de inundaciones, etc., (Tarruela R. y Jorge J, 2001). La Figura 5 muestra un esquema de las complejas interacciones del ciclo del agua, el cual a su vez como componente de la hidrósfera interactúa con la atmósfera, la biósfera, litósfera y la criósfera, constituyendo un elemento esencial del sistema climático terrestre.



Figura 5. El ciclo del agua
 (Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrológico)

Pese a que el agua cubre el 71% de la corteza terrestre (wikipedia.org), su disponibilidad promedio en el mundo es de 1,386 millones de km³, de los cuales el 97.5% es agua salada, y sólo el 2.5% es agua dulce, de la cual el 70% se encuentra en los glaciares, la nieve y el hielo. En cuanto a la disponibilidad del agua per cápita en el mundo, México ocupa el lugar 88 con 4,288 m³/hab/año, con variaciones regionales y estacionales importantes. El primer lugar lo ocupa Groenlandia con 10,432,562 m³/hab/año (Estadísticas del agua en México, 2010).

En México, el sureste recibe la mayor cantidad de la lluvia, registrándose en Tabasco precipitaciones medias anuales de 2,095 mm, Chiapas 1,768 mm y Campeche de 1,337 mm, mientras que, por otro lado, en el Noroeste se reciben 177 mm y solamente 160 mm en Baja California y Baja California Sur. Esta polaridad en los regímenes de precipitación en el país asociada al crecimiento demográfico permiten clasificar al sureste como una región con un grado de presión hídrica escasa (menor a 10%), mientras que a excepción de Tamaulipas, el resto del territorio nacional muestra un grado de presión fuerte (mayor a 40%), como lo indica en la Figura 6 (Estadísticas del agua en México, 2010).

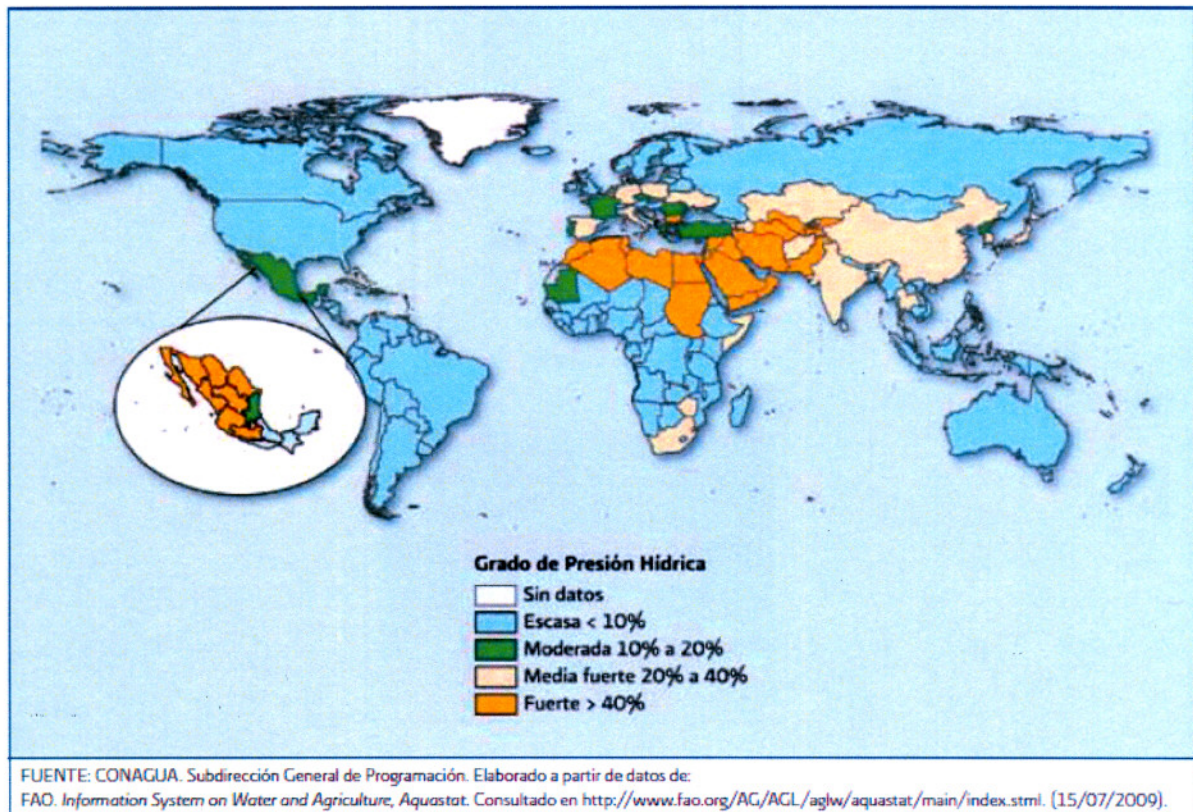


Fig. 6. Grado de presión sobre los recursos hídricos, 2008.

IV.2 MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

Tradicionalmente la precipitación se mide a través de pluviómetros y pluviógrafos, cuyas redes permiten conocer su distribución espacio-temporal. Las estaciones pluviométricas proveen mediciones directas y puntuales de la lluvia para duraciones en particular, sin embargo su densidad espacial, especialmente de aquellas de las que está disponible la información en tiempo real, puede llegar a ser demasiado dispersa como para captar la alta variabilidad espacial de la lluvia a escalas pequeñas, en especial las provenientes de procesos convectivos, por lo que los datos obtenidos por pluviómetros se caracterizan por representar el área circundante y próxima a la estación meteorológica (Ravelo A. C. y Santa A. J., 2000). En México la red de 133 estaciones automáticas administradas por el SMN aún es insuficiente para detectar la variabilidad espacial de la precipitación en el territorio nacional.

Han surgido otras tecnologías para estimar la precipitación de manera indirecta, como el radar y los satélites meteorológicos. El radar aunque posee una alta resolución espacial, su alcance se limita a regiones con pocos de cientos kilómetros de distancia de su localización, la que puede ser menor si regiones montañosas obstaculizan su campo de visión o por condiciones fisiográficas que generan ecos de lóbulos laterales que contaminan la región central de la cobertura del radar, dificultando la interpretación de las imágenes generadas (Rosengaus, 1995). Las estimaciones de la lluvia a través de satélites meteorológicos son menos directas y menos precisas que las estaciones pluviométricas o el radar, pero tienen la ventaja de captar la variabilidad espacial de las lluvias debido a su mayor cobertura espacial sobre los océanos, las regiones montañosas y áreas con poblaciones dispersas, donde otras fuentes de medición no se encuentran disponibles (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/HydroEst.php>). Así, los satélites geoestacionarios permiten la estimación de la lluvia con una mayor resolución espacial comparada con una red de medición en tierra (Tarruela R. y Jorge J, 2001).

Tucci y Collischonn (2006) relacionan el grado de desarrollo de los países con el uso tecnológico, señalan que en los países desarrollados la precipitación se estima mediante la combinación de ellos de las tecnologías de radar o satélite o combinación de ellos, mientras que en los países en vías de desarrollo los datos telemétricos o de radar son aún de uso escaso. Señalan que las estimaciones de lluvia por satélite son más económicas pero que necesitan una evaluación de su utilidad en función de los resultados; señalan que la estimación de la lluvia por satélite tiene un futuro importante para complementar la falta de estaciones de medición y restricciones presupuestales. Arreguín (2007) indica como algunos retos de México en la investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en materia hídrica, la implementación de modelos lluvia-escurrecimiento de parámetros distribuidos para ser alimentados automáticamente con datos de radar meteorológico, así como explotar los nuevos productos de estimación de lluvia con base en imágenes satelitales en la generación de productos que se puedan luego asociar con el riesgo de inundación.

IV.3 ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA A TRAVÉS DE IMÁGENES DE SATÉLITE, HIDROESTIMADOR.

La estimación de lluvia a través de imágenes de satélite es importante para estudios de meteorología, hidrología, climatología de lluvias, cálculo de balances hidrológicos, etc. (Fashé O. R., et al. 2005), y más aún en regiones tropicales en donde la ocurrencia de la precipitación está relacionada con eventos climáticos como El Niño y La Niña (Curtis, et al. 2002; Adler, et al., 2000; Curtis S. y R. Adler, 2000).

Las imágenes de satélite proporcionan información de la precipitación en periodos cortos de tiempo. Originalmente la técnica de estimación de lluvia por satélite fue desarrollada por Gilberto Vicente (1998) para producir estimaciones de lluvia automáticamente para los EUA, en NOAA/NESDIS, usando la banda infrarroja (10.7 μm) del satélite GOES con resolución de 4x4 km.

El sistema Hidroestimador se caracteriza por proporcionar tanto imágenes como estimaciones de lluvia en periodos cortos de tiempo en altas resoluciones espaciales y temporales (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/HydroEst.php>). Hidroestimador produce estimaciones basadas en los valores de temperatura detectados en el espectro infrarrojo de las imágenes de satélite GOES, a las que se les adiciona información de modelos de datos numéricos del tiempo. Las estimaciones de lluvia basadas en satélite han sido utilizadas operacionalmente en la National Oceanic and Atmospheric Agency (NOAA), de los Estados Unidos Americanos (EUA) desde finales de los 1970's, en los que se inició con el sistema "Interactive Flash Flood Analyzer (IFFA; Scofield 1987), que evolucionó al completamente automatizado Auto-Estimador (Vicente et al. 1998), y recientemente al Hydro-Estimador (H-E; Scofield and Kuligowski 2003), que es el algoritmo de última generación empleado en NESDIS desde el año 2002.

Las estimaciones son generadas cada 15 minutos para los Estados Unidos de Norteamérica, y son producidas para el resto del mundo usando datos de satélites geoestacionarios disponibles sobre Europa, África, el Oeste de Asia (METEOSAT) y Este de Asia (MTSAT). El algoritmo emplea datos de modelos de predicción numérica del tiempo para corregir las gotas de lluvia por evaporación, influencia topográfica de la lluvia, y otros factores (Scofield & Kuligowski, 2003).

IV.3.1 Técnicas para el pronóstico de tormentas.

Tarruela R. y Jorge J. (2001) señalan que las técnicas empleadas para el pronóstico de tormentas a través de imágenes de satélite fueron formuladas originalmente por Arkin, Negri y Vicente, y que al comparar estos métodos se encontró que todos ellos sobre-estiman la precipitación y presentan un comportamiento diferente en función de la zona geográfica y la época del año de acuerdo con el tipo de precipitación dominante en cada una de ellas. La información del campo de temperatura del sistema tierra atmósfera es utilizada de forma indirecta por diversas metodologías para hacer estimaciones de precipitación (Tarruela R. y Jorge J, 2001). A demás de usar las bandas infrarrojas de los satélites de las que se estima el campo de temperatura, también se han empleado microondas, radar y redes neuronales, o una combinación de éstas (Fashé O. R., et al. 2005).

La **Técnica Arkin** se empleó para estimar la precipitación en el Proyecto “*Global Precipitation Climatology Project*” (GPCP) (Huffman, et al., 1997). En ésta, cada pixel se clasifica como “nube” o “no nube” en función de que su temperatura de brillo sea menor o no a un valor umbral (T_h), asignando una cantidad de precipitación a cada pixel identificado como nube ($T_h=235$ K, 3 mm/h en el experimento GATE). Matemáticamente para una zona determinada se tiene:

$$GPI=3 f \Delta t$$

Donde GPI es la estimación de la precipitación en mm, f es la fracción del área estudiada más fría que la temperatura umbral elegida, y Δt es el tiempo en horas.

La **Técnica Negri** discrimina las nubes en forma de conglomerados de pixeles mediante una isoterma (Tarruela R. y Jorge J., 2001); busca el pixel más frío y le asocia como componentes de la misma nube los pixeles vecinos con temperaturas inferiores a un valor umbral ($T_h=253$ K en la versión original). Dentro de cada nube se discriminan tres zonas separadas por los valores percentiles 10 y 50 de temperatura (T_{10} y T_{50}) y se asocia al pixel (i,j), con una temperatura T_{ij} , una intensidad de precipitación R , dada por:

$T_{ij} < T_{10}$	$R=9.0$ mm/h
$T_{10} < T_{ij} < T_{50}$	$R=1.8$ mm/h
$T_{ij} > T_{50}$	$R=0.0$ mm/h

Estos valores han sido modificados a 8.0 mm/h y 2.0 mm/h en función de la zona geográfica bajo estudio (Levizzani et al., 1997).

La **Técnica Vicente** originalmente intenta fijar un algoritmo automático en el que a partir de una imagen de satélite se pueda proporcionar la precipitación en cada uno de los pixeles de la imagen (Tarruela R. y Jorge J., 2001). Al igual que las otras técnicas se basa en que cuanto más frío es un pixel, más alta es la nube, de manera tal que una nube de fuerte desarrollo vertical suele generar mayor precipitación. La ecuación siguiente calcula la intensidad de precipitación (mm/h) en función de la temperatura de tope de nubes (K), obtenida como resultado de la correlación de temperatura de tope de nubes en imágenes infrarrojas y la precipitación medida con radar meteorológico, calculada originalmente para las llanuras centrales de los EUA:

$$R = 1.1183 * 10^{11} \exp(-0.036382 T^{1.2})$$

La estimación de la tasa de lluvia es mostrada en la Fig. 7 (Segura B., et al.,2006):

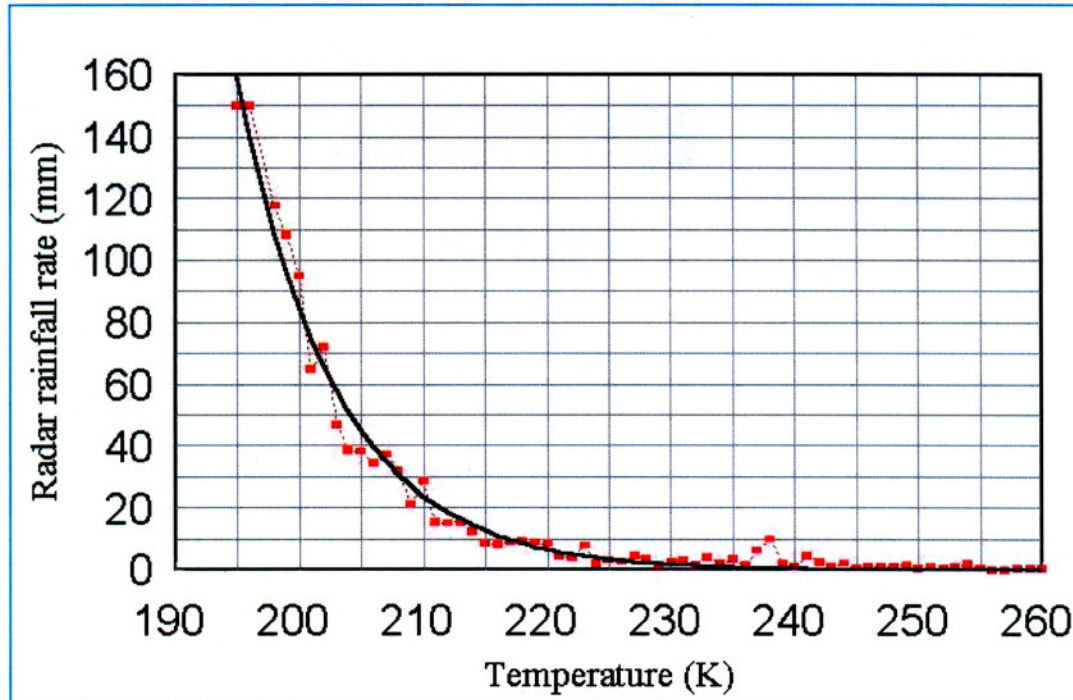


Figura 7. Tasa de lluvia y temperatura GOES (Vicente et al. 1998)

A esta ecuación se han aplicado factores de corrección de acuerdo con la zona de aplicación considerando el contenido de humedad en el ambiente, el valor límite de la precipitación basado en datos históricos, la temperatura media en el entorno del pixel, y la evolución térmica temporal de éste último (Fashé O. R., et al. 2005).

En un estudio en España, Tarruela R. y Jorge J (2001) utilizaron 16,000 imágenes infrarrojas térmicas del satélite Meteosat 5, correspondientes al periodo del 1 de julio de 1994 al 30 de junio de 1995, con resolución temporal de 30 minutos, con las que realizaron análisis horarios, diarios, decenales, mensuales, estacionales y anuales. La Figura 8 muestra las precipitaciones acumuladas mensuales estimadas con las tres técnicas mencionadas anteriormente, incluyendo los datos registrados en los observatorios del Instituto Nacional de Meteorología de España. Fue notoria una sobre-estimación de la precipitación en los tres métodos, en especial en los meses lluviosos de esa región.

La Figura 9 muestra los coeficientes de correlación resultantes de comparar datos medios mensuales de las tres técnicas vs los datos de observatorios: Se observaron valores bajos para enero y para los meses secos (sobre todo agosto). Reportan una mejoría de los coeficientes para el otoño y primavera.

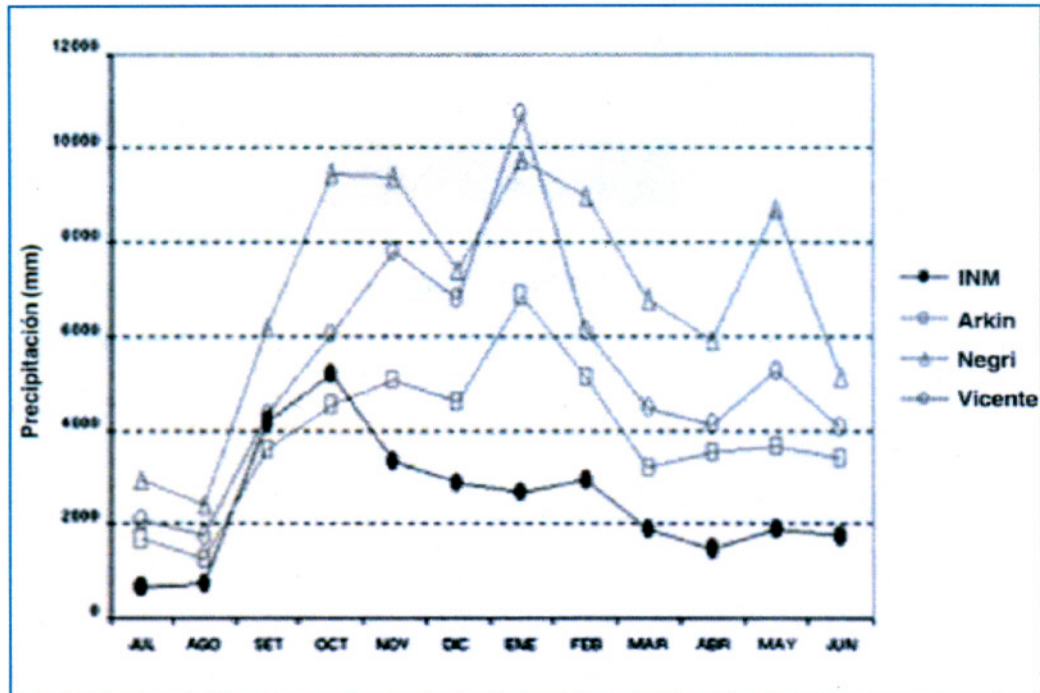


Fig. 8. Precipitación mensual de tres técnicas de estimación de lluvia por satélite comparadas con estaciones climatológicas.

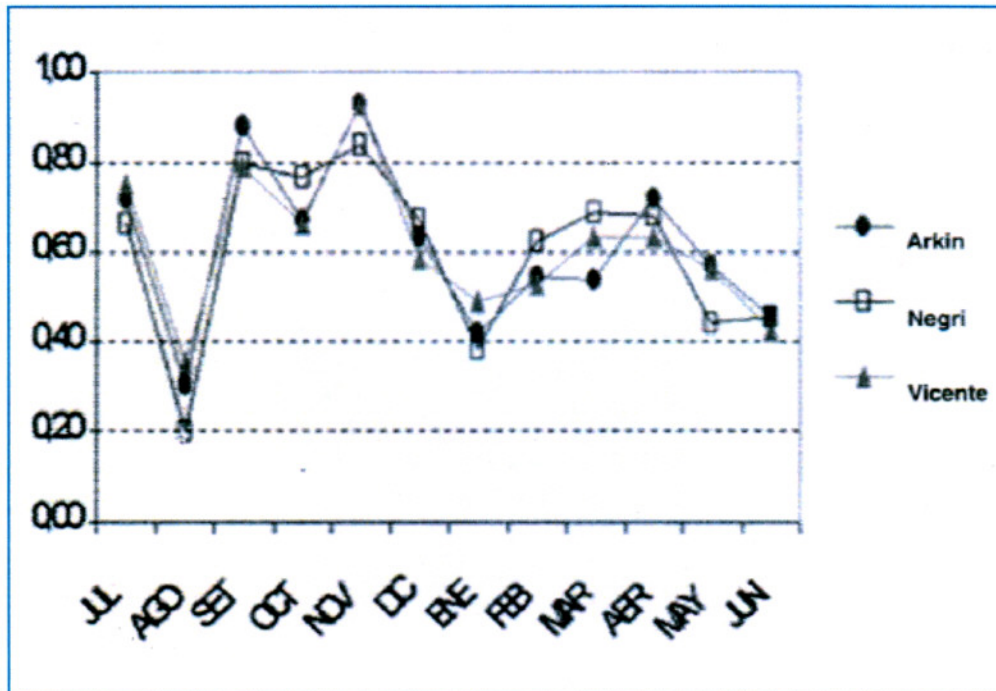


Fig. 9. Coeficientes de correlación de tres técnicas de estimación de lluvia.

El Cuadro 1 muestra los coeficientes de correlación temporales obtenidos por Tarruela R. y Jorge J (2001):

Periodo	Arkin	Negri	Vicete
Año (día a día)	0.64	0.66	0.62
36 decenas	0.70	0.79	0.68
Mensual	0.60	0.67	0.61

Cuadro 1. Coeficientes de correlación temporales

Al considerar las regiones climáticas del área de estudio, Tarruela R. y Jorge J (2001) encontraron que para algunos meses se obtienen mejores correlaciones para zonas donde las lluvias son de carácter convectivo, para las cuales fueron diseñadas las técnicas originales. Concluyeron que las técnicas de estimación de precipitación basadas en imágenes del infrarrojo térmico sobre-estiman la precipitación, con valores de correlación muy similares y sólo de 0.70 para algunos meses, dando mejores resultados cuando se analizan datos decenales, y que muestran mejores resultados para lluvias de tipo convectivo.

Técnica Convectiva Estratiforme. Fashé et al. (2005) y Segura B. et al. (2006) hacen referencia a ésta técnica desarrollada por Adler y Negri en 1998, calibrada posteriormente con datos del satélite TRMM, en la que se utilizan dos tipos de tasas de lluvia: una asigna una determinada cantidad de lluvia asociada con lluvia convectiva y la otra con lluvia estratiforme, método que se aplicó para estimar la tasa de lluvia en el Perú, y en el que después de comparar las estimaciones de lluvia a partir de imágenes infrarrojas GOES-8 (4x4 km) con las imágenes TRMM (1° x 1°, aproximadamente 10 km) nivel 3, para el periodo de verano de Enero a Marzo del 2002, encontraron altas correlaciones mensuales, en especial en la Sierra Peruana. Las correlaciones entre las estimaciones del GOES-8 y TRMM para enero, febrero y marzo fueron de 0.25, 0.69 y 0.67, con mejores resultados en la sierra Peruana que en la región de la selva. Utilizando la misma técnica, Fashé (2002) encontró que para cuatro días del mes de abril del 2002, las lluvias convectivas abarcan el 22.45% de área total de la lluvia y que aportan el 72.03% del volumen total de la lluvia.

Segura et al. (2002) utilizaron estimaciones de precipitación satelital utilizando técnicas de Hidroestimador y la Técnica Convectiva Estratiforme para el verano del 2001 y 2002, con fines de utilización en tiempo real para hacer estimaciones de crecidas a corto plazo y generar alertas para la cuenca del Río Shullcas, en el Perú. Compararon el gasto estimado con mediciones de gasto y precipitación observadas a fin de identificar la técnica que mejor reflejara los datos hidrológicos y meteorológicos; resultados preliminares mostraron una correlación entre ambas técnicas de 0.4, y la correlación con datos de precipitación observada fue menor a 0.3, lo que puede explicarse a la carencia de representatividad de los puntos medidos de precipitación asociada con la fuerte variabilidad espacial de la precipitación; asimismo pudo deberse a que la relación entre la temperatura del tope de nube y precipitación según las técnicas de estimación pudieron no ser las adecuadas para la región de estudio.

Segura et al. (2006) utilizaron la técnica Hidroestimador para determinar la media mensual de precipitación a través de satélite en la cuenca del Mantaro en Perú; encontraron similitudes de comportamiento mensual con el Atlas Climático, incluyendo la detección de tres zonas de mayor precipitación.

En otro estudio Fashé O. y Rojas A. (2005) aplicaron un procesamiento de realce radiométrico a las imágenes GOES-8 del mes de enero del 2002 y utilizaron la técnica físico-matemática "Técnica Convectiva Estratiforme" (CST) para la estimación de lluvia convectiva y estratiforme. Los resultados mostraron que las tasas de lluvia mensuales estimadas con GOES-8 y las medidas en pluviómetros presentaron una alta correlación sobre la región de la selva peruana (0.90), mientras que fueron menores en la región de la sierra peruana (-0.01); el coeficiente de correlación para la región de estudio fue de 0.84.

Ravelo y Santa (2000) realizaron un estudio en la provincia de Córdoba, Argentina, por el cual desarrollaron un análisis de regresión entre la información procesada del satélite GOES y los registros pluviométricos terrestres a fin de establecer ecuaciones de estimación de las precipitaciones a partir de información satelital. Determinaron umbrales térmicos correlacionados con la ocurrencia de precipitación para cuatro localidades de la sierra y llano de Córdoba, Argentina}, encontraron que el umbral de -40°C fue el de mayor correlación con las precipitaciones registradas. El análisis de regresión entre la precipitación observada durante la tormenta y el tiempo en el que el tope de la nube permaneció por debajo de los -40°C , permitió que las estimaciones de precipitación tengan un error medio de estimación de 3.2 mm, lo que favoreció el empleo de imágenes GOES para estimar las precipitaciones con una precisión adecuada con fines agrícolas.

En una serie de estudios realizados por Kuligowski (2001) para evaluar el algoritmo "Autoestimator" (antecedente del Hidroestimador) encontró coeficientes de correlación de 0.49 al compararlo con datos diarios de estaciones climatológicas para eventos de tormentas localizadas en las planicies sureñas de los EUA para un periodo del 30 de junio al 3 de julio de 1999; así como un coeficiente de correlación de 0.33 al compararlo contra datos a cada 30 minutos para una región de Oklahoma EUA instrumentada con 114 estaciones climatológicas.

Scofield y Kuligowski (2003) obtuvieron coeficientes de correlación para "Autoestimator" e Hidroestimador de 0.69 y 0.64 al comparar dichos algoritmos con información horaria de estaciones climatológicas para la tormenta tropical Allison en Junio del 2001. En otro estudio realizado por Alfaro (2003) para Centroamérica al evaluar las lluvias dejadas por el huracán Keith del 30 de septiembre al 2 de octubre del 2000, obtuvo coeficientes de correlación para "Autoestimator" de 0.49 mientras que para Hidroestimador de 0.59; lo mismo realizó para la tormenta tropical "Chantal" obteniendo coeficientes de correlación para Hidroestimador desde 0.36 a 0.07 a para diferentes intensidades de lluvia. Asimismo para la temporada de lluvias de mayo a septiembre en América Central obtuvo coeficientes de correlación mensuales de 0.36, 0.47, 0.35, 0.24 y 0.28 respectivamente utilizando datos diarios de precipitación.

En una evaluación de Hidroestimador para dos eventos de tormenta, Vila et al. (2003) encontraron coeficientes de correlación de 0.59 a 0.82 para el primero de ellos en la cuenca Del Plata, en Uruguay, para una tormenta de hasta 100 mm, ocurrida en un área aproximada de 50,000 km² con información de 50 estaciones climatológicas y datos satelitales a cada tres horas. Para el segundo evento en el Norte de Uruguay y sur de Brasil, los coeficientes encontrados fueron de 0.76 a 0.93 para una tormenta de 300 mm en 24 horas.

IV.4 AVENIDAS REPENTINAS E INUNDACIONES.

Una inundación es el resultado de una descarga de agua sobre terreno normalmente seco, causada por el incremento del nivel del agua en un río, una corriente o un drenaje; una avenida repentina causa inundaciones debidas a una lluvia fuerte o excesiva en un periodo corto de tiempo, pueden ocurrir en cuestión de minutos o pocas horas, o inclusive en ausencia de lluvias debido a la falla de alguna presa, o descargas de agua liberadas por limpieza de desechos sobre el cauce de los ríos o derretimiento de hielos (*National Weather Service*, 2010. <http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php>).

Debido a que los eventos de avenidas repentinas ("flash flood") se originan con lluvias fuertes en áreas poco o nada instrumentadas que las hacen indetectables, la lluvia estimada por el satélite se constituye en una alternativa crítica para identificar amenazas de tormentas de escala pequeña y eventos de avenidas (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/HydroEst.php>). Aunque se han empleado métodos estadísticos, radar, imágenes de satélite y modelación meteorológica en la predicción cuantitativa de la precipitación, por muchos años no se realizaron aplicaciones para el pronóstico de caudales, lo que pudiera ser no tan importante para cuencas con tiempos de concentración altos, pero sí para aquellas con bajos tiempo de concentración que incrementan el riesgo de crecidas repentinas (Tucci, M. E., y Collischonn W., 2006).

Las imágenes de satélite y de radar pueden aportar información de precipitación estimada en tiempo real para los modelos de parámetros distribuidos de cuencas, los cuales ofrecen ventajas sobre los modelos agregados lluvia-escurrimiento ya que representan mejor la variabilidad espacial de factores que controlan el escurrimiento y refuerza el proceso de la predicción hidrológica, la cual de ser oportuna favorece los sistema de alerta para una prevención oportuna de daños por inundaciones (Vieux E.B. 2001).

IV.5 PREVENCIÓN DE DESASTRES.

El informe "Economía de Prevención Efectiva", publicado por Naciones Unidas y el Banco Mundial (2010) señala que en el futuro, las ciudades crecerán especialmente en países en vías de desarrollo, incrementando la exposición de la población y propiedades a los desastres, por lo que las ciudades mejor administradas podrán reducir su vulnerabilidad y riesgo. En el ámbito hidrometeorológico, se prevé un

probable incremento en el daño por ciclones tropicales debido al cambio climático en cuanto a magnitud y frecuencia, por lo que las acciones que desde ahora se instrumenten en materia de prevención beneficiarán a las futuras generaciones. Aunado a las pérdidas humanas y materiales a consecuencia de los desastres naturales como los sismos, sequías, inundaciones y tormentas, se tiene pérdidas por desastres no-naturales que se atañen a causas humanas por omisión o por comisión cometidas en su caso por autoridades gubernamentales.

En materia de costos, la Figura 10 muestra que las fluctuaciones en las inversiones posteriores a los desastres son mayores que las inversiones de prevención; en este sentido México es un claro ejemplo, en el que los recursos presupuestados en materia de prevención de desastres han sido superados por los daños ocasionados, los cuales muestran un comportamiento creciente en la última década, en especial en los años 2005 y 2007 (U.N. & W.B., 2010).

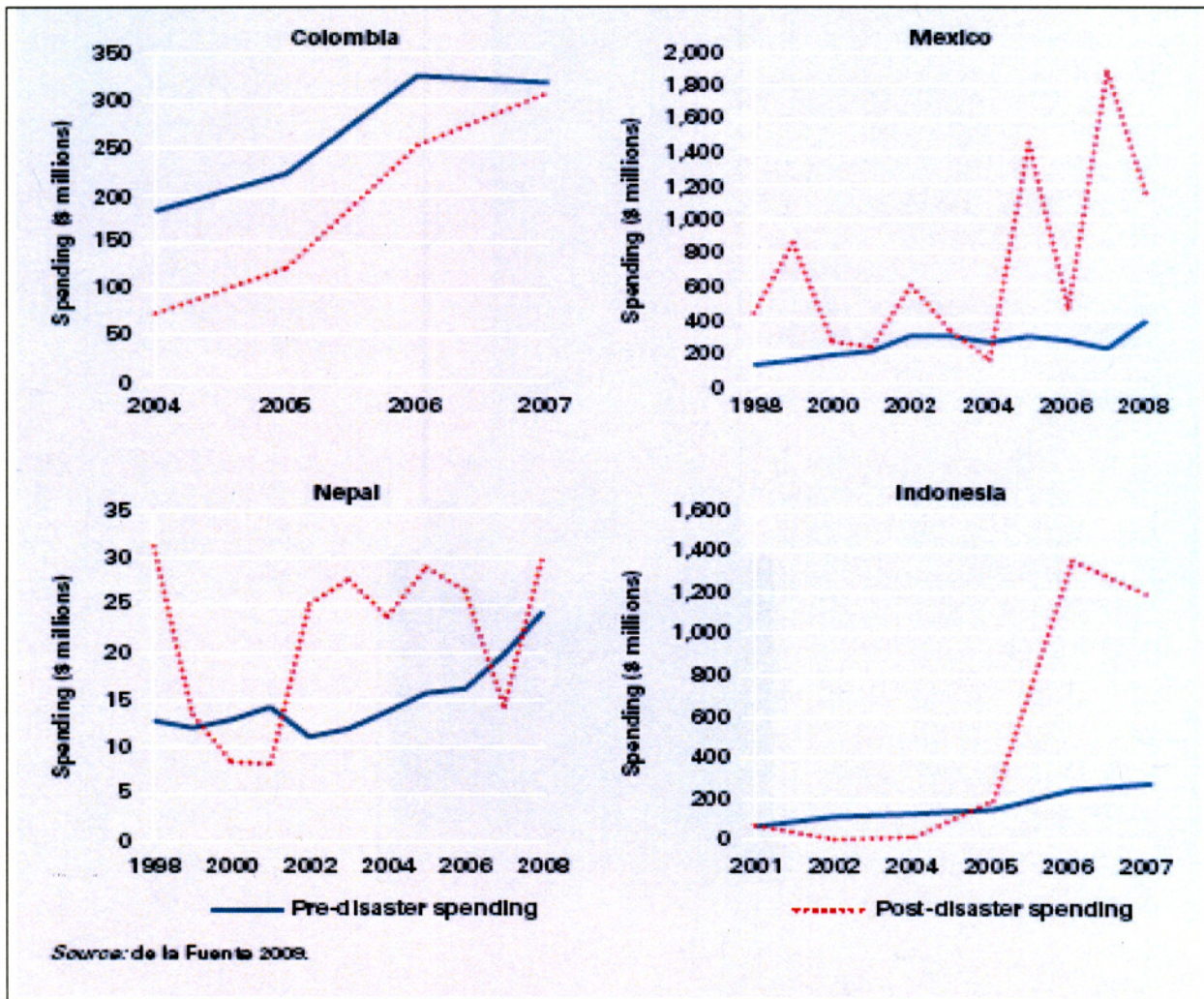


Figura 10. Fluctuaciones de inversiones anteriores y posteriores a los desastres.
Fuente: The United Nations & The World Bank (2010).

IV.6 EFECTOS DE LOS DESASTRES OCURRIDOS EN EL 2007.

Tal como se indicó en la Figura 11, el año 2007 resultó de particular importancia en la historia de los desastres en México, en el que se superaron los daños registrados en el año 2005 con el impacto de los huracanes Emily, Stan y Wilma, los cuales sumaron 4,248 millones de dólares; asimismo se presentaron los mayores desastres por inundación de los últimos veinte años en el Estado de Tabasco, provocadas por el frente frío número cuatro, en las que tres cuartas parte del territorio del estado quedaron bajo el agua. En el año 2007 se rompieron todos los registros existentes en cuanto a pérdidas económicas ocasionadas por desastres de origen hidrometeorológico en México (CENAPRED, 2009).

En el 2007 también se presentó un deslizamiento de tierra de grandes proporciones en la localidad de Juan de Grijalva, municipio de Ostucán en el estado de Chiapas, que provocó el deceso de 25 personas y obstaculizó el cauce del río Grijalva poniendo en riesgo de inundación regiones del mismo estado y de Tabasco, ya de por sí inundado.

Estos desastres se presentaron pese a que el 2007 no fue tan intenso en actividad ciclónica como el 2005, en la cual ocho ciclones impactaron directamente a México; durante el 2007 sólo cuatro de estos fenómenos impactaron las costas de México, dos en el Pacífico, Henriete y Bárbara, así como Dean y Lorenzo por el Atlántico.

Los desastres del 2007 tuvieron una repercusión económica de 50,644 millones de pesos, es decir 4,633 millones de dólares. Las inundaciones de Tabasco representaron el 63% del total de los daños; siendo el fenómeno de segunda importancia en la época moderna, después del sismo de 1985 en la Ciudad de México, atribuible al aumento de la vulnerabilidad, la cantidad de bienes expuestos de la población y los cambios drásticos e inesperados de la naturaleza.

El Cuadro 2 muestra que en el 2007 los fenómenos hidrometeorológicos fueron la segunda causa de muerte a nivel nacional, afectaron la mayor cantidad de población y causaron mayores daños a la infraestructura y la agricultura; en suma fueron la causa de mayor cantidad de daños económicos comparados con lo de otro tipo.

Fenómeno	Muertos	Población afectada (personas) ^{1/}	Viviendas dañadas	Escuelas	Hospitales	Area de cultivo dañada y/o pastizales (ha)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)	Porcentaje total
Hidrometeorológicos	187	2,997,258	225,835	5,463	529	723,899.7	18,474.4	49,417.5	97.58
Geológicos	72	4,845	872	4	0	0.0	0.0	1,047.1	2.07
Químicos	36	2,118	50	0	0	141,664.1	0.0	143.7	0.28
Sanitarios	6	67	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00
Socio-organizativos	225	32,570	21	0	0	0.0	0.0	35.8	0.07
Total	526	3,036,858	226,778	5,467	529	865,563.8	18,474.4	50,644.0	100.00

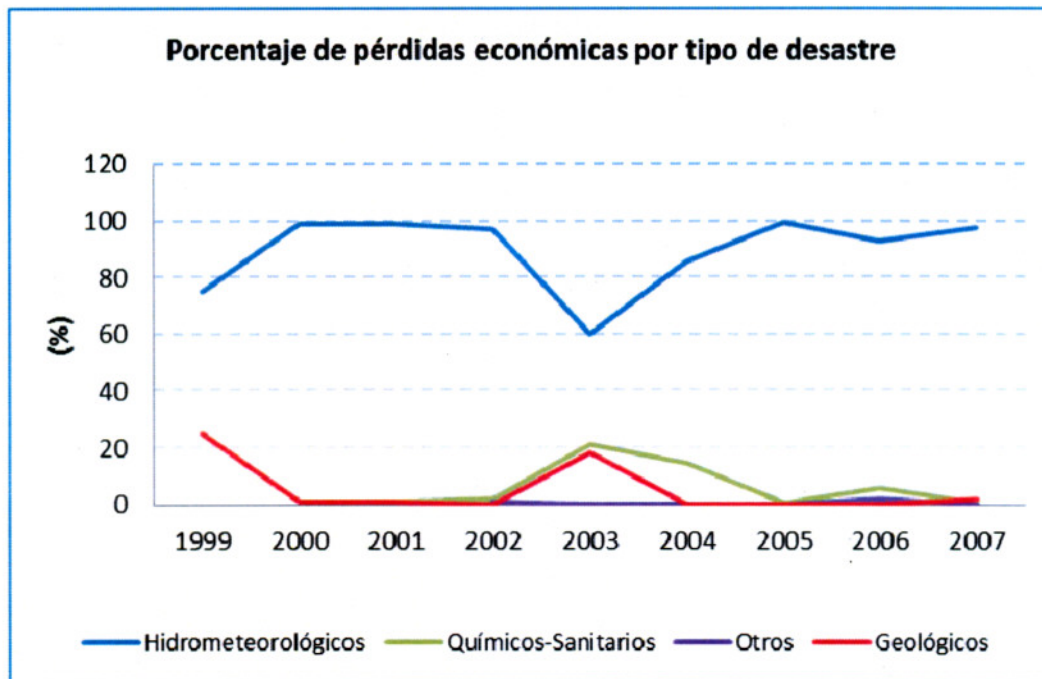
1/ Se consideran los heridos, evacuados y damnificados.

2/ Los fenómenos químicos incluyen: fugas, derrames e incendios.

Fuente: CENAPRED.

Cuadro 2. Daños ocasionados por desastres en el 2007. Fuente: CENAPRED, 2009.

Por tipo de desastre, datos de 1999 al 2007 indican que los fenómenos hidrometeorológicos han importado el mayor porcentaje de las pérdidas económicas comparadas con otras causas (Gráfica 1).



Gráfica 1. Pérdidas económicas por tipo de desastre.
 Gráfico elaborado con datos del CENAPRED, 2009.

El desglose de los desastres del 2007 por categoría muestra que Tabasco y Chiapas sufrieron los mayores daños por fenómenos hidrometeorológicos tales como lluvias fuertes, el frente frío No. 4 y las masas de aire frío, y que resultaron superiores a los geológicos, químicos y socio-organizativos (Cuadro 3).

En el 2007 se declararon en desastre por fenómenos de origen hidrometeorológico un total de 634 municipios, de los cuales el 73.7% se debieron al impacto de ciclones tropicales, 23.6% por lluvias 2.5% por inundaciones y 0.2% por el tornado registrado en Piedras Negras, Coahuila. Del periodo del año 2000 al 2007, los años del 2007 y 2005 sobresalen por los mayores daños (Gráfica 2).

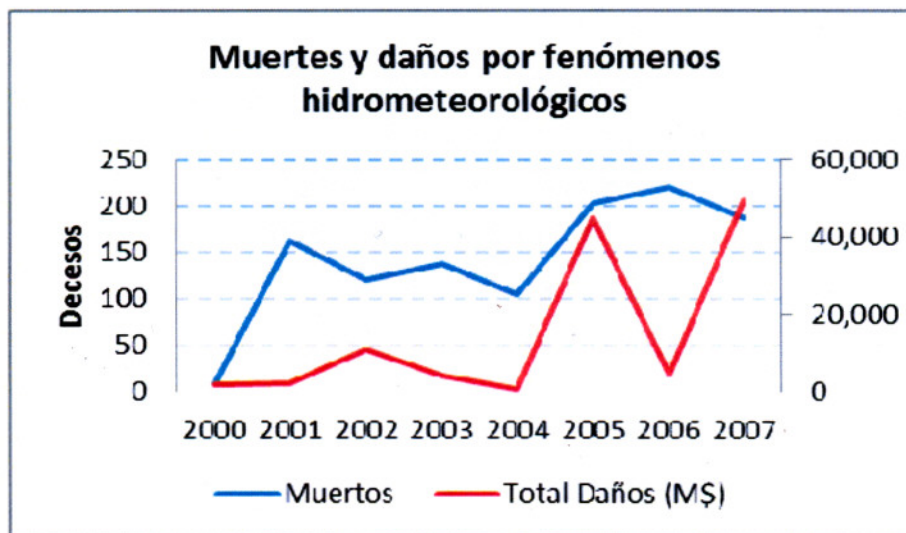
Los fenómenos de origen hidrometeorológico han ocasionado los mayores desastres a la población y a las actividades productivas en los últimos años en México, por lo que el desarrollo y aplicación de técnicas y herramientas que apoyen la toma de decisiones con fines preventivos es importante. El uso de imágenes de satélite con fines de estimación de lluvia favorecería la toma de decisiones para anticipar inundaciones asociadas a avenidas repentinas, es especial en regiones donde se carece de redes de medición de la precipitación de manera directa.

Estado	Fenómeno	Muertos	Población afectada (personas) 1/	Viviendas dañadas	Escuelas	Hospitales	Área de cultivo dañada y/o pastizales (ha)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)
Fenómenos Hidrometeorológicos									
Tabasco	Lluvias fuertes, frente frío no. 4 y masa de aire frío	0	1,500,000	123,386	3,876	252	93,319.00	6,485.1	31,871.3
Chiapas	Lluvias fuertes	0	745,027	1,822	79	0	93,426.30	2,117.3	3,396.8
Veracruz	Ciclón Tropical Dean	0	34,730	6,946	59	71	201,686.00	2,545.0	3,036.2
Hidalgo	Ciclón Tropical Dean	3	14,509	762	218	52	37,069.80	2,356.6	2,369.7
Quintana Roo	Ciclón Tropical Dean	0	97,820	19,564	292	58	55,363.00	1,268.7	2,337.5
Puebla	Ciclón Tropical Dean	6	46,190	9,238	350	60	51,153.00	1,035.6	1,218.9
Tabasco	Lluvias	0	420	-	-	0	0.00	0.0	644.3
Veracruz	Frente frío y sistema de baja presión	0	11,600	6,906	33	0	0.00	0.0	445.4
Baja California Sur	Ciclón Tropical Dean Henriette	1	57,000	2,200	0	0	0.00	254.0	442.5
Coahuila	Tornado	3	7,132	1,380	24	SD	0.00	0.0	125.2
Oaxaca	Sequía	0	42,668	0	0	0	65,370.52	0.0	52.3
Total		13	2,557,096	172,204	4,931	493	597,388	16,062.3	45,940.0
Fenómenos Geológicos									
Chiapas	Deslizamiento	25	906	100	0	0	0.00	0.0	1,015.9
Total		25	906	100	0	0	0	0.0	1,015.9
Fenómenos Químicos									
Baja California	Incendio forestal	0	0	0	0	0	29,685.32	0.0	29.7
Estado de México	Incendio	4	105	17	0	0	0.00	0.0	0.7
Veracruz	Explosión	0	2	0	0	0	0.00	0.0	0.3
Total		4	107	17	0	0	29,685	0.0	30.7
Fenómenos Socio organizativos									
Coahuila	Accidente de transporte carretero	29	173	20	0	0	0.00	0.0	3.8
Total		29	173	20	0	0	0	0.0	3.8
Gran Total		71	2,558,282	172,341	4,931	493	627,073	16,062.3	46,990.5

1/ Se consideran los heridos, evacuados y damnificados

Fuente: CENAPRED. La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

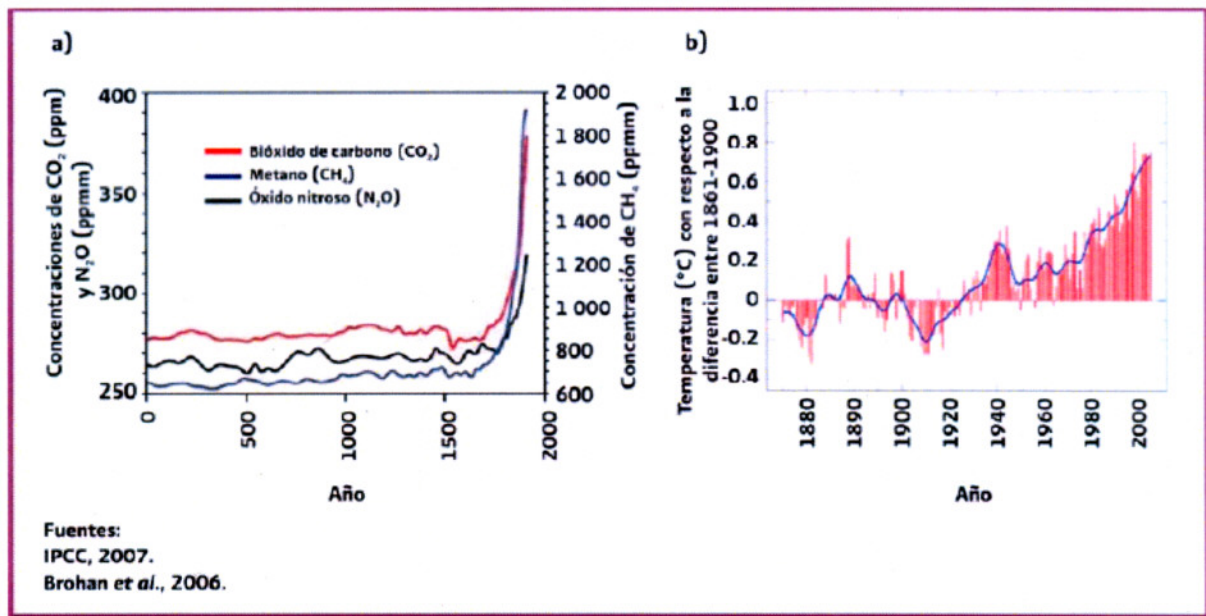
Cuadro 3. Principales desastres ocurridos en el 2007. Fuente: CENAPRED, 2009.



Gráfica 2. Muertes y daños por fenómenos hidrometeorológicos. Gráfico elaborado con datos del CENAPRED, 2009.

IV.7 CAMBIO CLIMÁTICO Y FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.

La tendencia creciente del impacto de fenómenos hidrometeorológicos es atribuida por algunos científicos e investigadores al cambio climático global que experimenta el sistema terrestre; es un hecho que el clima ha cambiado a lo largo de la historia y es en buena medida impredecible (SHCP, SEMARNAT, 2010). El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC (2007) concluye que el calentamiento del sistema climático es una realidad y que el aumento de los gases de efecto invernadero ha registrado un incremento significativo desde 1850 asociado con el proceso de industrialización, ocasionando un aumento de la temperatura global el planeta y otros impactos climáticos (Gráfica 3).



Gráfica 3. Evolución de los gases de efecto invernadero (a) y evolución de la temperatura promedio mundial (b).

Tanto las actividades antropogénicas como algunos procesos naturales son las causas directas e indirectas del cambio del sistema climático. En las últimas décadas el aumento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha sido el factor dominante en el forzamiento radiativo (IPCC, 2007) de manera tal que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de GEI's de origen antropogénico. La evidencia disponible indica que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ por década, duplicándose en los últimos 100 años. Las precipitaciones más intensas han crecido considerablemente desde 1950, incluso en regiones donde las precipitaciones eran menores. Se han presentado aumentos en las sequías desde 1970, particularmente en los trópicos y subtrópicos, que están relacionadas con las disminuciones de las precipitaciones y con temperaturas más altas.

En el Informe Stern (2006) se indica que el costo de actuar para reducir los impactos del cambio climático es menor que el costo de la inacción, por lo que México ha mostrado un gran interés en realizar acciones para reducir los impactos del cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno global que se manifiesta de manera heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes, es un fenómeno continuo y de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre, donde se requiere construir escenarios económicos de largo plazo; así, el cambio climático contiene un nivel de riesgo elevado (SHCP, SEMARNAT. 2009).

IV.7.1 Impactos del Cambio Climático.

Sus impactos se manifestarán en un aumento de la temperatura del planeta de entre 1.1 a 4.5 grados centígrados, aunque otras fuentes señalan hasta 6 grados, y un incremento en el nivel del mar de 28 a 43 centímetros para este siglo, además se observarán cambios importantes en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos; además ejerce influencia sobre muchos de los sistemas físicos y biológicos.

Los impactos se fundamentan en los patrones asociados al cambio climático, como el derretimiento de las capas de hielo, que provocaría el aumento del nivel del mar, inundaciones y destrucción de algunas costas; presencia de lluvia en tiempos y lugares antes no existentes; sequías más prolongadas e intensas en otras zonas; extinción de muchas especies animales y vegetales; aumento de enfermedades; e incremento en la intensidad de los eventos extremos como ciclones tropicales.

Hay evidencias de que la criósfera ha presentado una reducción importante en la capa de nieve principalmente del hemisferio norte de 1966 a 2005 en estaciones como la primavera, registrando una disminución del 5% anual desde finales de los años ochenta. Éste deshielo está ocasionando variaciones en los niveles del mar debido a cambios en su temperatura y salinidad. Los indicadores muestran que el cambio en la temperatura de los océanos comenzó a mediados del siglo XX con un calentamiento sobre los 700 metros con respecto a las superficies del océano. En cuanto al nivel del mar se observa un aumento desde 1993 hasta 2003 con una tasa media mundial de 3.1 ± 0.7 mm año.

La disponibilidad del agua está asociada directamente con las precipitaciones, en tanto que la temperatura registra un comportamiento opuesto, lo que significa que un aumento en la temperatura disminuye la disponibilidad. Algunas zonas del norte del país muestran un aumento significativo del stress hídrico para el 2100 siendo más vulnerables, lo que sumado a los aumentos en la temperatura pronosticados, repercutirá en el establecimiento de costos del agua por región y por tipo de sector.

Hay evidencias que muestran una fuerte correlación entre el alza de la temperatura, un aumento de la intensidad de huracanes y un alza del nivel de mar. Un aumento de 3 grados de temperatura generará un incremento de las velocidades de viento de las tormentas de entre 15% a 20% (Stern, 2007), lo que

sugiere que los costos de las tormentas se elevarán al cubo con respecto a la velocidad del viento (Stern, 2007). En México se han identificado 25 municipios que exhiben la mayor vulnerabilidad histórica de los 153 municipios costeros que existen, siendo en éstos donde se puede estimar los mayores costos económicos y sociales potenciales de una mayor cantidad o intensidad de huracanes. Se ha calculado que los costos económicos estimados por huracanes han alcanzado en la peor estación de huracanes el 0.59% del PIB en 2005 y en promedio entre 1997 y el 2005 representaron el 0.12% del PIB del período (SHCP, SEMARNAT. 2009).

En esos 25 municipios más vulnerables a tormentas tropicales y huracanes se encuentra una población de más de 4 millones 273 mil habitantes, reportan una producción de 977,662 miles de dólares en el sector agrícola, de 459,677 miles de dólares de producción pecuaria y 2,905, 553 miles de dólares en actividades turísticas. El reto es entonces construir la infraestructura necesaria para reducir los impactos de los eventos extremos al mismo tiempo que se traslada parte de la población y las actividades económicas hacia zonas más seguras.

IV.7.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático y la gestión del riesgo de desastres de origen hidrometeorológico.

En México se ha desarrollado la “Estrategia Nacional de Cambio Climático de México 2007” (ENAC) (CICC, 2007), creada con la Comisión Intersecretarial del Cambio Climático (CICC), coordinada por la SEMARNAT. Como objetivos principales plantea la reducción de emisiones de GEI’s, desarrollar proyectos de mitigación, identificar vulnerabilidades e iniciar proyectos para la implementación de medidas de respuesta y adaptación, que han servido como base para la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PEC) inscrito en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012” (CICC, 2007:3).

La ENACC sugiere tener una visión ‘hacia delante’ de los riesgos hidrometeorológicos como los huracanes y lluvias intensas a fin de elaborar estrategias de largo plazo para anticipar y reducir el riesgo y proponer medidas eficientes de adaptación al cambio climático, considerando la vulnerabilidad actual de la población para la adaptación a mediano y largo plazos, y que toda iniciativa de planeación del desarrollo considere los riesgos asociados al cambio climático.

En materia hidrometeorológica se indican algunas acciones para la construcción de capacidades de adaptación entre las que sobresalen la elaboración de los “Atlas de Riesgos”, el mejoramiento de sistemas de alerta temprana de eventos meteorológicos extremos y la construcción de obras de amortiguamiento que disminuyan la exposición de las poblaciones al riesgo de daños por fenómenos hidrometeorológicos, incluyendo la reubicación de familias asentadas en áreas de riesgo (INE, 2008).

IV.7.3 Adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo hidrometeorológico en México.

México ha realizado acciones en los diferentes órdenes de gobierno para integrar la gestión del riesgo hidrometeorológico con la adaptación al cambio climático, considerando medidas de adaptación asociadas con la reducción del riesgo a los desastres de origen hidrometeorológico, a fin de proveer de un marco de referencia para sectores como salud, agua, medio ambiente, desarrollo urbano y rural, entre otros.

En el PECC se plantean objetivos para la promoción de la integración de criterios de prevención ante desastres y de adaptación de largo plazo ante el cambio climático en las políticas de población, a fin de reducir la exposición a riesgos, particularmente por eventos hidrometeorológicos extremos, El Poder

Ejecutivo Federal ha planteado reforzar la estrategia de adaptación en materia de recursos hídricos considerando los objetivos de Fortalecer las capacidades de adaptación ante fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos extremos, y reducir la vulnerabilidad de asentamientos humanos y de la infraestructura hidráulica ante fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos extremos, en coordinación con acciones de gestión integral de riesgo. (Poder Ejecutivo Federal, 2009)

A fin de tomar acciones operativas preventivas y correctivas tanto a escala global como regional ante los efectos del cambio climático, es necesario conocer la variabilidad de diversos procesos atmosféricos y oceanográficos como El Niño, La Niña, la Oscilación Decadal del Pacífico, el Monsón de Norteamérica, la Oscilación Madden-Julian, la Oscilación del Atlántico Norte, etc. a fin de mejorar su entendimiento y anticipar su impacto en el clima terrestre.

CAPÍTULO VI Descripción del área de estudio

El área de estudio se muestra en la Figura 11 correspondiente a las Cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta, localizados en el Sureste de México; es una región con la más alta diversidad biológica y cultural de México, cuyos ecosistemas representan el 64% de la biodiversidad nacional (INE, 2007).

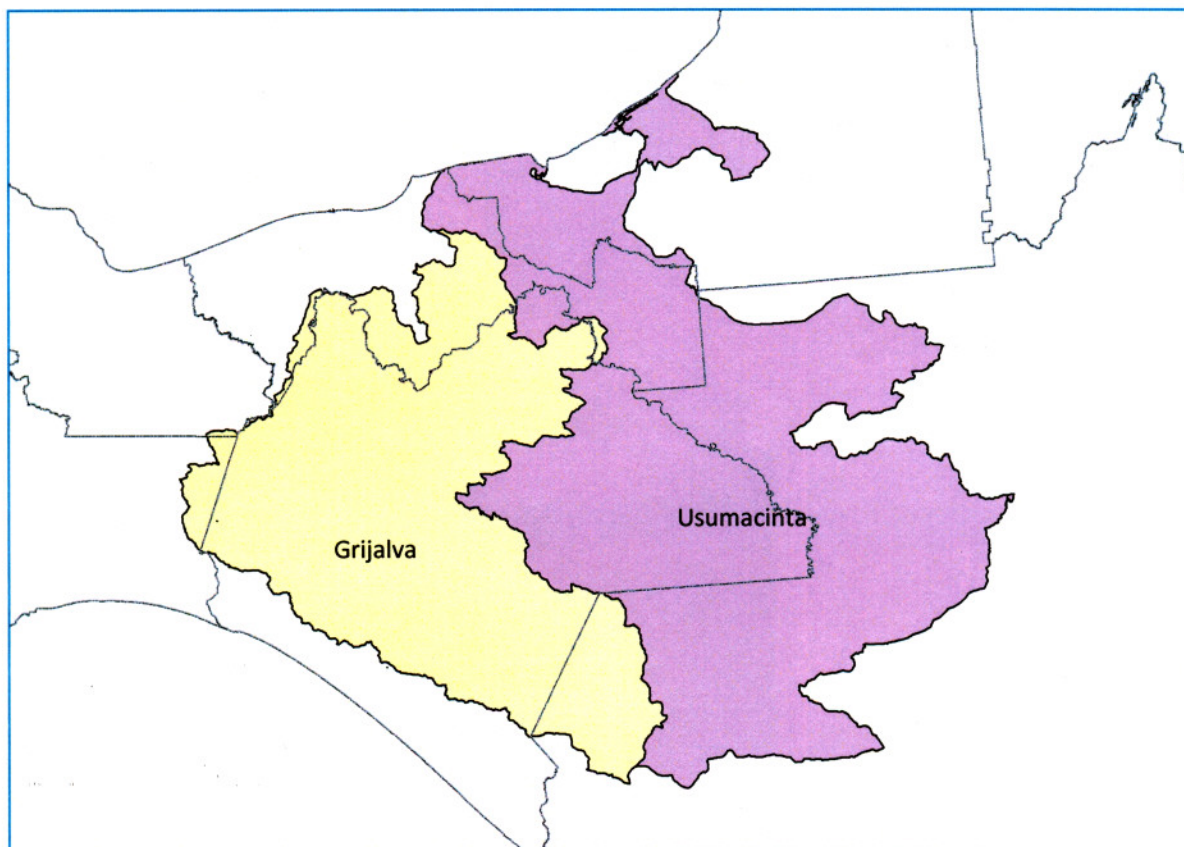


Figura 11. Cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta.

VI.1 Morfología y Fisiografía.

Por sus características morfológicas y fisiográficas, la cuenca del Río Grijalva se subdivide en las regiones del Grijalva Guatemalteco, Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva (Fig. 12). El Alto y Medio Grijalva se localizan en la Depresión Central de Chiapas, siendo una zona semiplana bordeada por la Sierra Madre, la Sierra Norte y Los Altos de Chiapas (Fig. 13). En el Bajo Grijalva se localiza la Sierra Norte de Chiapas, que bordea a los Altos de Chiapas y las Montañas de Oriente; en esta región también se localiza la Llanura Costera del Golfo formada por los depósitos aluviales acarreados por los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta, que desembocan en el Golfo de México, y en cuya planicie se localiza la mayoría del estado de Tabasco.

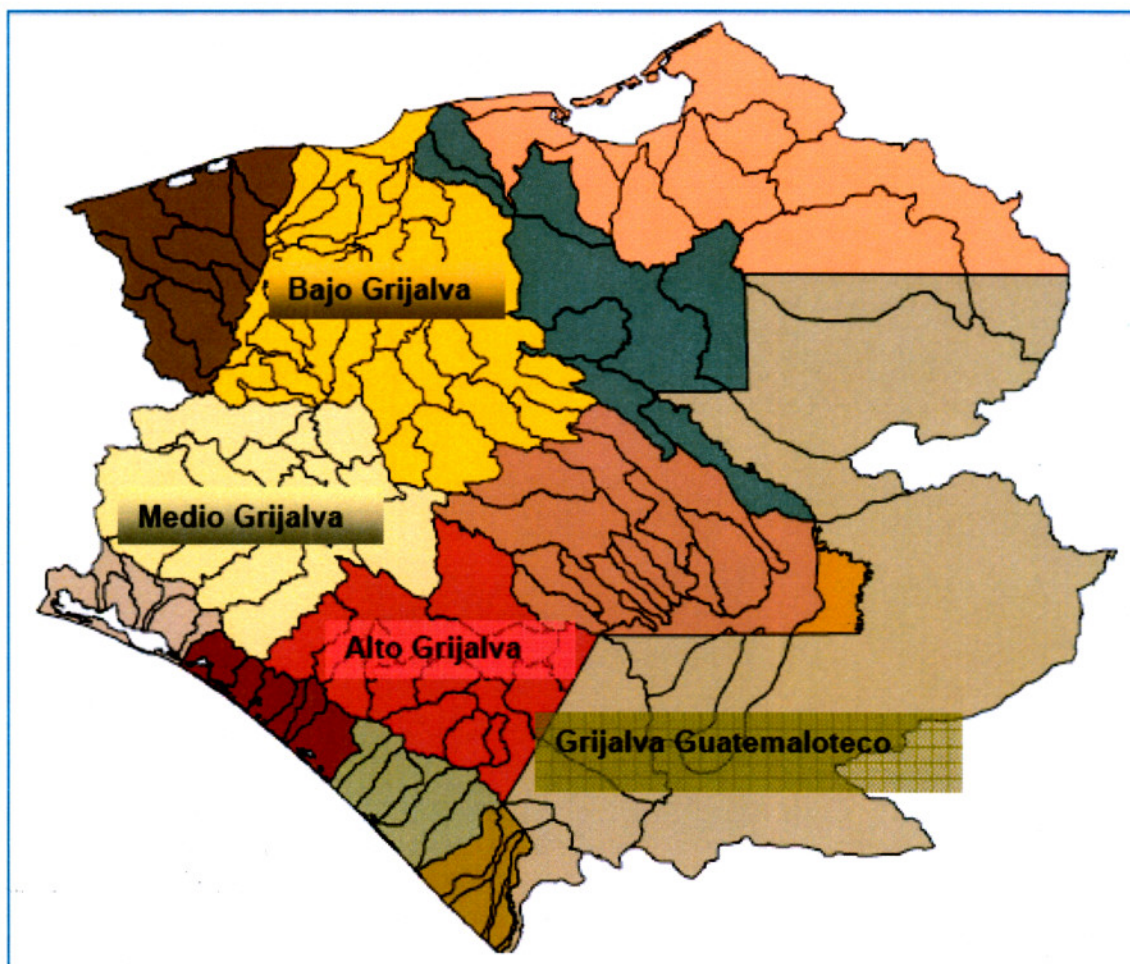


Figura 12. Regiones del Río Grijalva.
 Fuente: (Rubio y Triana, 2006)

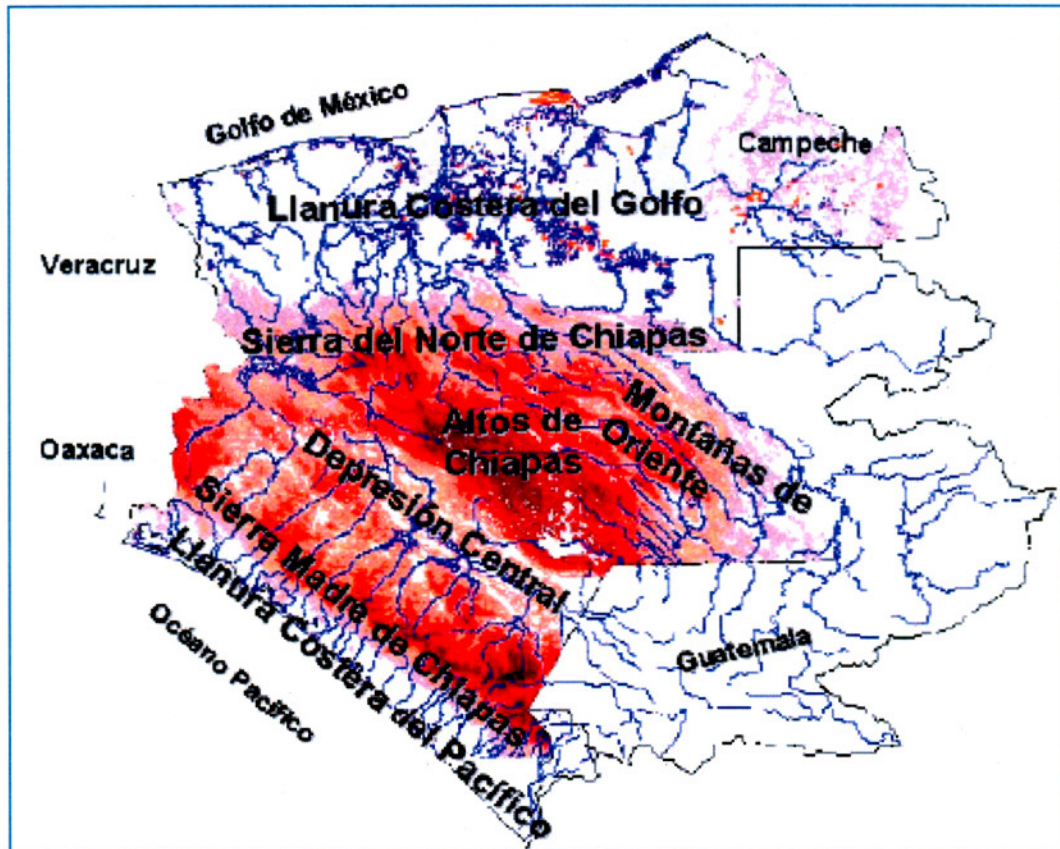


Figura 13. Relieve del Río Grijalva.
 Fuente: (Rubio y Triana, 2006)

VI.2 Precipitación.

En el Alto y Medio Grijalva las precipitaciones oscilan entre 1,200 y 1,700 mm anuales, no obstante que está rodeada por dos barreras meteorológicas conformadas por las zonas montañosas del norte y costa de Chiapas, que bajo el efecto Föhn generan condiciones secas, mientras que la influencia de las ondas del este a través de Guatemala generan el 95% de la precipitación de origen tropical. La zona con mayor precipitación de la región y de México se localiza en la parte alta de la región del Bajo Grijalva, con poco más de 4,000 mm anuales con lluvias todo el año por influencia de sistemas tropicales e invernales, los cuales pueden generar lluvias hasta de 300 mm en 24 horas, generando escurrimientos considerables e inundaciones aguas abajo. En la planicie del Bajo Grijalva, las precipitaciones oscilan entre los 1,700 y 2,300 mm (Rubio y Triana, 2006).

VI.3 Hidrología

El Río Grijalva nace en la Sierra de Cuchumatanes, Guatemala, ingresa a México por la Depresión Central de Chiapas en donde sus aportaciones son reguladas por la presa La Angostura en el Alto Grijalva (Figura 14), para rodear Tuxtla Gutiérrez y llegar a la presa Chicoasén; posteriormente el Grijalva recibe las

aportaciones de los ríos La Venta, Chicoasén y Yamonho, donde se localiza la presa Malpaso, continúa su corriente hacia la presa Peñitas y posteriormente recibe las aportaciones de varias corrientes que dan origen al Río Mezcalapa -como se le denomina localmente al Río Grijalva. Después por su margen izquierda se bifurca por el Río Samaria en cual desemboca en la Barra de Chiltepec en el Golfo de México. Por su margen derecha el río Carrizal cruza la ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco, hasta confluir con el río Usumacinta y desembocar en el Golfo de México.

El río Usumacinta nace en la parte alta de la Sierra de Chamá en Guatemala, con una longitud de más de 560 km, siendo el río más caudaloso de México. En su recorrido recibe varios ríos como el Cala, Baja Verapaz, Copón, Quiché, Icbolay, Alta Verapaz, Tzeja, San Román, La Pasión, Petén y Lacantún. Su recorrido cruza el noroeste de Guatemala, sirviendo como frontera con México por casi 200 km, para después adentrarse al estado de Tabasco y formar un delta pantanoso con el río Grijalva (<http://Wikipedia.org>).

La Figura 14 muestra la red hidrográfica de los Ríos Grijalva y Usumacinta, los cuales aguas abajo confluyen en la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

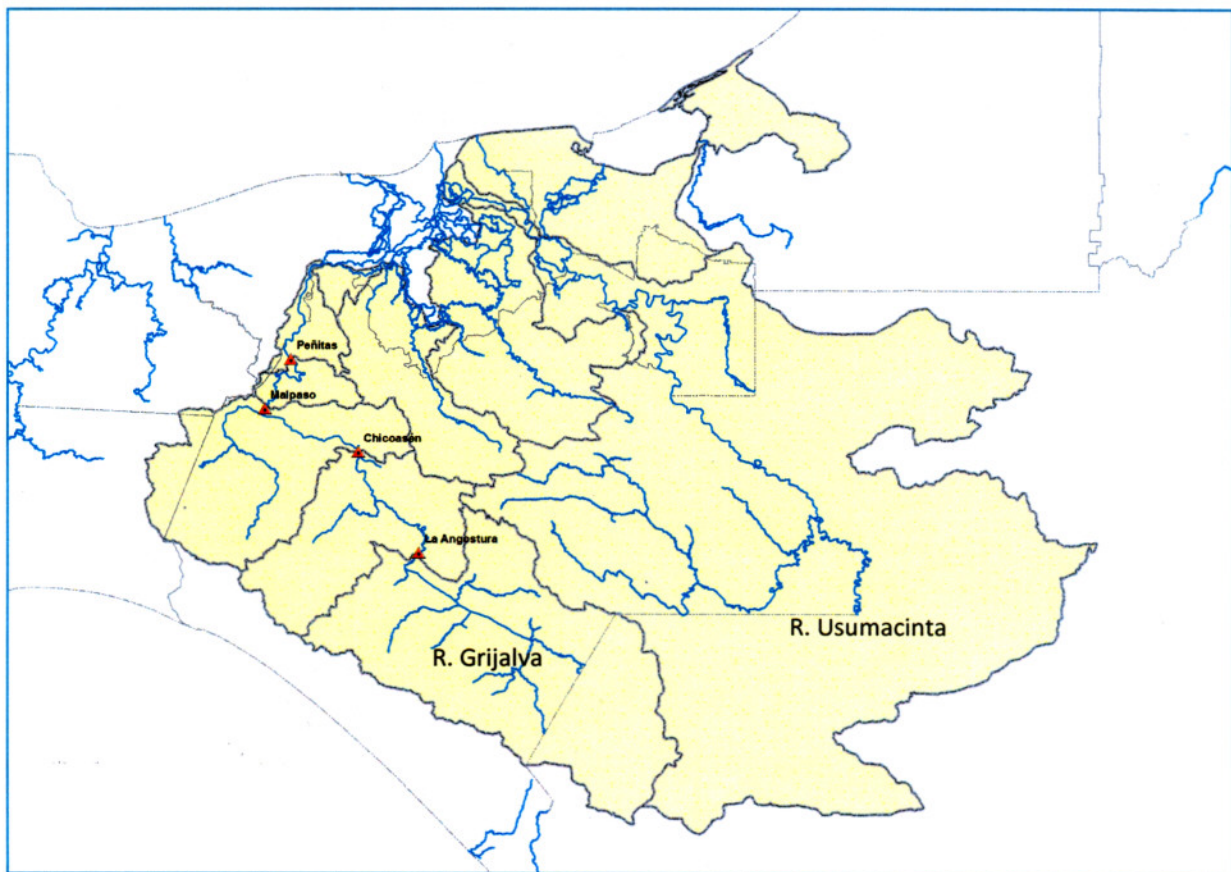


Figura 14. Presas localizadas en la Cuenca del Río Grijalva.

El escurrimiento medio anual en la cuenca del río Grijalva se estima en 36,493.833 Mm³ (36.9%), mientras que el Usumacinta en 62,206.623 Mm³ (63.1%), que en total suman en ambas cuencas 98,700.506 Mm³ (Rubio y Triana, 2006). El Cuadro 4 muestra las áreas de las cuencas de ambos ríos.

Río/País	México	Guatemala	Total por ríos
Grijalva	52,348.08	5,610.00	57,958.08
Usumacinta	30,627.98	44,373.81	75,001.79
Total por países	82,976.05	49,983.81	132,959.87

Cuadro 4. Áreas de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta (km²)

Para fines del presente trabajo los resultados se presentan a nivel de subcuenca en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, como lo indica la Figura 15. La cuenca del Río Grijalva se integra por las subcuencas de La Angostura, Chicoasén, Malpaso, Peñitas, Cuenca Libre A., Viejo Mezcalapa, De la Sierra y Chilapa y Macuspana. Mientras que la del Usumacinta la componen las subcuencas Usumacinta y Laguna de Términos.

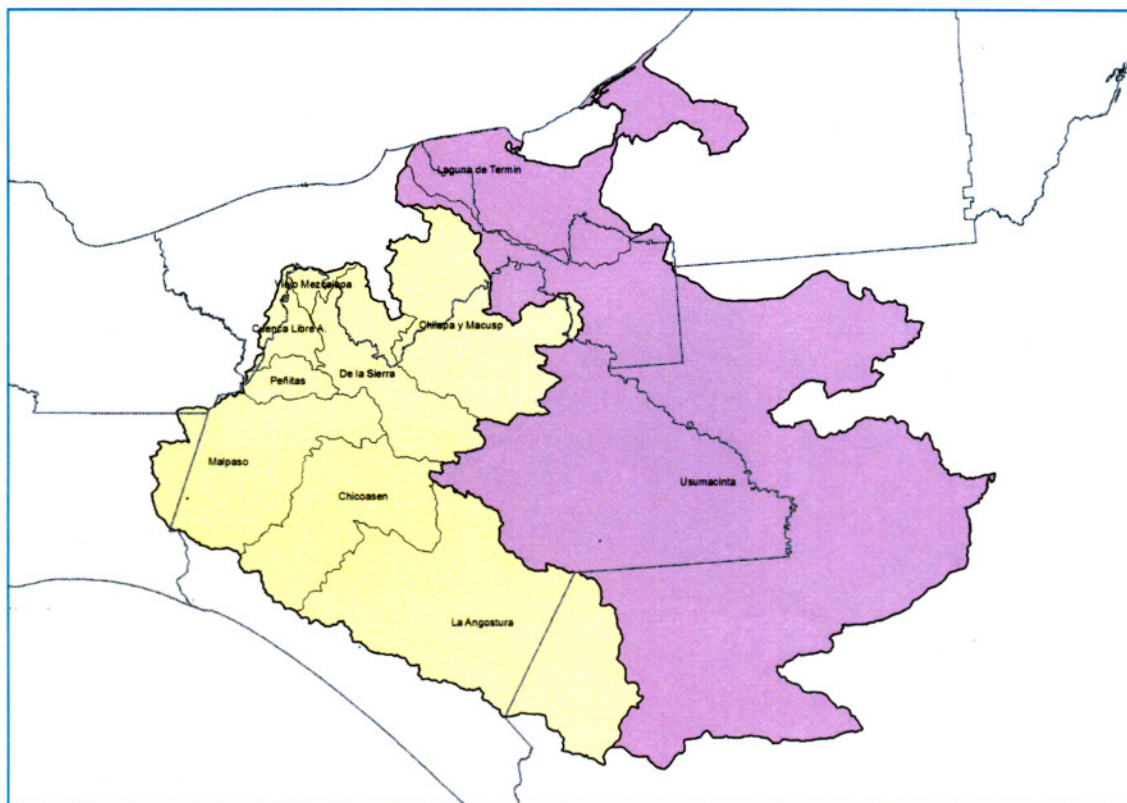


Figura 15. Subcuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta.

CAPÍTULO VII Metodología

Para llevar a cabo la comparación de las estimaciones de lluvia generadas por el sistema Hidroestimador con la información registrada en las estaciones climatológicas se emplearon las siguientes bases de datos:

- Base de datos de imágenes Hidroestimador de precipitación acumulada diaria.
- Base de datos de imágenes Hidroestimador de precipitación acumulada diaria en formato de malla.
- Base de datos CLICOM de precipitación acumulada diaria.

La precipitación acumulada diaria en las bases de datos de las estaciones climatológicas correspondió a la lluvia registrada en el periodo de las 8:00 horas del día anterior a las 8:00 horas del día actual, mientras que para Hidroestimador la hora de cierre corresponde de las 12Z del día anterior a las 12Z del día actual.

El análisis de la información se realizó en las etapas descritas a continuación:

ETAPA I: RECOPIACIÓN DE LAS BASES DE DATOS DE HIDROESTIMADOR.

Se recopilaron tanto las bases de datos de imágenes Hidroestimador como de archivos de precipitación acumulada diaria en formato de malla; en total se integraron tanto 81 imágenes Hidroestimador para los años 2007 y 2008, como 791 archivos en formato de malla Hidroestimador correspondientes a los años 2004, 2006, 2007 y 2008. Los periodos comprendidos para cada uno de los años se muestran en el Cuadro 5.

Año	Registros diarios	Periodo
2004	124	Junio-Diciembre
2006	132	Octubre-Diciembre
2007	336	Julio-Diciembre
2008	199	Enero-Julio
Total	791	

Cuadro 5. Periodos de análisis de datos Hidroestimador en formato de malla.

En este trabajo de investigación no se incluyó el periodo de lluvias para el 2008 debido a la disponibilidad de información a la fecha de análisis de información.

ETAPA II: PROCESAMIENTO DE DATOS HIDROESTIMADOR.

Cada uno de los 791 archivos Hidroestimador con formato de malla fue transformado de formato y depurado para su despliegue en un sistema de información geográfica (SIG), para posteriormente extraer los datos diarios correspondientes al área de estudio, con lo cual se conformó una segunda base de datos diarios a partir de la cual se realizaron los análisis correspondientes.

a) Procesamiento de datos 2004.

Para el año 2004 se integró información disponible de Hidroestimador para un universo de 80 estaciones climatológicas, cuya distribución se muestra en la Fig. 16 y cuyas características se indican en el Anexo I. La mayoría de las estaciones con información se localizaron sobre la cuenca del Río Grijalva, mientras que la del Río Usumacinta careció prácticamente de estaciones de medición, en especial en la parte alta de su cuenca y en territorio guatemalteco. La cantidad de registros de lluvia diaria a lo largo del periodo 2004 fue variable para cada una de las 80 estaciones climatológicas.

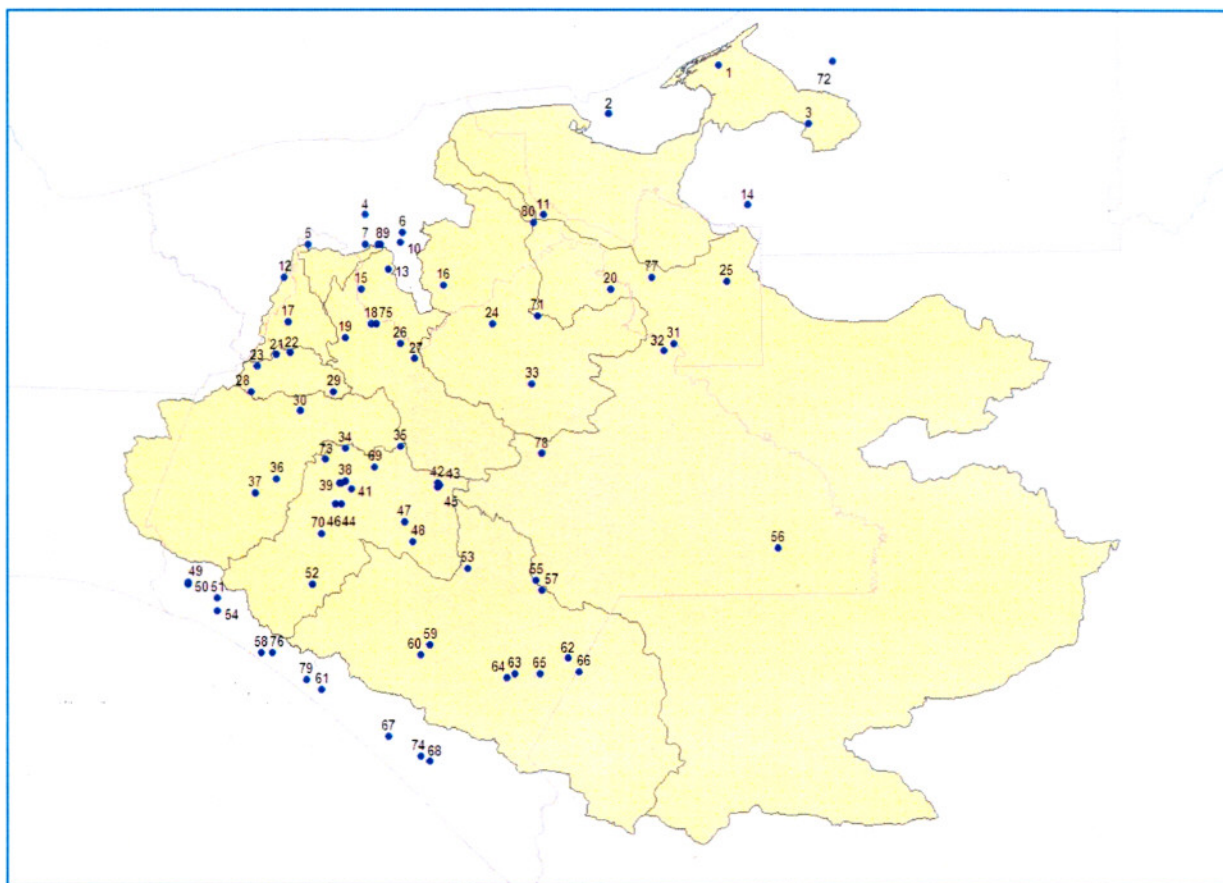


Figura. 16. Distribución de estaciones climatológicas con correspondencia de datos HE-2004.

b) Procesamiento de datos 2006, 2007 y 2008.

A diferencia del año 2004, para el periodo correspondiente a los años 2006, 2007 y 2008 se contó tanto con imágenes Hidroestimador como la mostrada en la Figura 17, como de la base de datos Hidroestimador en formato de malla, cuya distribución espacial de nodos se muestra en la Figura 18, los cuales al graficar reproducen a la imagen Hidroestimador para la República Mexicana como se aprecia en la Figura 19. Así, bajo las estructura de “malla” o “grid”, para cada uno de los nodos le corresponde un valor de estimación de lluvia de cada pixel en la imagen Hidroestimador.

Las Figuras 20 y 21 muestran respectivamente un acercamiento al área de estudio tanto de la imagen Hidroestimador como de la malla de datos.

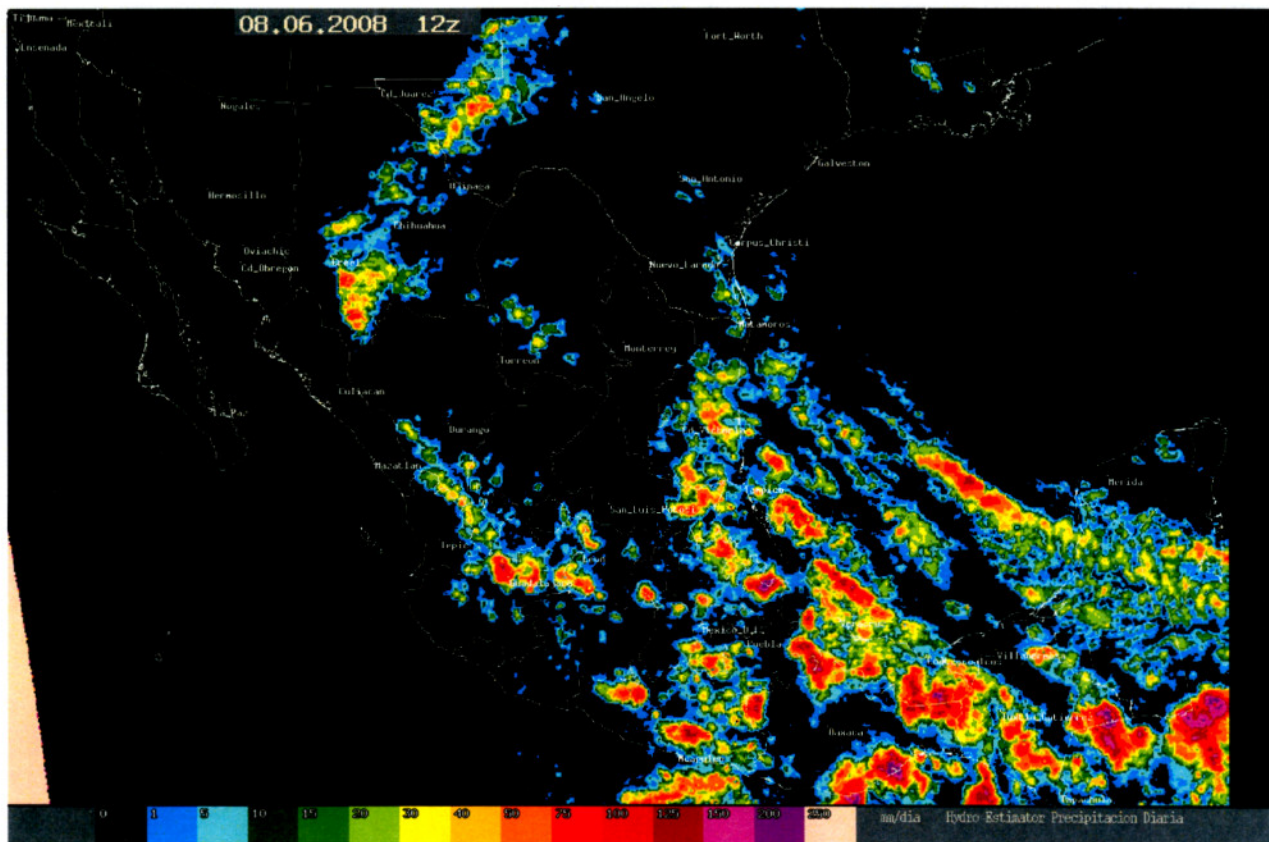


Figura. 17 Imagen Hidroestimador del 8 de junio del 2008.

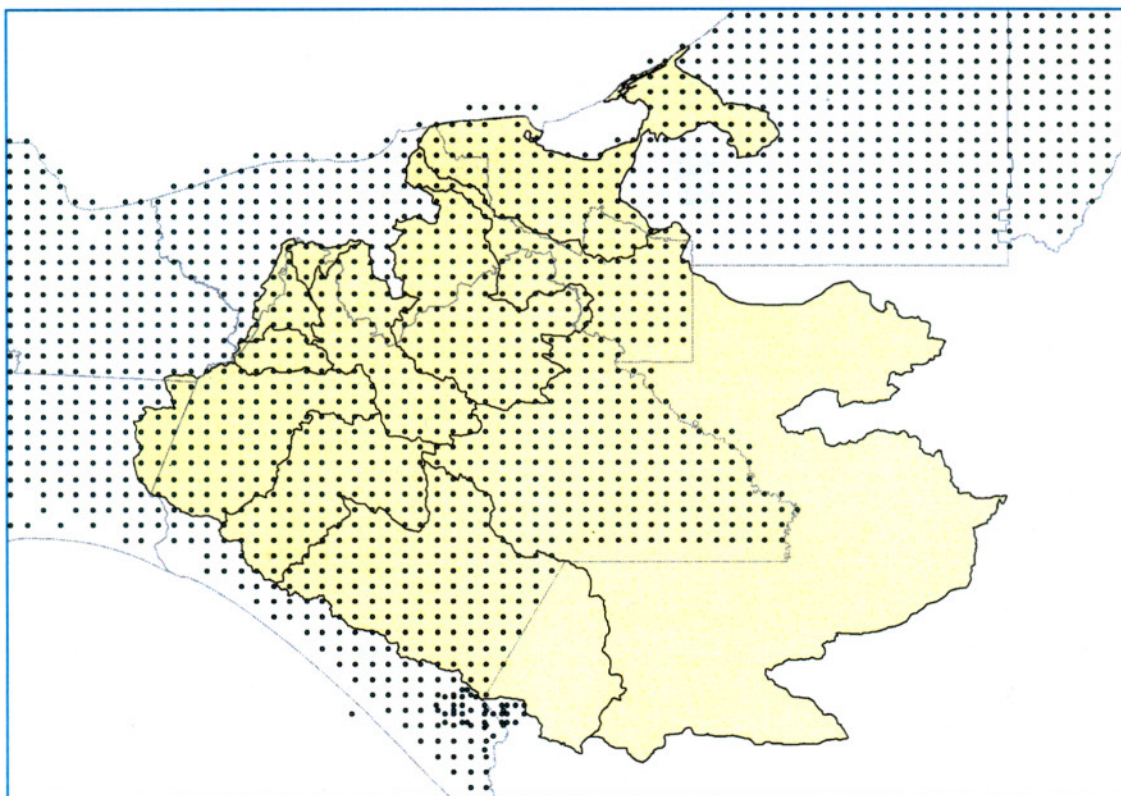


Figura 18. Malla de datos de Hydroestimator.

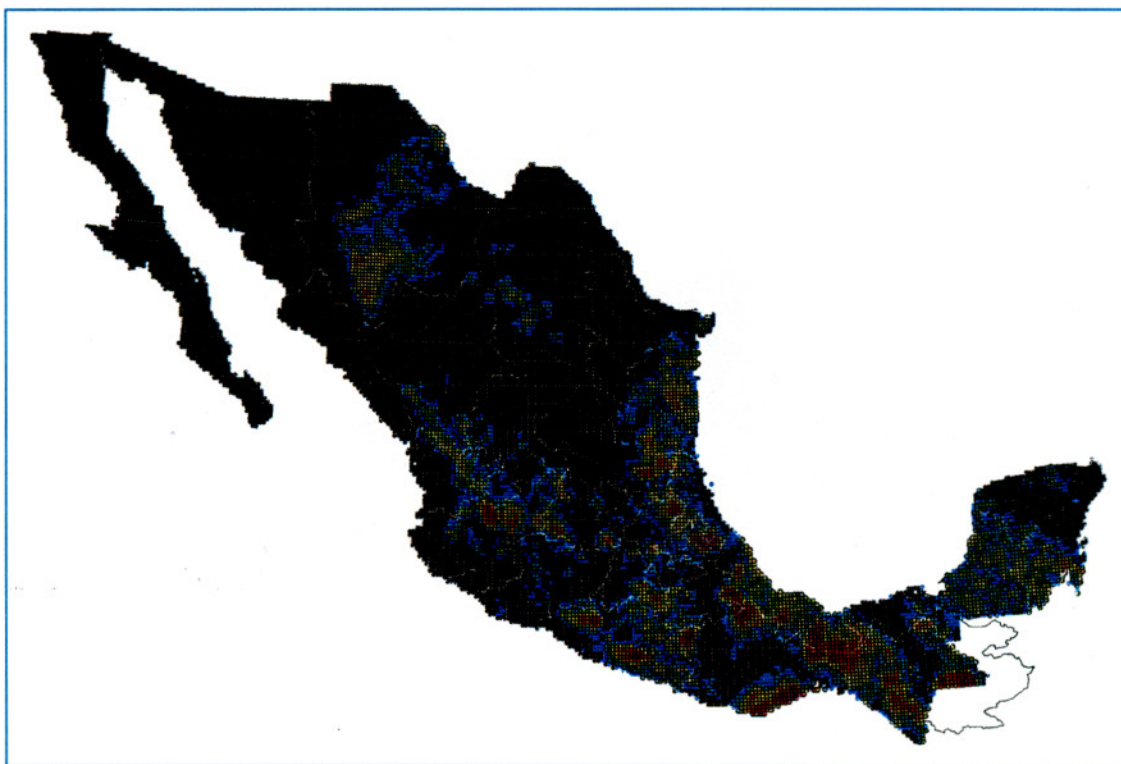


Figura. 19. Imagen Hydroestimator en formato de Malla del 8 de junio de 2008.

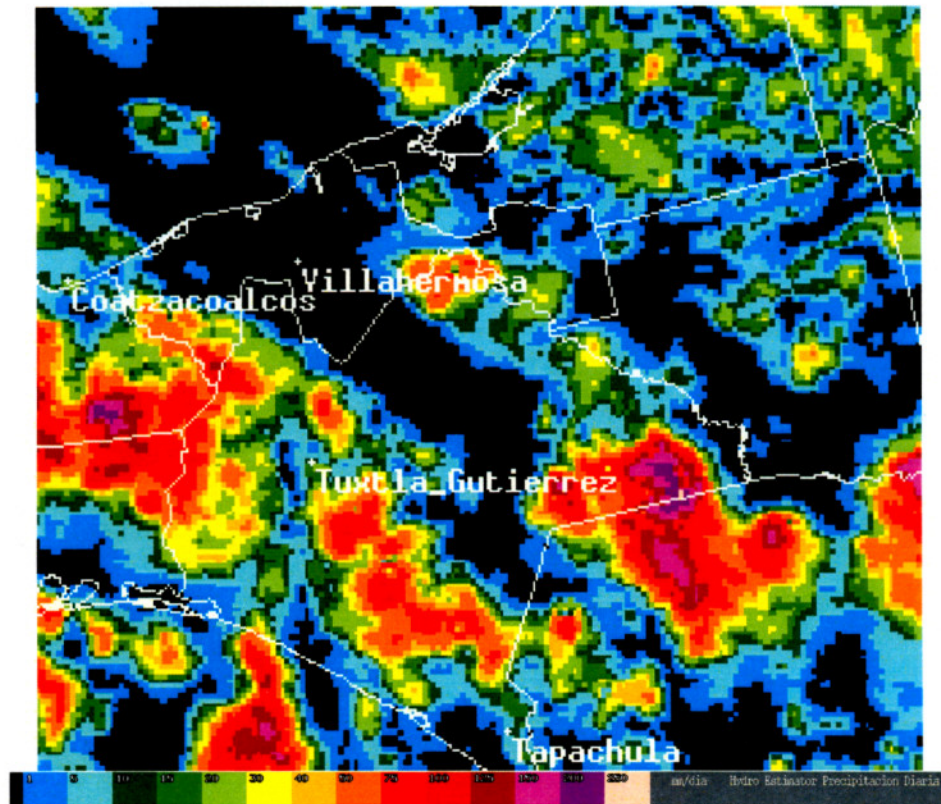


Figura. 20. Acercamiento de Hidroestimator a la zona de estudio.

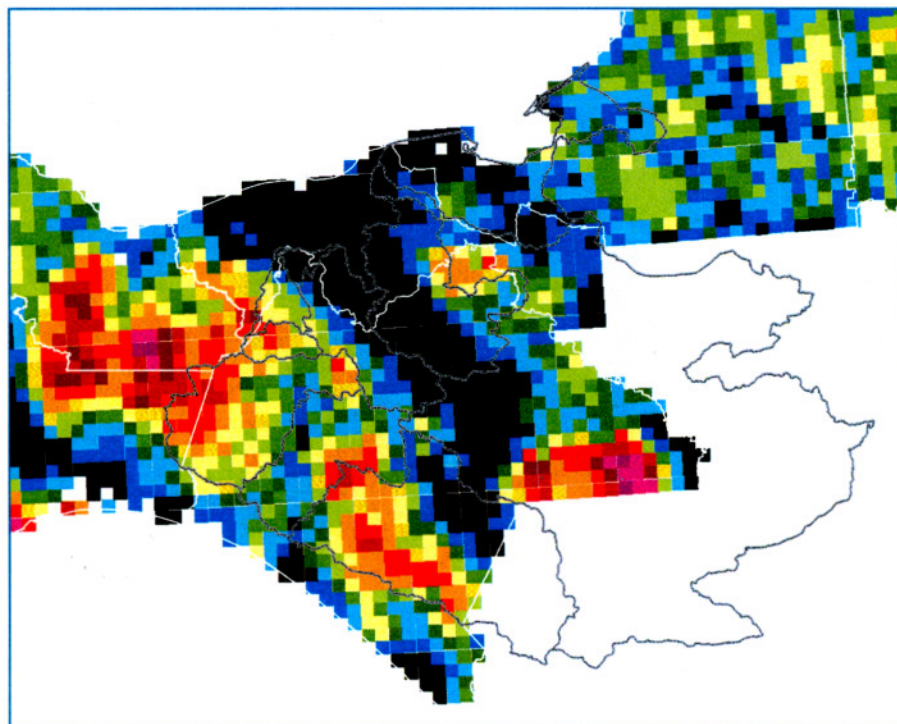


Figura. 21. Acercamiento de Malla de datos Hidroestimator a la zona de estudio.

También, a diferencia del año 2004 en el que se utilizó la información de la base de datos de GASIR en tiempo real, para el periodo 2006-2008 se empleó la base de datos de estaciones climatológicas de CLICOM a fin de ser comparada con los datos Hidroestimador. La Figura 22 muestra la distribución de las 284 estaciones climatológicas de las que se cuenta con información en CLICOM sobre las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta y que han reportado información a lo largo de su historia. En el Anexo II se muestran las características de las 284 estaciones climatológicas.

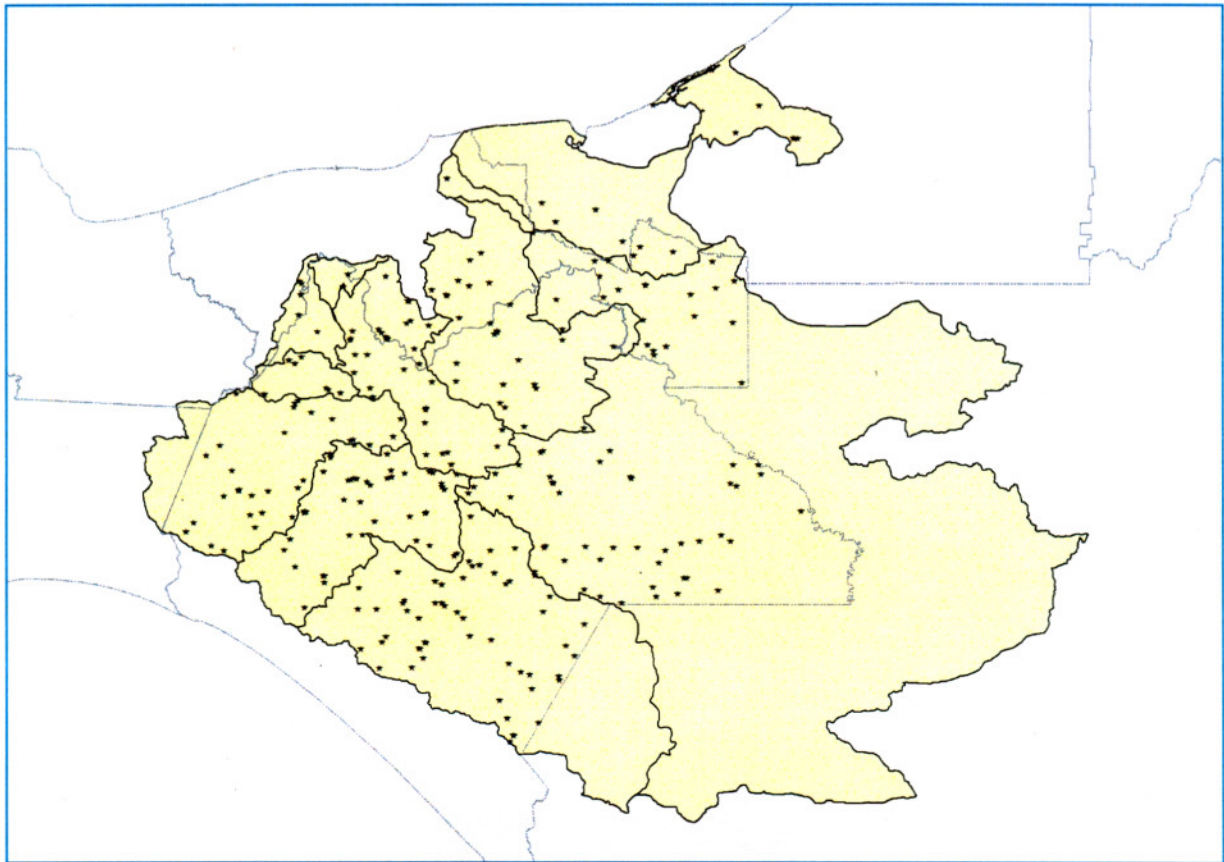


Figura 22. Distribución de estaciones CLICOM en el área de estudio.

Considerando que la malla de datos Hidroestimador presentó una resolución espacial de 0.1 de grado, se crearon buffers con un radio de 0.08 de grado, con centro en cada una de las estaciones climatológicas convencionales como se muestra en la Figura 23, sobre los cuales se extrajeron los nodos de la malla Hidroestimador y se calculó el promedio del campo de lluvia correspondiente, el cual fue comparado con el dato registrado en la base de datos de CLICOM. La Figura 24 muestra la sobreposición de la malla Hidroestimador y los Buffers de las estaciones climatológicas.

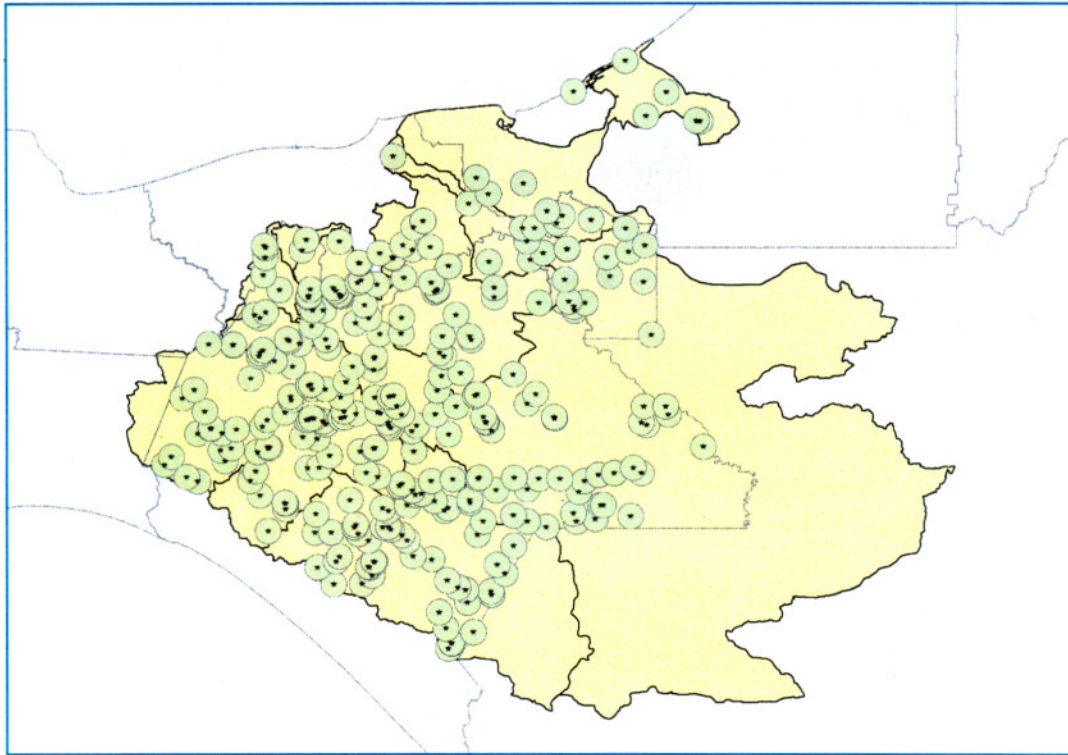


Figura 23. Buffers alrededor de cada estación climatológica.

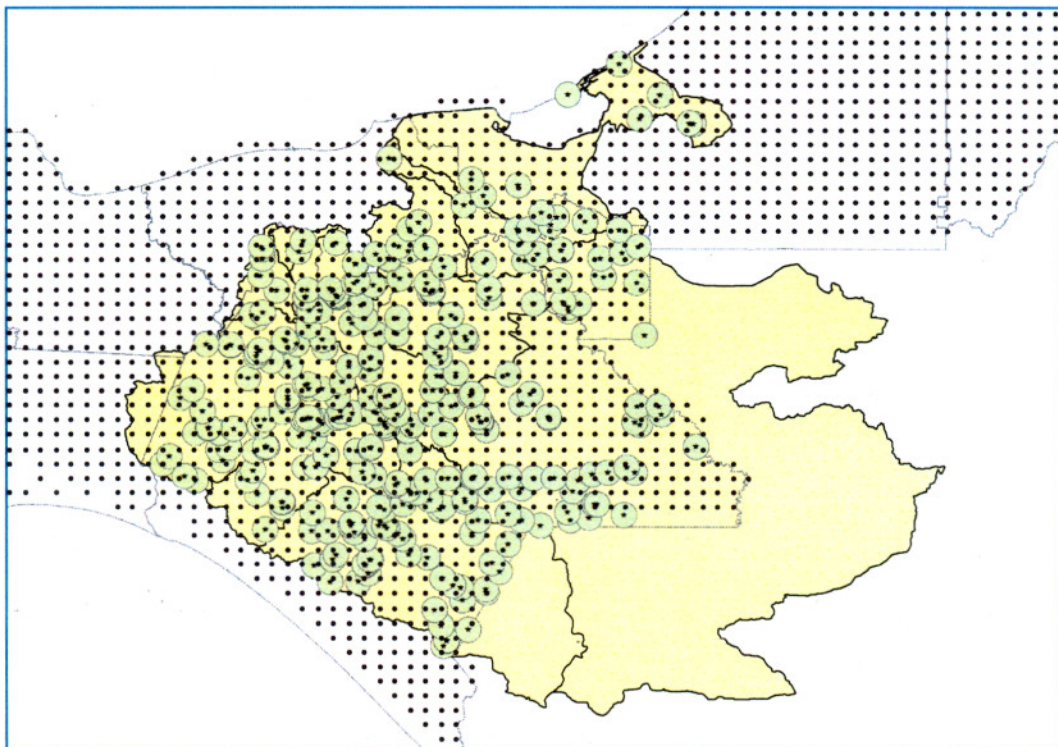


Figura 24. Sobreposición de datos Hidroestimador sobre buffers de estaciones climatológicas.

De las 284 estaciones climatológicas se empelaron únicamente para comparación con Hidroestimador, aquellas que contaron con información en CLICOM para el periodo de estudio (2006-2008), resultando en un total de 90 estaciones climatológicas, cuyas características se muestran en el Cuadro 6; su distribución espacial se muestra en la Figura 25.

No	Estación	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
1	27004	Boca del Cerro	Tenosique	Tabasco	40
2	27012	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	Tabasco	26
3	27019	Jalapa	Jalapa	Tabasco	10
4	27024	La Huasteca	Teapa	Tabasco	80
5	27030	Macuspana (DGE)	Macuspana	Tabasco	10
6	27040	San Pedro	Balancan	Tabasco	36
7	27042	Tapijulapa	Tacotalpa	Tabasco	40
8	27044	Teapa (Dge)	Teapa	Tabasco	40
9	27049	Tequila	Jalapa	Tabasco	12
10	27059	El Triunfo	Balancan	Tabasco	60
11	27070	Oxolotan	Tacotalpa	Tabasco	50
12	27090	El Pipila	Balancan	Tabasco	8
13	4010	Escarcega (Smn)	Escarcega	Campeche	80
14	4024	Palizada	Palizada	Campeche	4
15	4029	Sabancuy	Carmen	Campeche	5
16	4030	San Isidro	Carmen	Campeche	82
17	4054	Chicbul	Carmen	Campeche	25
18	4056	Molino Chumpan	Palizada	Campeche	10
19	4079	Vista Alegre	Carmen	Campeche	10
20	4086	El Zapote	Carmen	Campeche	10
21	7002	Abelardo L. Rodriguez	Comitán de Dominguez	Chiapas	1,775
22	7003	Acala	Acala	Chiapas	420
23	7006	Altamirano (SMN)	Altamirano	Chiapas	1,240
24	7007	Amatenango del Valle	Teopisca	Chiapas	1,750
25	7009	Aquespala	Frontera Comalapa	Chiapas	617
26	7015	Bochil	Bochil	Chiapas	1,200
27	7021	Catarinitas	La Concordia	Chiapas	650
28	7030	San Juan Chamula	Chamula	Chiapas	2,300
29	7031	Chanal	Chanal	Chiapas	2,030

No	Estación	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
30	7034	Villa de Chiapilla	Chiapilla	Chiapas	550
31	7036	Chilil	Huixtan	Chiapas	2,266
32	7037	Finca Cuxtepeques	La Concordia	Chiapas	1,000
33	7040	El Burrero	Ixtapa	Chiapas	1,230
34	7050	El Progreso	Ocozocoautla de Espinosa	Chiapas	781
35	7054	Finca A. Prusia	Angel Albino Corzo	Chiapas	1,040
36	7055	Finca Chayabe	Las Margaritas	Chiapas	1,596
37	7062	Finca La Soledad	Las Margaritas	Chiapas	900
38	7065	Finca Ocotlan	Villaflores	Chiapas	650
39	7067	Frontera Amatenango	Amatenango de la Frontera	Chiapas	850
40	7070	Guadalupe Grijalva	Frontera Comalapa	Chiapas	540
41	7071	Guaquitepec	Chilon	Chiapas	1,040
42	7087	La Cabana	San Cristobal de las Casas	Chiapas	2,113
43	7094	La Mesilla	Tzimol	Chiapas	560
44	7100	La Union	Cintalapa	Chiapas	580
45	7102	Las Flores li	Jiquipilas	Chiapas	480
46	7104	Las Margaritas	Las Margaritas	Chiapas	1,512
47	7114	Yaquintela	Ocosingo	Chiapas	650
48	7119	Motozintla (SMN)	Motozintla	Chiapas	1,260
49	7123	Ocozocoautla	Ocozocoautla de Espinosa	Chiapas	838
50	7125	Oxchuc	Oxchuc	Chiapas	1,987
51	7132	Portaceli	Villaflores	Chiapas	780
52	7134	Puente Colgante	Chiapa de Corzo	Chiapas	418
53	7145	San Francisco	La Concordia	Chiapas	540
54	7149	San Pedro Chenalho (DGE)	Chenalho	Chiapas	1,480
55	7160	Simojovel (DGE)	Simojovel	Chiapas	660
56	7167	Tapilula	Tapilula	Chiapas	780
57	7175	Villaflores (SMN)	Villaflores	Chiapas	631
58	7180	Jaltenango (CFE)	Angel Albino Corzo	Chiapas	640
59	7190	La Trinitaria (CFE)	La Trinitaria	Chiapas	1,540
60	7202	Tuxtla Gutierrez (DGE)	Tuxtla Gutierrez	Chiapas	600
61	7205	Comitan (DGE)	Comitán de	Chiapas	1,630

No	Estación	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
			Dominguez		
62	7207	Larrainzar	Larrainzar	Chiapas	1,930
63	7226	Reforma li	La Concordia	Chiapas	700
64	7238	El Sabinal	Tuxtla Gutierrez	Chiapas	498
65	7319	San Fernando	San Fernando	Chiapas	900
66	7327	Ursulo Galvan	Villaflores	Chiapas	700
67	7329	Cascajal	Venustiano Carranza	Chiapas	650
68	7330	Soyatitan	Venustiano Carranza	Chiapas	760
69	7331	Villa Las Rosas	Las Rosas	Chiapas	1,300
70	7333	Buenos Aires	Motozintla	Chiapas	1,720
71	7335	Queretaro	Angel Albino Corzo	Chiapas	665
72	7339	El Porvenir	El Porvenir	Chiapas	2,730
73	7342	Benito Juarez	La Concordia	Chiapas	580
74	7343	Cauhtemoc	Ixtapa	Chiapas	1,050
75	7349	Monterrey	Villa Corzo	Chiapas	700
76	7355	Union Zaragoza	Jitotol	Chiapas	1,690
77	7358	Flores Magon	Venustiano Carranza	Chiapas	570
78	7360	Luis Espinosa	Tecpatan	Chiapas	400
79	7362	Rosendo Salazar	Cintalapa	Chiapas	470
80	7365	Ocotepec	Ocotepec	Chiapas	1,400
81	7372	Berriozabal	Berriozabal	Chiapas	890
82	7373	Tzontehuitz	Chamula	Chiapas	2,800
83	7374	La Esperanza	La Trinitaria	Chiapas	1,500
84	7376	Francisco I. Madero	Cintalapa	Chiapas	465
85	7383	Nueva Palestina	Jiquipilas	Chiapas	450
86	7385	Pueblo Viejo	Cintalapa	Chiapas	680
87	7388	Santa Lucia	Jiquipilas	Chiapas	530
88	7389	Sitala	Sitala	Chiapas	1,100
89	7391	Yasha	Las Margaritas	Chiapas	1,625
90	7397	Presa Portillo	La Concordia	Chiapas	585

Cuadro 6. Estaciones CLICOM empleadas para comparar con datos Hidroestimador.

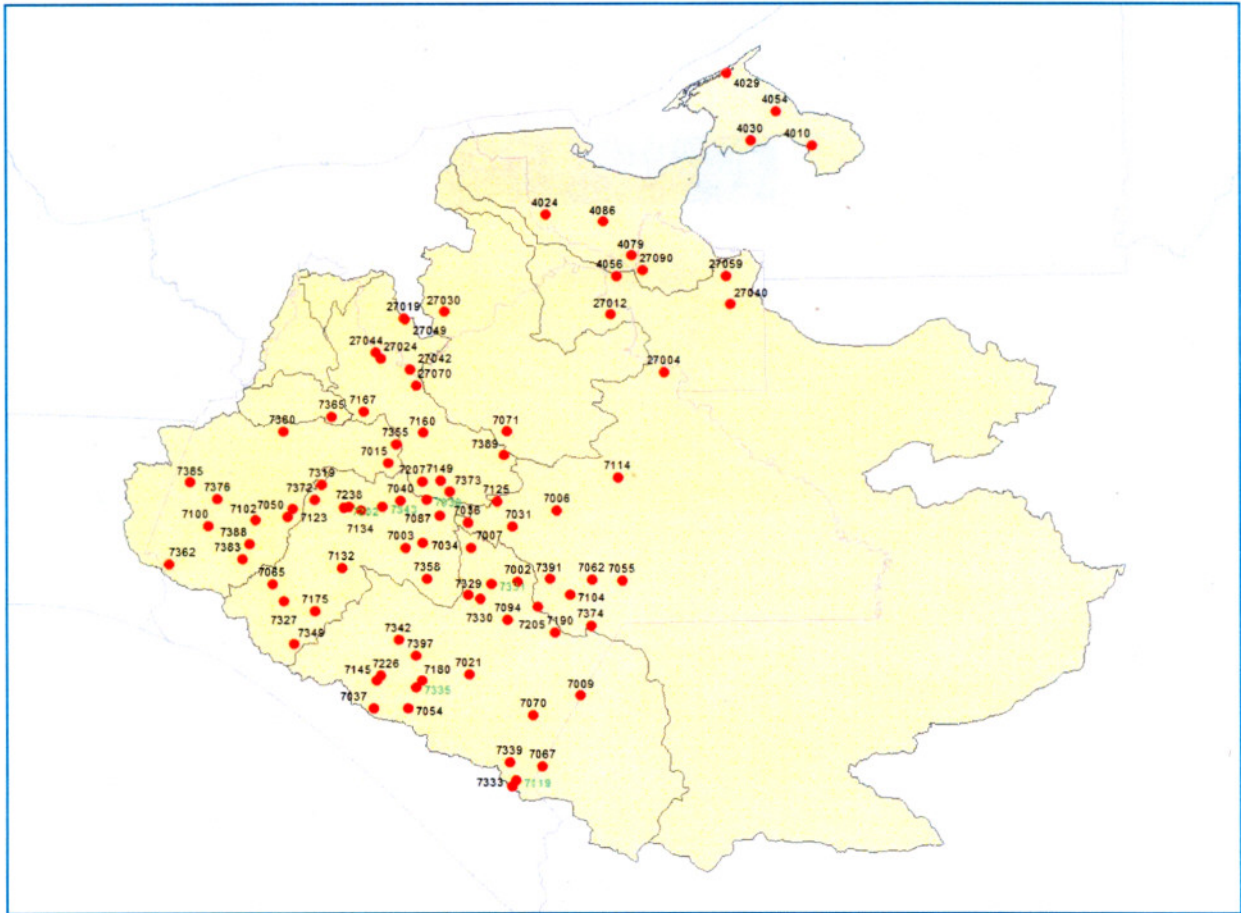


Figura 25. Distribución de estaciones CLICOM comparadas con datos Hidroestimador para el periodo 2006-2008.

ETAPA III: INTEGRACIÓN DE SERIES DE TIEMPO.

La conformación de las series de tiempo para el año 2004 propuestas en este trabajo difirió de la empleada para estructurar las series de tiempo de los años 2006, 2007 y 2008 como se describe a continuación, debido a la diferencia en la estructura de las bases de datos originales.

a) Series de tiempo 2004.

Puesto que la base de datos Hidroestimador para el año 2004 presentó una estructura en la que se proporcionaba el valor Hidroestimador por cada una de las estaciones climatológicas por día de registro, se presentaron correspondencias espaciales “uno a uno”. De esta forma, para cada una de las estaciones

climatológicas que registraron información en tierra se conformó su serie de tiempo integrada por el campo de lluvia registrado en la estación climatológica en tiempo real (GASIR), el valor de Hidroestimador, y el valor del campo de lluvia resultado del promedio de los cuatro pixeles más cercanos a la estación derivados del mapa interpolado de las estaciones climatológicas GASIR, el cual acompañaba a la base de datos original.

Para cada una de las 80 estaciones climatológicas obtenidas de la Etapa II se integró su serie de tiempo para aquellos días en que se registró información a partir del universo de los 124 días de registro del año 2004. El Cuadro 7 muestra un ejemplo de la estructura de la serie de tiempo elaborada para la Estación 1/4029 "Sabancuy", localizada en Cd. del Carmen, Campeche, para el periodo junio-julio del 2004 (el denominador corresponderá en lo sucesivo a la clave CLICOM). El campo "observado" correspondió al valor puntual observado en la estación climatológica convencional registrada en la base de datos de GASIR; el campo "satélite" correspondió al dato estimado del satélite calculado con Hidroestimador más cercano a la estación climatológica; el campo "interpolado" correspondió al campo de lluvia promedio correspondiente a los cuatro pixeles cercanos a la estación climatológica derivado de la interpolación de los datos de lluvia registrados en tiempo real (GASIR) contenidos en la base de datos original.

Así, en el Cuadro 7 se tiene el dato de precipitación observada en la estación climatológica convencional en tiempo real de GASIR, comparado con la lluvia estimada por Hidroestimador y con el promedio de los cuatro pixeles del mapa interpolado derivado de las estaciones climatológicas de GASIR.

Lat	Lon	Y	X	Observado (mm)	Satélite (mm)	Interpolado (mm)	Año	Mes	Día
18.9	-91.2	-131	827	46	14	10.7	2004	6	6
18.9	-91.2	-131	827	25	4	3.3	2004	6	7
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	8
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	12
18.9	-91.2	-131	827	0	12	11.6	2004	6	13
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	14
18.9	-91.2	-131	827	0	4	2.4	2004	6	16
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	17
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	18
18.9	-91.2	-131	827	38	12	7.9	2004	6	19
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	20
18.9	-91.2	-131	827	2	0	0	2004	6	21
18.9	-91.2	-131	827	5	0	0	2004	6	22
18.9	-91.2	-131	827	8	2	2	2004	6	24

Lat	Lon	Y	X	Observado (mm)	Satélite (mm)	Interpolado (mm)	Año	Mes	Día
18.9	-91.2	-131	827	0	4	5.2	2004	6	25
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	6	28
18.9	-91.2	-131	827	2	32	31.7	2004	7	1
18.9	-91.2	-131	827	23	2	2	2004	7	5
18.9	-91.2	-131	827	17	20	19.2	2004	7	6
18.9	-91.2	-131	827	2	0	0	2004	7	8
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	9
18.9	-91.2	-131	827	22	28	27.3	2004	7	10
18.9	-91.2	-131	827	14	50	51.6	2004	7	11
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	12
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	13
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	14
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	15
18.9	-91.2	-131	827	14	0	0.7	2004	7	16
18.9	-91.2	-131	827	45	28	29.6	2004	7	17
18.9	-91.2	-131	827	0	12	10.9	2004	7	19
18.9	-91.2	-131	827	0	14	15	2004	7	20
18.9	-91.2	-131	827	19	4	2.8	2004	7	22
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	23
18.9	-91.2	-131	827	0	4	1.5	2004	7	24
18.9	-91.2	-131	827	18	0	1.1	2004	7	25
18.9	-91.2	-131	827	5	18	20.4	2004	7	26
18.9	-91.2	-131	827	0	8	9.1	2004	7	27
18.9	-91.2	-131	827	27	8	8.1	2004	7	28
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	29
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	30
18.9	-91.2	-131	827	0	0	0	2004	7	31

Cuadro 7. Serie de tiempo para la Estación 1 (junio y julio del 2004)

b) Series de tiempo 2006, 2007 y 2008.

Considerando que para los años 2006, 2007 y 2008 la base de datos Hidroestimador estuvo estructurada en formato de malla o rejilla, esta información fue comparada con los datos de precipitación acumulada diaria registrados en la base de datos de CLICOM, de tal manera que para estos años de análisis se realizaron comparaciones “muchos a uno” (Hidroestimador vs estación climatológica CLICOM). Dado que el objetivo del estudio se enfocó a realizar comparaciones de Hidroestimador con lo registrado en las estaciones climatológicas en tierra. De las 284 estaciones CLICOM obtenidas en la Etapa II, únicamente se integraron series de tiempo para 90 de las estaciones CLICOM dado que fueron las que presentaron información correspondiente a los años 2006, 2007 y 2008.

Para cada una de las 90 estaciones se elaboraron las series de tiempo respectivas, cuyo ejemplo de estructura para la estación Altamirano/7006 se muestra en el Cuadro 8, correspondiente al periodo Mayo-Julio del 2008 (el denominador corresponde en lo sucesivo a la clave CLICOM). El campo "pp_clicom" correspondió al valor puntual observado en la estación climatológica convencional registrada en la base de datos de CLICOM; el campo "Avg_Sat" correspondió al dato de precipitación promedio estimada del satélite calculado con Hidroestimador dentro del radio del búfer de 0.08 décimas de grado; el campo "Avg_Interp" correspondió al campo de lluvia promedio correspondiente a los píxeles cercanos a la estación climatológica en un radio de 0.08 décimas de grado correspondientes a datos de la malla interpolada de datos de lluvia registrados en tiempo real (GASIR).

Fecha	long	lat	pp_CLICOM (mm)	Avg_Sat (mm)	Avg_Interp (mm)
01/05/2008	-92.0378	16.7392	34.70	0.00	0.00
02/05/2008	-92.0378	16.7392	8.10	16.00	14.74
03/05/2008	-92.0378	16.7392	32.70	4.67	4.33
04/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	28.67	30.82
05/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
06/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
07/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
08/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
09/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
10/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
11/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
12/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
13/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	14.67	14.82
14/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
15/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
16/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
17/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
18/05/2008	-92.0378	16.7392	41.20	0.00	0.20
19/05/2008	-92.0378	16.7392	50.20	3.33	3.76
20/05/2008	-92.0378	16.7392	9.80	18.00	18.54
21/05/2008	-92.0378	16.7392	10.20	1.33	2.18
22/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	5.33	5.20
23/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.67	0.84
24/05/2008	-92.0378	16.7392	14.60	0.00	0.00
25/05/2008	-92.0378	16.7392	38.60	74.67	75.19
26/05/2008	-92.0378	16.7392	0.00	18.00	18.81
27/05/2008	-92.0378	16.7392	12.60	0.00	0.00
28/05/2008	-92.0378	16.7392	7.50	0.00	0.00

Fecha	long	lat	pp_CLICOM (mm)	Avg_Sat (mm)	Avg_Interp (mm)
29/05/2008	-92.0378	16.7392	12.10	0.00	0.00
30/05/2008	-92.0378	16.7392	38.40	5.33	5.65
01/06/2008	-92.0378	16.7392	32.10	77.33	78.51
02/06/2008	-92.0378	16.7392	13.70	0.00	0.14
03/06/2008	-92.0378	16.7392	12.00	7.33	7.19
04/06/2008	-92.0378	16.7392	14.40	22.67	21.70
05/06/2008	-92.0378	16.7392	3.50	0.67	0.90
06/06/2008	-92.0378	16.7392	72.40	26.00	29.38
07/06/2008	-92.0378	16.7392	8.40	27.33	24.72
08/06/2008	-92.0378	16.7392	5.40	0.00	0.03
09/06/2008	-92.0378	16.7392	6.30	12.67	13.86
10/06/2008	-92.0378	16.7392	3.80	7.33	6.78
11/06/2008	-92.0378	16.7392	16.00	0.00	0.00
12/06/2008	-92.0378	16.7392	7.40	30.00	36.33
13/06/2008	-92.0378	16.7392	13.30	5.33	4.33
14/06/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.67	0.19
15/06/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
16/06/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
17/06/2008	-92.0378	16.7392	0.30	4.67	4.23
18/06/2008	-92.0378	16.7392	7.30	0.00	0.00
19/06/2008	-92.0378	16.7392	11.70	0.67	0.59
20/06/2008	-92.0378	16.7392	0.20	0.67	0.70
21/06/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.67	0.67
22/06/2008	-92.0378	16.7392	7.60	0.00	0.00
23/06/2008	-92.0378	16.7392	13.10	0.00	0.00
24/06/2008	-92.0378	16.7392	7.20	2.00	2.10
25/06/2008	-92.0378	16.7392	8.60	0.00	0.00
26/06/2008	-92.0378	16.7392	0.00	4.00	4.07
27/06/2008	-92.0378	16.7392	4.20	0.00	0.00
28/06/2008	-92.0378	16.7392	4.30	4.67	5.04
29/06/2008	-92.0378	16.7392	10.60	0.00	0.00
30/06/2008	-92.0378	16.7392	12.90	2.67	2.41
01/07/2008	-92.0378	16.7392	8.20	0.67	0.63
02/07/2008	-92.0378	16.7392	4.20	26.67	25.41
03/07/2008	-92.0378	16.7392	0.40	4.67	4.72
04/07/2008	-92.0378	16.7392	0.70	0.00	0.00
05/07/2008	-92.0378	16.7392	27.20	0.00	0.00
06/07/2008	-92.0378	16.7392	3.10	10.67	13.07
07/07/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.67	1.12
08/07/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.67	0.78

Fecha	long	lat	pp_CLICOM (mm)	Avg_Sat (mm)	Avg_Interp (mm)
09/07/2008	-92.0378	16.7392	6.10	2.00	1.43
10/07/2008	-92.0378	16.7392	1.90	1.33	1.11
11/07/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
12/07/2008	-92.0378	16.7392	1.10	0.00	0.00
13/07/2008	-92.0378	16.7392	2.80	2.00	1.64
14/07/2008	-92.0378	16.7392	14.60	0.00	0.00
15/07/2008	-92.0378	16.7392	2.40	0.00	0.00
16/07/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
17/07/2008	-92.0378	16.7392	0.00	0.00	0.00
18/07/2008	-92.0378	16.7392	3.70	0.00	0.00
19/07/2008	-92.0378	16.7392	38.00	0.00	0.00
20/07/2008	-92.0378	16.7392	25.80	2.00	1.84
21/07/2008	-92.0378	16.7392	16.70	2.67	2.86
22/07/2008	-92.0378	16.7392	11.50	0.00	0.00

Cuadro 8. Serie de tiempo para el periodo Mayo-Julio del 2008 de la estación Altamirano/7006.

ETAPA IV: PROCESAMIENTO DE LAS SERIES DE TIEMPO.

Para las 80 series de tiempo del año 2004 se elaboraron gráficas de dispersión mostradas en el Anexo III y se calcularon los coeficientes de correlación respectivos. Para las 90 series de tiempo para el periodo 2006, 2007 y 2008 se elaboraron sus pluviogramas diarios. Para todas las series de tiempo se calcularon sus coeficientes de correlación mediante la siguiente expresión (Hines W. et al., 2005):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i(x_i - \bar{x})}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} = \frac{S_{xy}}{(S_{xx}S_{yy})^{1/2}}$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación

x, y : Variables

Para las estaciones con mejores coeficientes de correlación en el periodo 2006-2008 se calcularon las diferencias de precipitación o desviaciones entre los valores Hidroestimador y CLICOM.

ETAPA V: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

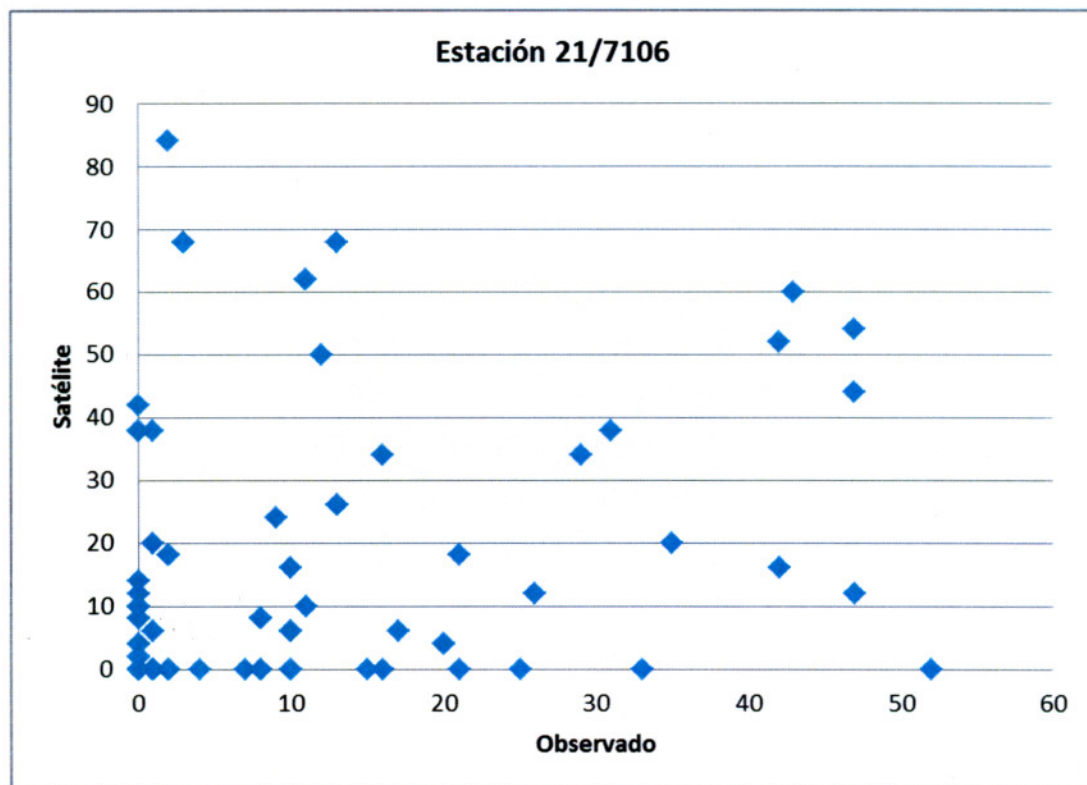
Se elaboraron graficas de dispersión para el año 2004, así como pluviogramas y gráficas de desviaciones de precipitación para el periodo 2006-2008, mostrados tanto en el Capítulo VIII "Resultados", como en los Anexos C, D y E, así como mapas en los cuales se presenta la distribución espacial de los coeficientes de correlación identificando las subcuencas con mejores resultados.

CAPÍTULO VIII Resultados

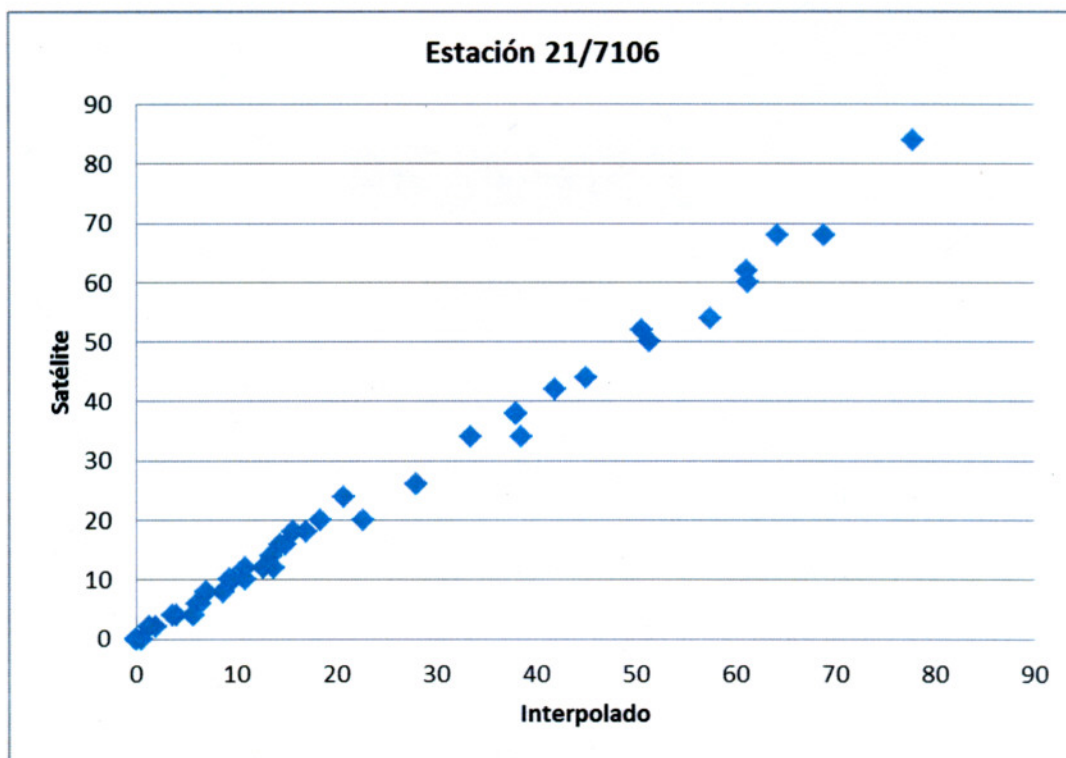
Los resultados se presentan para cada uno de los años de estudio.

VIII.1 RESULTADOS 2004.

Las Gráficas 4 y 5 muestran los diagramas de dispersión para la Estación 21/7106, "Las Peñitas", localizada en el Municipio de Ostucán, Chis., en la subcuenca "Peñitas"; se observa que el grado de asociación entre los datos de Satélite y los datos del mapa Interpolado resultó mejor que el de los datos de Satélite comparados con los datos Observados. En el Anexo C se muestran las gráficas de dispersión para cuatro de las ochenta estaciones analizadas; en la versión digital se presenta el total de las mismas.



Gráfica 4. Diagrama de dispersión "satélite vs observado" para la estación "Las Peñitas".



Gráfica 5. Diagrama de dispersión “satélite vs interpolado” para la estación “Las Peñitas”.

Al analizar los 80 gráficos de dispersión del Anexo C, se encontró que la mayoría de los escenarios “satélite vs observado” presentaron un grado de asociación muy débil, es decir, la lámina de lluvia registrada en las estaciones climatológicas no resulta suficiente para explicar la lámina estimada por Hidroestimador. Las estaciones 11/4024¹, 17/7130, 44/7039, 46/7069, 51/7236, 54/7168, 62/7135, 66/7009, y 67/7113 mostraron algunos signos de asociación; mientras que las estaciones 70/SC, 71/7128, 72/SC, 73/7319, 75/27061, 76/SC, 77/27056, 78/7192, 79/7352 y 80/27028 presentaron poca información en sus series de tiempo, por lo que sólo para las 70 estaciones restantes se calcularon sus coeficientes de correlación.

Situación contraria se presentó al comparar las estimaciones del satélite con los datos interpolados de las estaciones climatológicas en tiempo real de GASIR, las cuales mostraron un alto grado de asociación (ver Anexo C).

Posteriormente para los dos escenarios siguientes “Satélite vs Observado” (**r1**) y “Satélite vs Interpolado” (**r2**) se calcularon los coeficientes de correlación para las 70 estaciones climatológicas con mayor cantidad de información en sus series de tiempo. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 9.

¹ El numerador corresponde al número de estación. El denominador corresponde a la clave CLICOM; SC: Sin clave.

Las gráficas 6 y 7 muestran la distribución de los coeficientes de correlación para ambos escenarios de las 70 estaciones climatológicas. Para el Escenario 1 “Satélite vs Observado” las estaciones 17 (Mezcalapa/27032) y 22 (Sayula CFE/7367), localizadas en las subcuencas “Cuenca Libre A.” y “Peñitas”, mostraron coeficientes de correlación superiores a 0.6; mientras que las estaciones 9/27044, 23/SC, 26/27042, 70/SC, 8/27083, 18/27044, 44/7039, 4/27084 y 56/7337 coeficientes mayores a 0.5. Para el Escenario 2 las 80 estaciones mostraron coeficientes superiores a 0.98. Sobresalieron las estaciones 41/SC y 60/7180 por presentar coeficientes de correlación negativos (-0.029 y -0.09) localizadas en las Subcuencas “Chicoasen” y “La Angostura”, lo que indica una relación inversa entre Hidroestimador y la precipitación registrada en la estación climatológica.

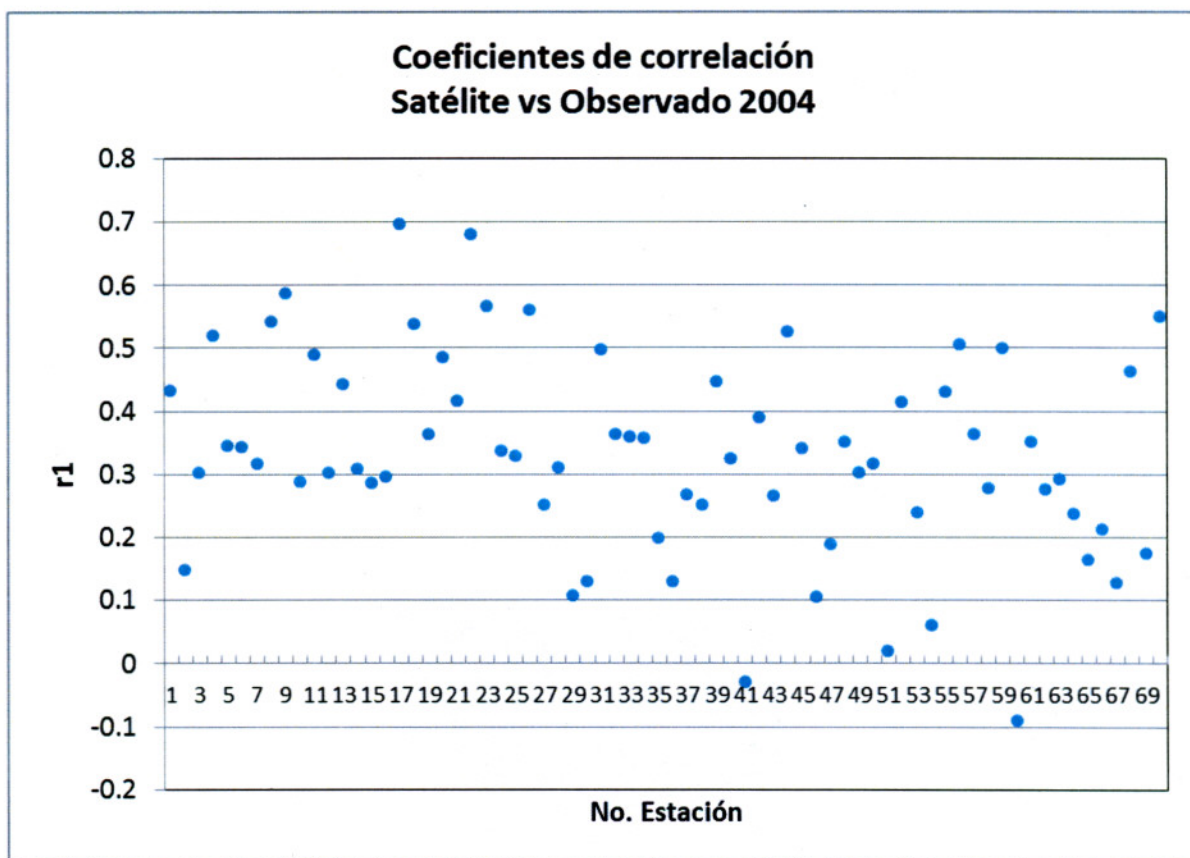
Estación	r1	r2
1	0.432	0.998
2	0.147	0.997
3	0.302	0.995
4	0.519	0.997
5	0.345	0.999
6	0.343	0.998
7	0.316	1.000
8	0.543	0.997
9	0.587	0.999
10	0.288	0.984
11	0.489	1.000
12	0.302	0.999
13	0.442	1.000
14	0.307	0.996
15	0.286	0.999
16	0.296	1.000
17	0.695	0.998
18	0.538	1.000
19	0.363	0.997
20	0.485	0.997
21	0.417	0.998
22	0.680	1.000
23	0.567	0.999
24	0.335	0.999
25	0.328	0.994
26	0.561	0.998
27	0.251	0.999

Estación	r1	r2
36	0.130	0.997
37	0.268	0.991
38	0.250	0.996
39	0.446	0.999
40	0.325	1.000
41	-0.029	0.998
42	0.389	0.994
43	0.266	0.995
44	0.526	0.999
45	0.340	0.997
46	0.104	0.997
47	0.188	0.999
48	0.351	0.989
49	0.301	0.999
50	0.317	1.000
51	0.020	0.993
52	0.413	0.999
53	0.240	0.996
54	0.060	0.997
55	0.429	0.998
56	0.505	0.998
57	0.362	0.998
58	0.278	0.998
59	0.499	0.991
60	-0.090	0.999
61	0.350	0.996
62	0.275	0.999

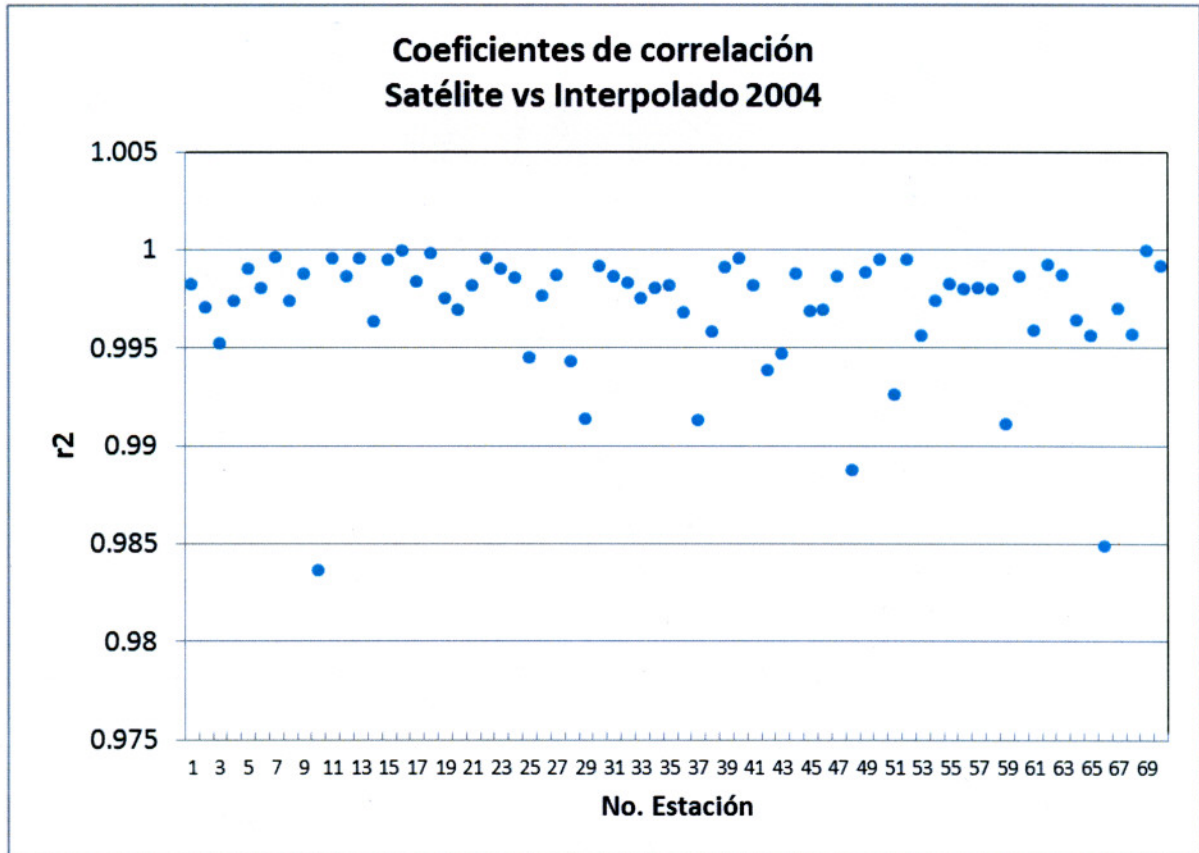
Estación	r1	r2
28	0.310	0.994
29	0.107	0.991
30	0.129	0.999
31	0.497	0.999
32	0.363	0.998
33	0.359	0.998
34	0.357	0.998
35	0.197	0.998

Estación	r1	r2
63	0.291	0.999
64	0.237	0.996
65	0.163	0.996
66	0.212	0.985
67	0.126	0.997
68	0.462	0.996
69	0.173	1.000
70	0.549	0.999

Cuadro 9. Coeficientes de correlación para 2 escenarios del 2004.



Gráfica 6. Coeficientes de correlación satélite vs observado 2004.



Gráfica 7. Coeficientes de correlación satélite vs interpolado 2004.

La distribución espacial de los coeficientes de correlación para el Escenario 1 “Satélite vs Observado” a nivel de subcuenca para los ríos Grijalva y Usumacinta se muestra en la Figura 26. La subcuencas Cuenca Libre A. y Peñitas mostraron las estaciones con los mejores coeficientes de correlación superiores a 0.6: 17/7130 “Platanar de Arriba” en Pichucalco, Chiapas, y 22/7158 “Sayula” en Ostucán, Chiapas. Continuaron las subcuencas De La Sierra con las estaciones 18/27044 “Teapa” en Teapa, y 26/27042 “Tapijulapa” en Tacotalpa, Tabasco; Chicoasén con las estaciones 70/SC “La Escalera” y 44/7039 “El Boquerón” en Suchiapa, Chiapas; Usumacinta con la estación 56/7205 “Comitán” en Comitán, Chiapas; Chilapa y Macuspana con las estaciones 24/7141 “Salto de Agua” en salto de Agua, y 33/7315 “Paso del Cayuco” en Chilón, Chiapas; La Angostura con la estación 59/7226 “Reforma II” en La Concordia, Chiapas; y Malpaso con la estación 37/7102 “Las Flores II” en Jiquipilas, Chiapas; la subcuenca Viejo Mezcalapa careció de estación climatológica, aunque está resultó rodeada por estaciones con coeficientes de correlación mayores a 0.3 con las estaciones 5/27039 “Samaria” en Conduacán, 7/27060 “González” y 13/27037 “Pueblo Nuevo” en Tabasco.

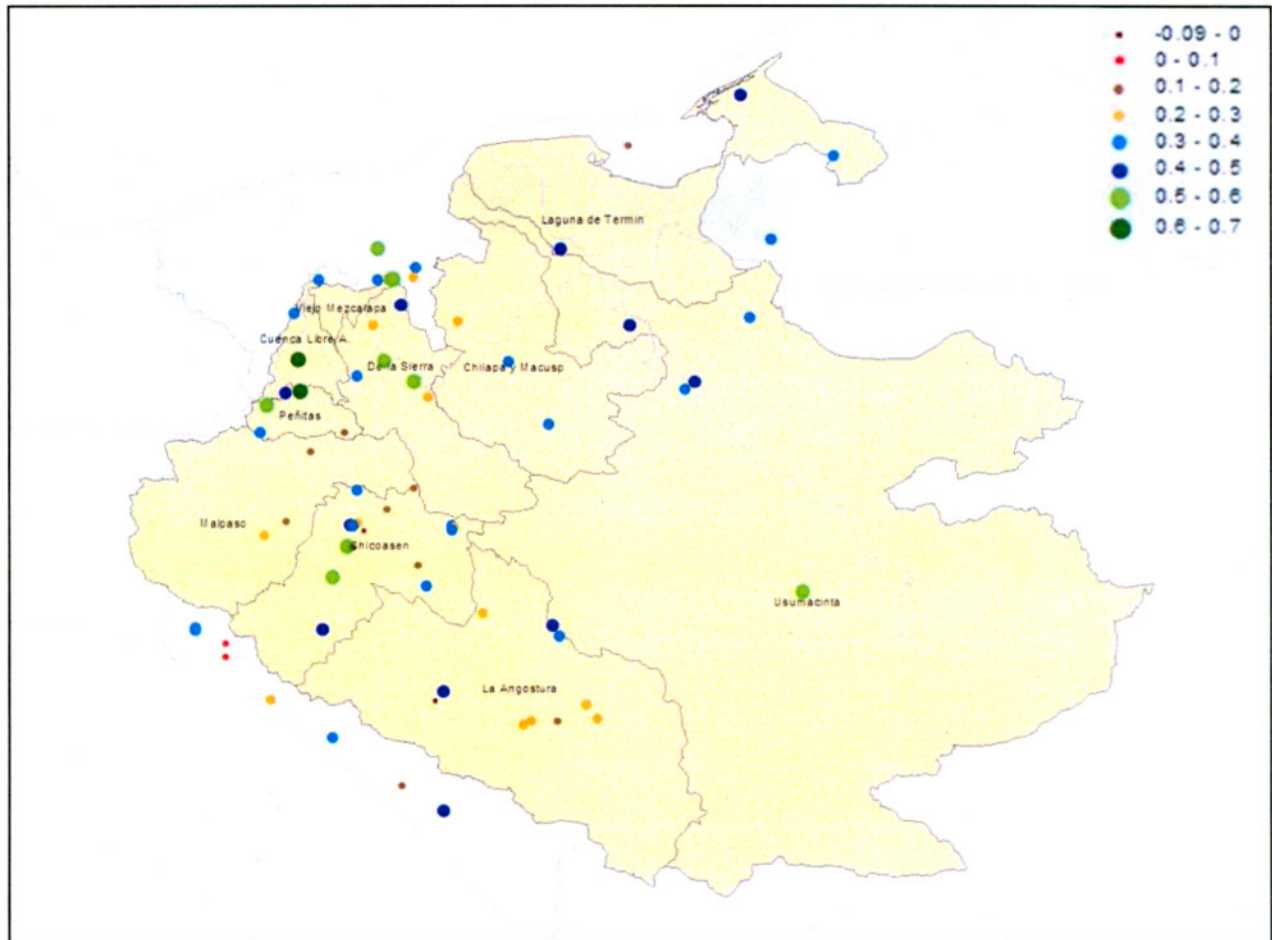
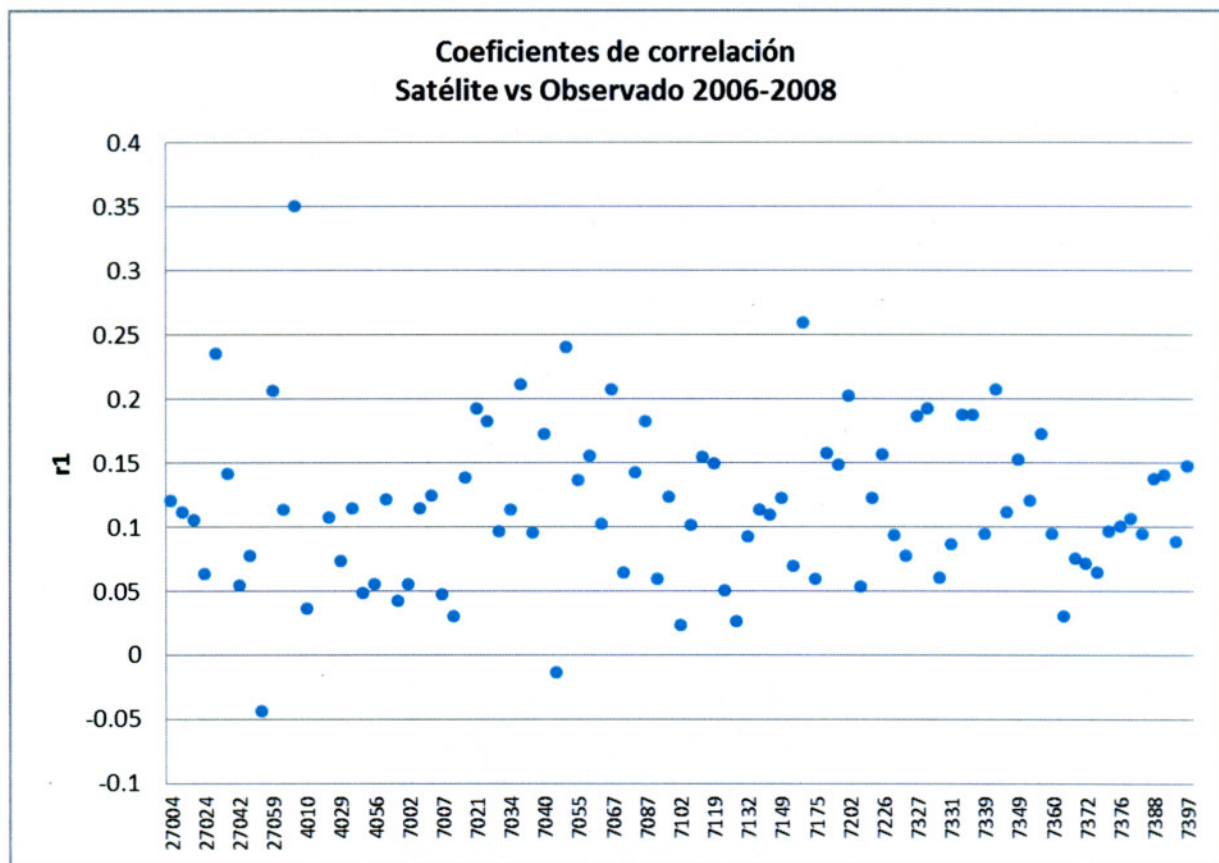


Figura 26. Distribución de los coeficientes de correlación 2004 "Satélite vs Observado" en las Cuencas Grijalva y Usumacinta.

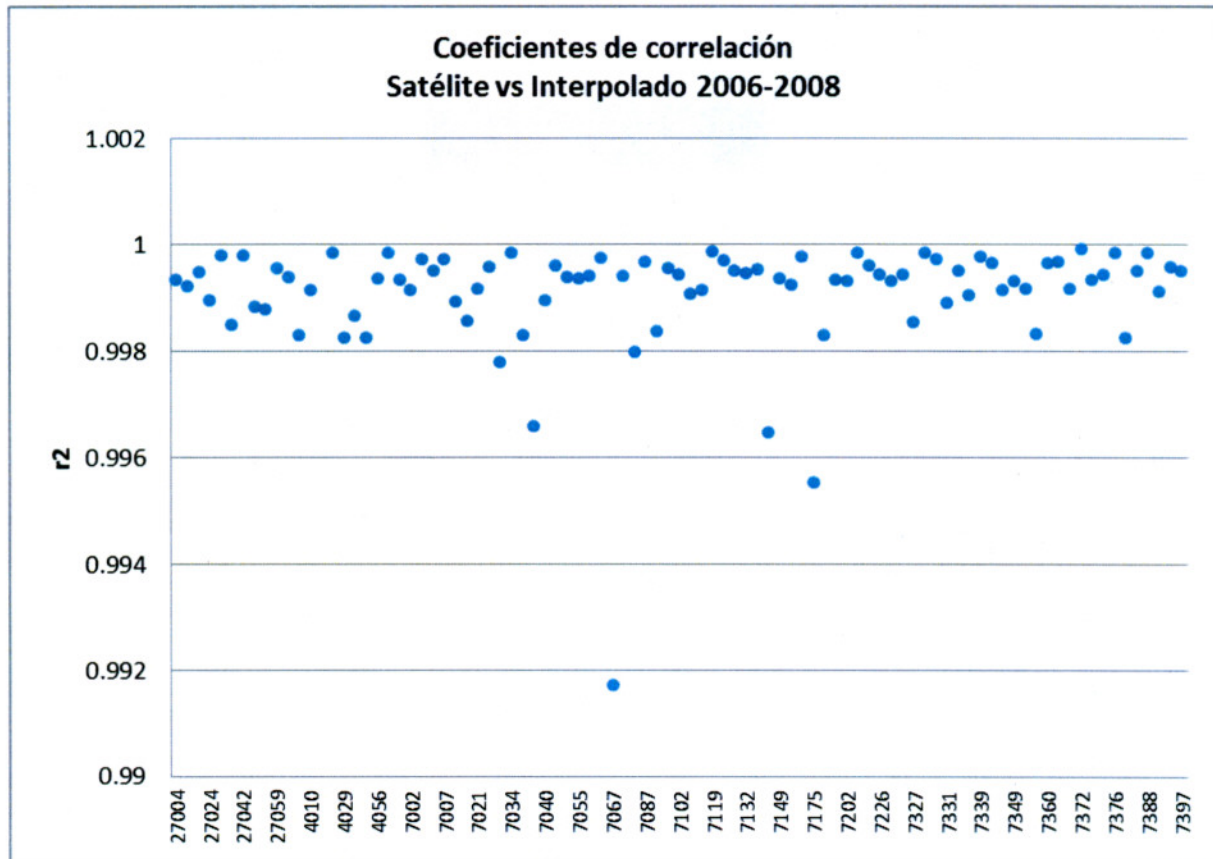
Las estaciones con mejores coeficientes de correlación se presentaron en las subcuencas intermedias del Río Grijalva, es decir, las de Chicoasén, Peñitas, Cuenca Libre A. y De la Sierra, mientras que en su parte alta se presentaron menores coeficientes de correlación en el rango de 0.1 y 0.3. En la cuenca del Río Usumacinta se presentó la estación "Lacantún" posicionada en los mejores coeficientes de correlación, a pesar de las pocas estaciones en su área de influencia (Figura 26).

VIII.2 RESULTADOS 2006, 2007 Y 2008.

Al igual que para el año 2004, se calcularon los coeficientes de correlación de las 90 estaciones climatológicas para los dos escenarios "r1" y "r2", cuya distribución se muestra en las Gráficas 8 y 9. La gráfica 8 muestra que al comparar los datos del satélite vs datos de CLICOM los coeficientes de correlación oscilaron entre -0.05 y 0.35, correspondientes a las estaciones 27049 "Tequila", localizada en Jalapa, Tabasco y 27090 "El Pipila", en Balancan, Tabasco. En general resultaron coeficientes de correlación muy bajos, lo que no ocurrió para el Escenario 2 al comparar datos de satélite vs datos interpolados, en donde todas las estaciones mostraron coeficientes de correlación superiores a 0.99.



Gráfica 8. Distribución de coeficientes de correlación "Satélite vs Observado".



Gráfica 9. Distribución de coeficientes de correlación "Satélite vs Interpolado".

La distribución geográfica de los coeficientes de correlación resultantes de comparar las estimaciones del satélite vs CLICOM se muestran en la figura 27. Los mejores coeficientes, superiores a 0.2 se encontraron en las subcuencas Laguna de Términos, La Angostura, Chicoasén, de la Sierra, y Chilapa y Macuspana. Carecieron de estaciones las subcuencas Viejo Mezcalapa y Cuenca Libre A. Malpaso y Peñitas mostraron coeficientes inferiores a 0.2.

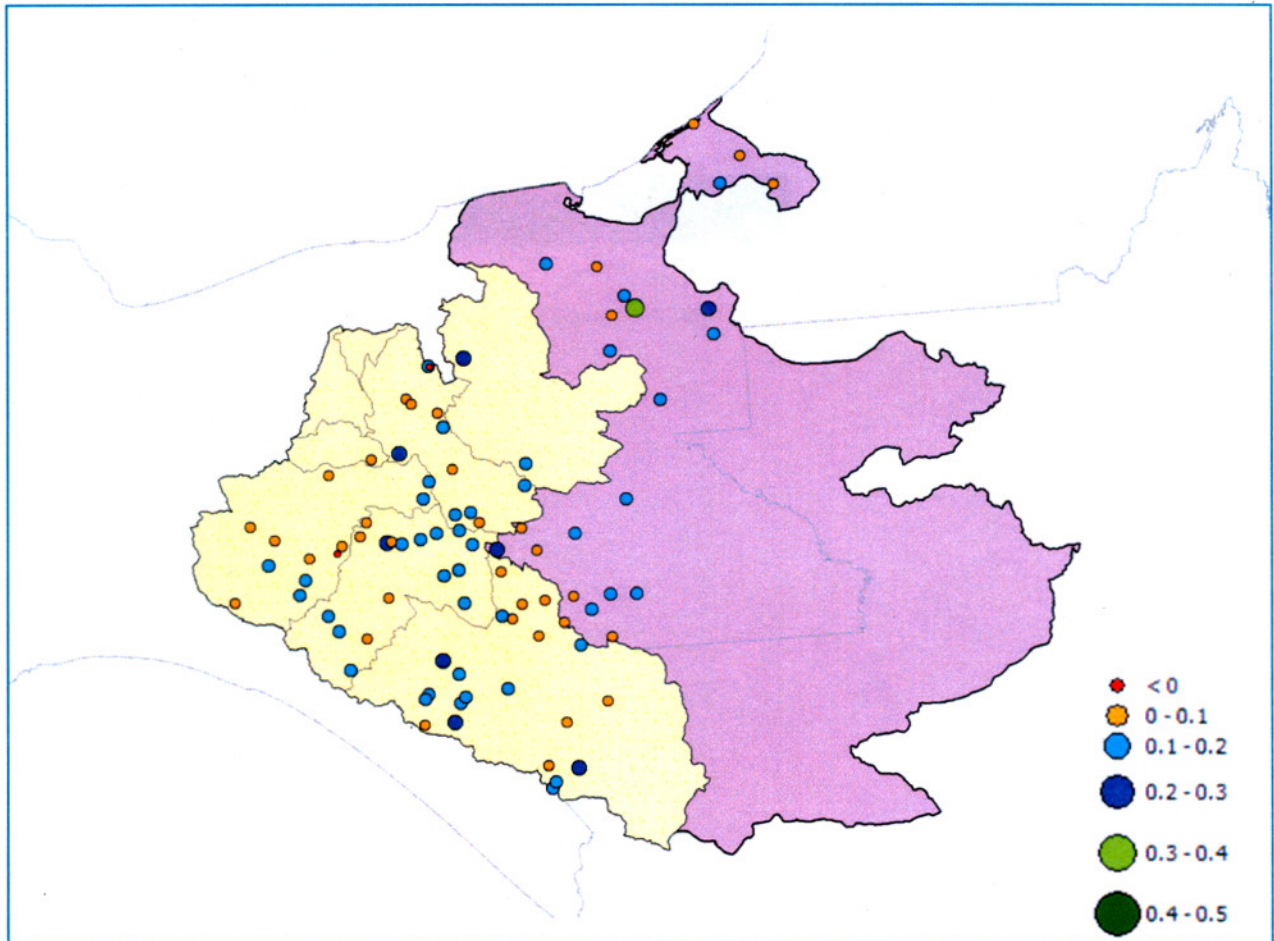
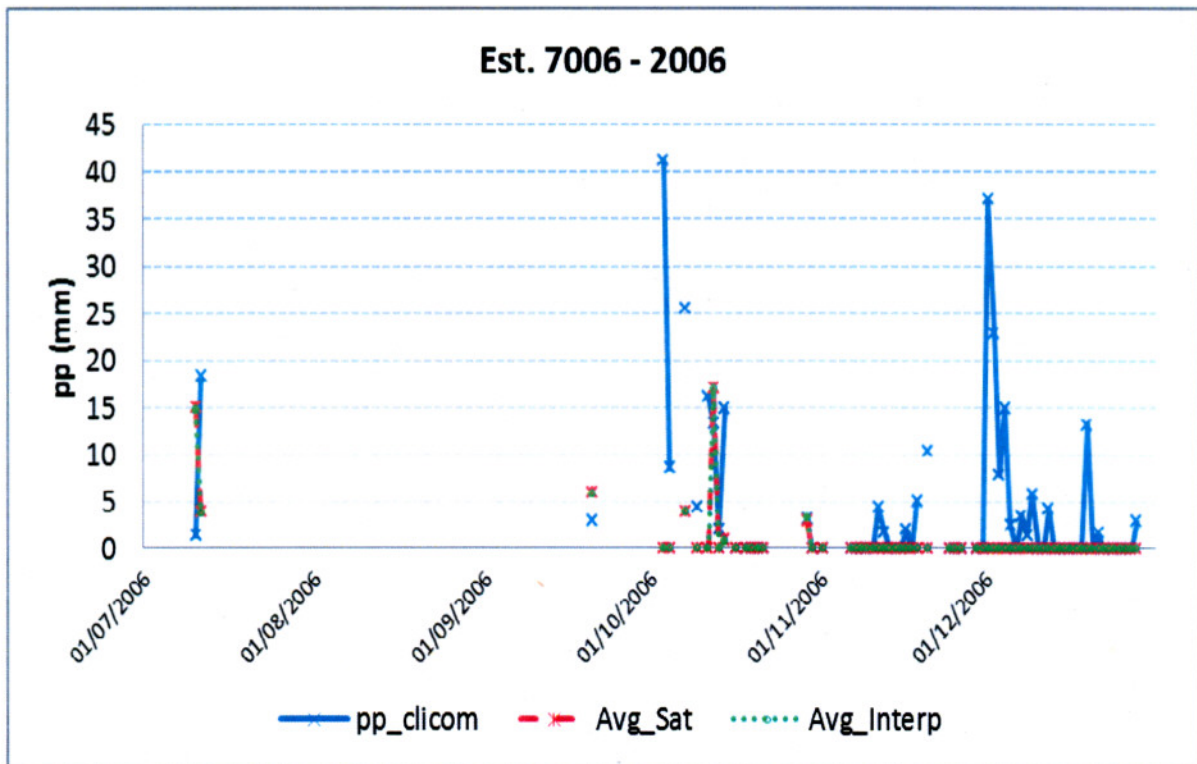


Figura 27. Distribución de coeficientes de correlación "Satélite vs Observado" para el periodo 2006-2008.

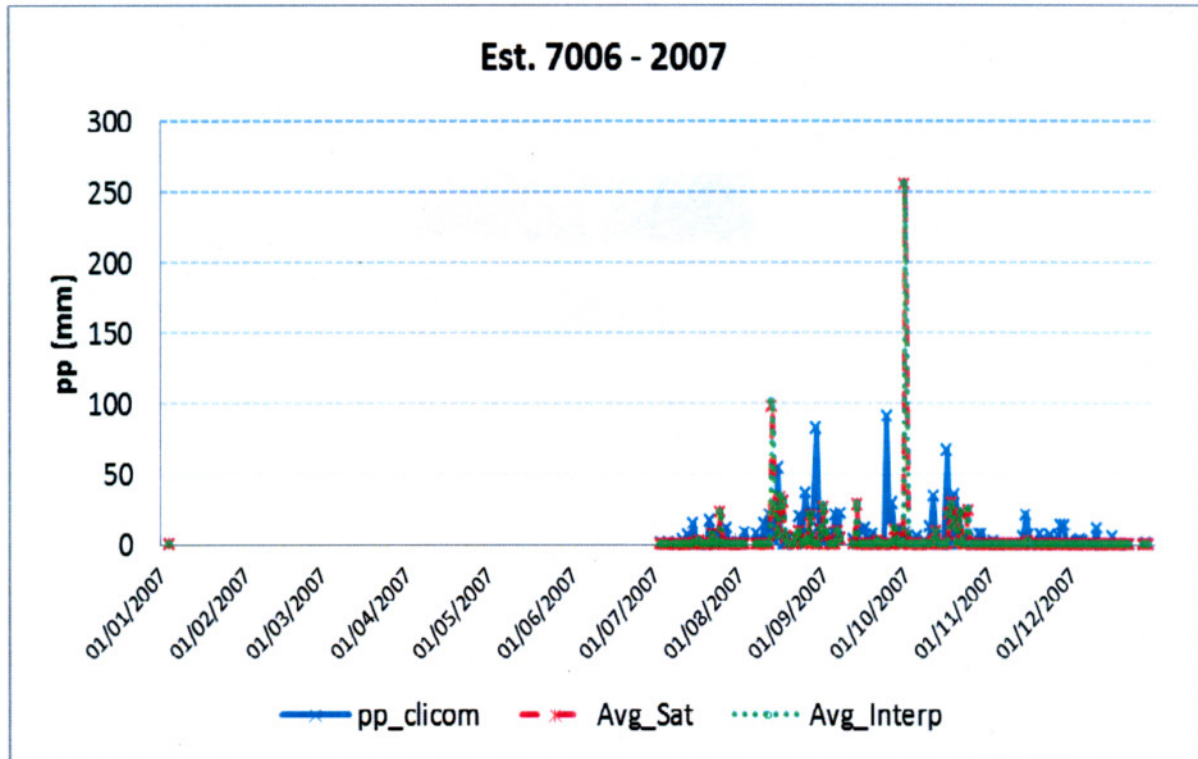
Para cada una de las series de tiempo de las 90 estaciones CLICOM que comprendieron datos del 2006 al 2008, se elaboraron los pluviogramas respectivos a fin de visualizar la distribución temporal de las lluvias registradas en las estaciones CLICOM, y compararla tanto con los datos Hidroestimador como con los datos interpolados de estaciones GASIR. En el Anexo D se muestran los Pluviogramas para cuatro del total de las estaciones bajo estudio; en la versión digital se presenta el total de las mismas.

Las Gráficas 10, 11 y 12, ejemplifican los pluviogramas para la estación 7006 "Altamirano", localizada en Altamirano, Chis., para los años 2006, 2007 y 2008. Para el año 2006 se aprecia que en Noviembre y Diciembre CLICOM registró lluvias de hasta 40 mm que Hidroestimador y GASIR no detectaron, situación que fue verificada con la base de datos de GASIR y no contó con información al respecto, lo que pudo ser debido a que en tiempo real no se contó con información de GASIR en su momento, pero pasado el tiempo después de la revisión de datos sí los reportó a la base de datos CLICOM; para Hidroestimador esas lluvias fueron inadvertidas.

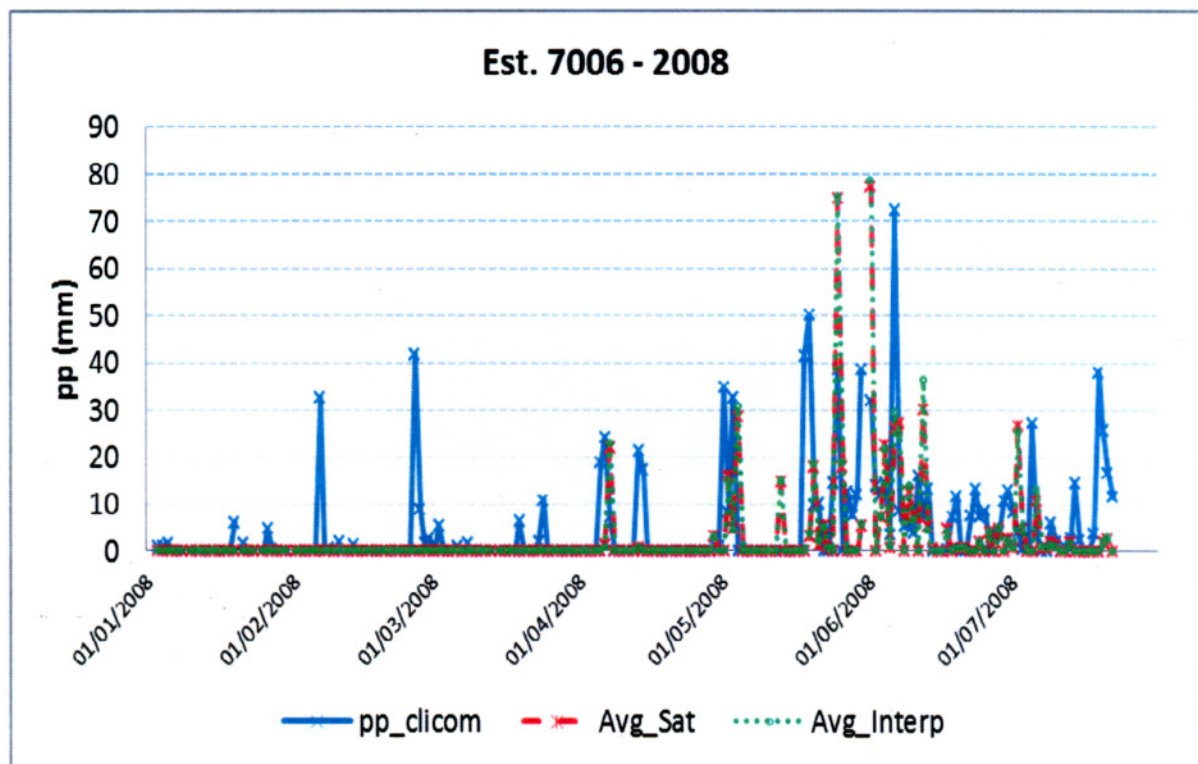
En el año 2007 se presentaron lluvias registradas en CLICOM que no fueron detectadas por Hidroestimador en el periodo Julio a Diciembre; asimismo se encontró que Hidroestimador detectó una lluvia de 250 mm el 1° de octubre no registrada en CLICOM. Para el 2008 continuó el comportamiento de lluvias registradas en CLICOM no detectadas en Hidroestimador; sobresale el periodo Enero-Mayo en el que Hidroestimador no detectó lluvias registradas en CLICOM. A partir de Mayo y hasta Julio tanto CLICOM como GASIR registraron datos correspondientes al inicio de la temporada de lluvias.



Gráfica 10. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7006 para el año 2006.



Gráfica 11. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) para la estación 7006 en el año 2007.



Gráfica 12 Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) para la estación 7006 en el año 2008.

Resultados 2006:

Después de analizar las 90 gráficas del Anexo D se encontró que en general para el año 2006, en CLICOM se registraron lluvias con valores superiores a los registrados por Hidroestimador, y en su caso algunas lluvias no fueron detectadas por Hidroestimador; se encontraron eventos aislados en donde la lluvia reportada por Hidroestimador resultó superior a la registrada en CLICOM. Asimismo, se presentaron algunos casos en donde lluvias detectadas por Hidroestimador no se encontraron registradas en CLICOM en los primeros días de octubre (estaciones 7037, 7149, 7339, 27024, 27040, 27059). Asimismo, las estaciones 7034, 7040, 7145, 7180, 7190, 7202, 7226, 7330, 7335, 7342, 7358, 7362, 7372, 7373, 7391, y 27090 mostraron un patrón de lluvia con comportamiento semejante en CLICOM e Hidroestimador. Se presentaron otros casos donde Hidroestimador reportó datos de lluvia superior a CLICOM, como fue el caso de las estaciones 7062, 7329 y 7343.

Finalmente, se apreciaron días específicos o eventos aislados en donde el campo de lluvia detectado por Hidroestimador pareciera tener alguna correspondencia con el valor registrado en CLICOM.

Correcciones a las series de datos 2007:

Al analizar los 90 pluviogramas del Anexo D para el año 2007, en todas ellas resultó constante un valor máximo superior a los 250 mm para el día 1° de octubre del 2007. A fin de verificar la causa de este valor constante se consultó la base de datos de imágenes Hidroestimador a fin de localizar la correspondiente a dicha fecha, se encontró la mostrada en la figura 28. Se constató que para dicho día tanto la imagen Hidroestimador como la base de datos de malla registraron valores erróneos, por lo que dicho punto en las gráficas fue eliminado del análisis.

Situación similar, aunque sin efecto para la región de estudio, sucedió para el periodo del 6 al 18 de diciembre del 2007, al encontrarse imágenes Hidroestimador con errores de registro de información, como los que se muestran en las figuras 29 y 30.

Resultados corregidos 2007:

Una vez detectada y eliminado la inconsistencia del 1 de octubre del 2007, nuevamente se calcularon los coeficientes de correlación y se re-elaboraron los pluviogramas para las 90 estaciones climatológicas, cuyos resultados se muestran en la Gráficas 13 y 14 respectivamente. En el Anexo E se presentan los pluviogramas corregidos para doce estaciones climatológicas. El total se muestra en la versión digital.

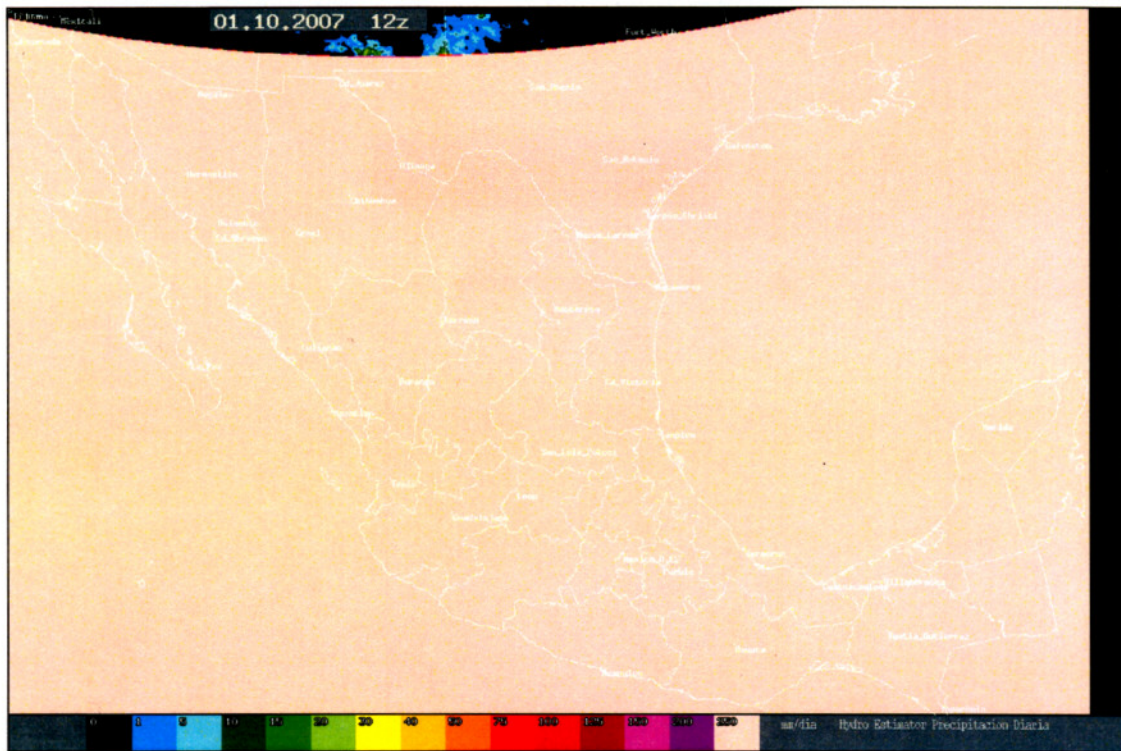


Figura 28. Imagen Hidroestimador del 1 de octubre del 2007.

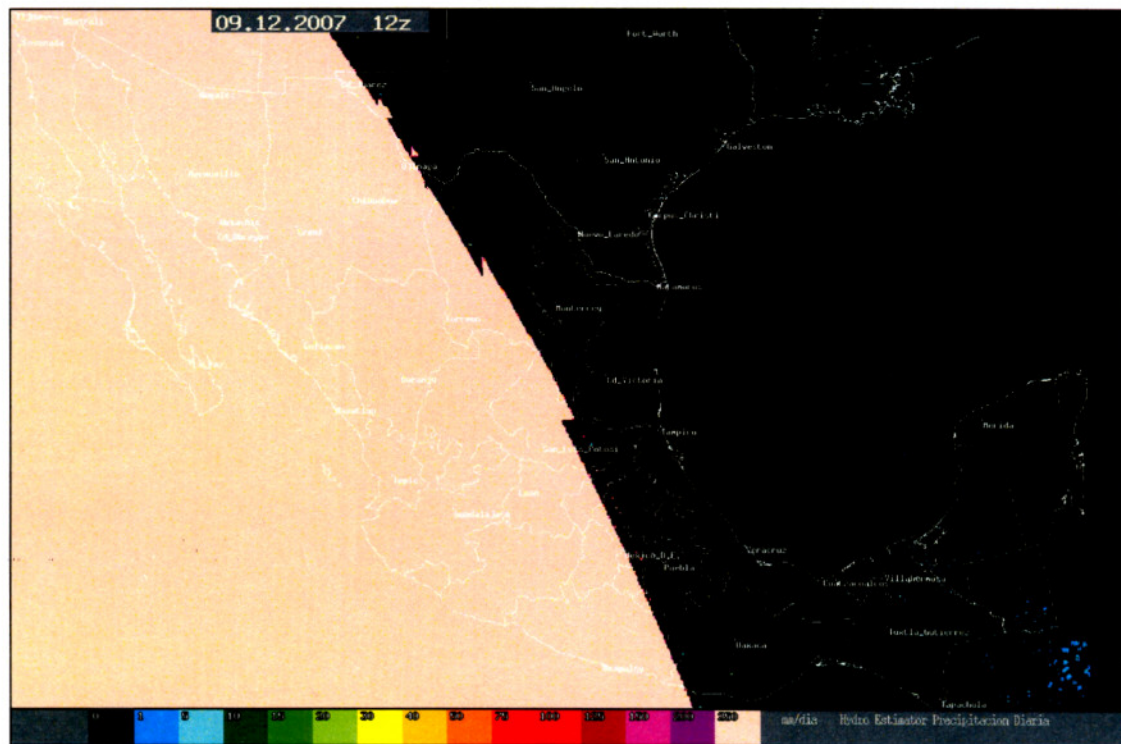


Figura 29. Imagen Hidroestimador del 9 de diciembre del 2007.

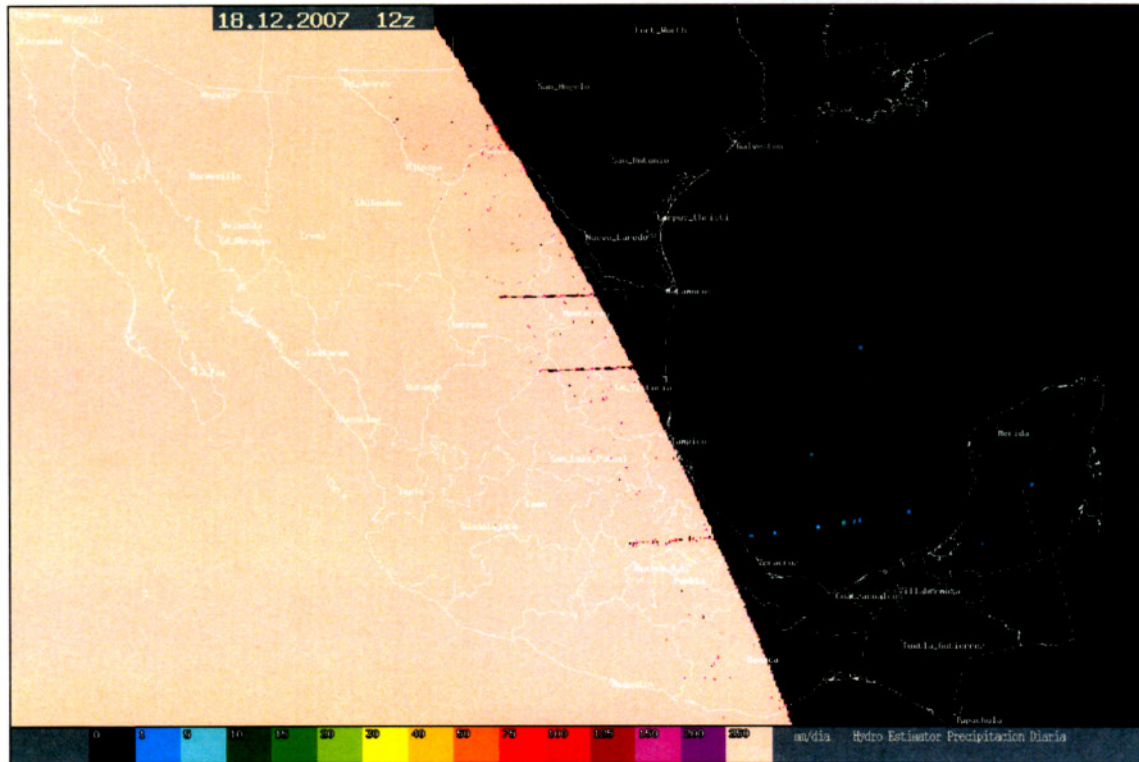
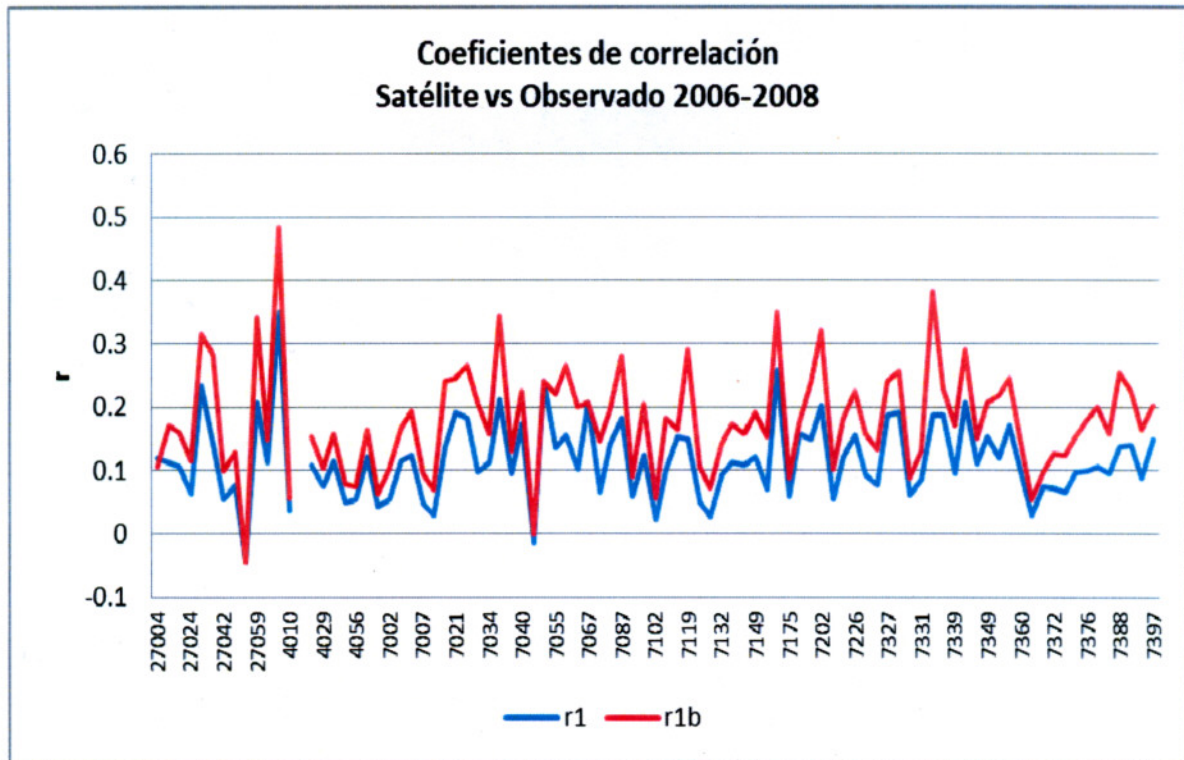


Figura 30. Imagen Hidroestimador del 18 de diciembre del 2007.

En la gráfica 13 se muestra una mejora significativa de los coeficientes de correlación (r_{1b}) al compararlos con los coeficientes calculados antes de las correcciones (r_1) por el solo hecho de haber eliminado la inconsistencia del 1 de octubre del 2007. La estación 27090 "El Pípila" en Balancán, Tabasco, alcanzó un valor de 0.48, mientras que las estaciones 27030 "Macuspana", 27059 "El Triunfo" (ambas en Balancán, Tabasco), 7036 "Chilil" en Huixtán, 7167 "Tapilula" en Tapilula, 7202 "Tuxtla Gutiérrez" y 7333 "Buenos Aires" en Motozintla, todas ellas en Chiapas, valores de 0.32, 0.34, 0.35, 0.35, 0.32 y 0.38. Las estaciones 27049 "Tequila" en Jalapa, Tabasco y 7050 "El Progreso" en Ocosocuaútl de Espinosa, Chiapas mostraron correlaciones negativas de -0.04 y -0.0001 respectivamente.

La figura 31 muestra la distribución geográfica de los coeficientes de correlación resultante de haber eliminado la inconsistencia del 1 de octubre del 2007. El mejor coeficiente se presentó en la parte baja de la cuenca del Usumacinta en la estación 27090 "El Pípila" en Balancán, Tabasco; siguiéndole las subcuencas La Angostura con la estación 7333 "Buenos Aires" en Motozintla, Chiapas; Chicoasén con la estación 7202 "Tuxtla Gutiérrez", en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; De la Sierra con la estación 7167 "Tapilula" en Tapilula, Chiapas; Chilapa y Macuspana con la estación 27030 "Macuspana", en Macuspana, Tabasco; Malpaso con la estación 7388 "Santa Lucía" en Jiquipilas, Chiapas; y Peñitas con la estación 7365 "Ocoatepec", en Ocoatepec, Chiapas. Las subcuencas Cuenca Libre A. y Viejo Mezcalapa no presentaron información CLICOM para ser comparada con datos Hidroestimador.



Gráfica 13. Coeficientes de correlación con datos corregidos ($r1b$).

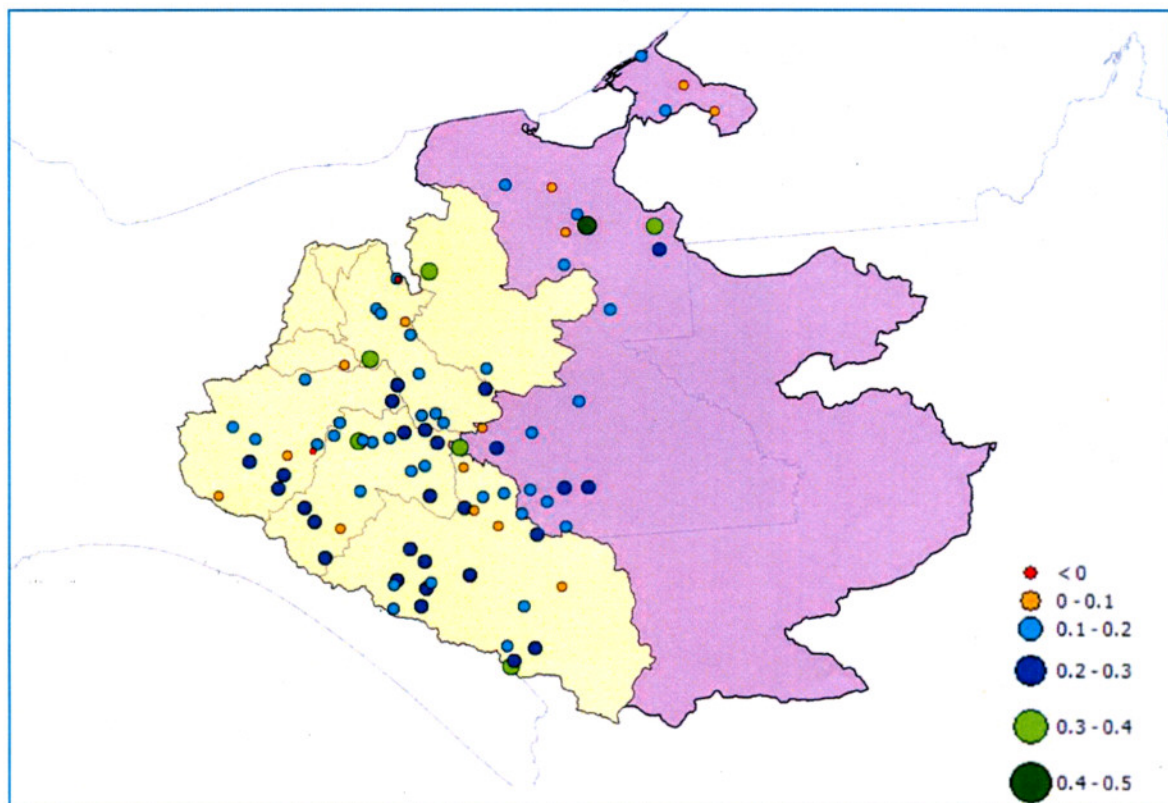
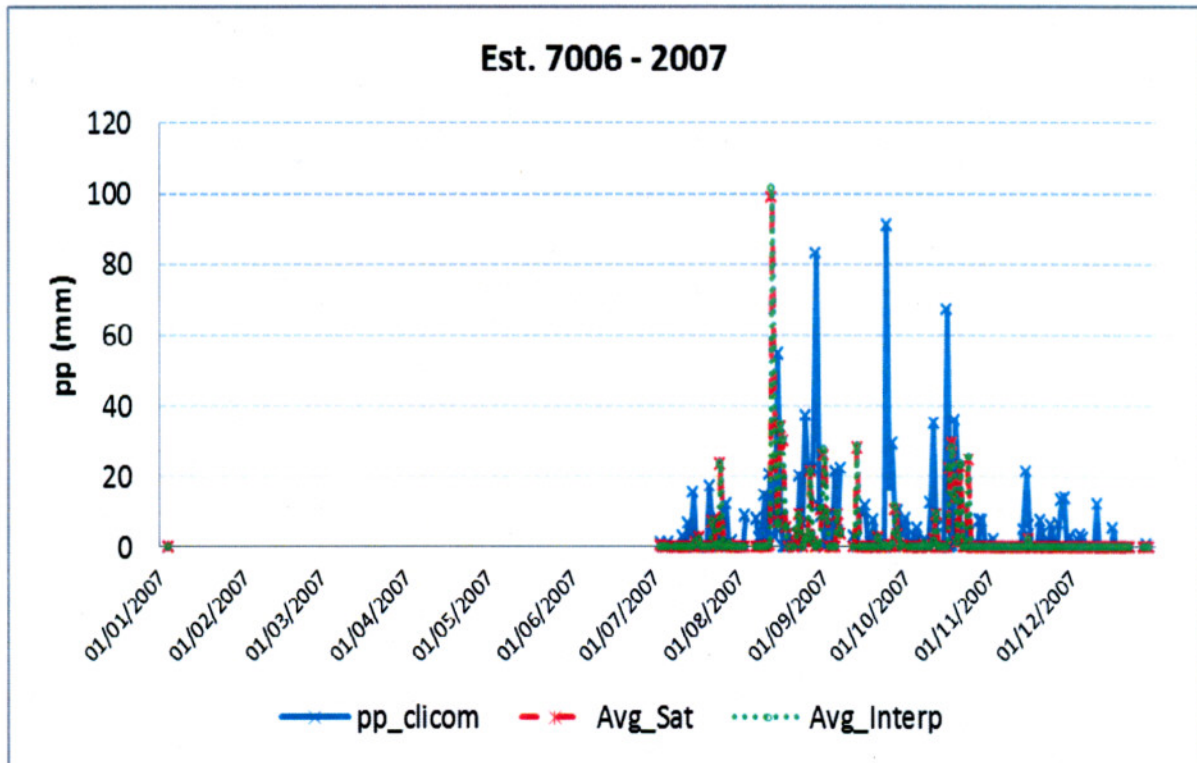


Figura 31. Distribución de coeficientes de correlación (satélite vs observado) sin el 1 de octubre de 2007.

La gráfica 14 muestra el resultado de haber eliminado el 1 de octubre del 2007 en la estación 7006 "Altamirano" en Altamirano, Chiapas; la mayoría de los datos CLICOM muestran un registro de lluvia mayor al estimado por Hidroestimador; a partir de noviembre, se muestran lluvias registradas en CLICOM que no fueron detectadas por Hidroestimador.

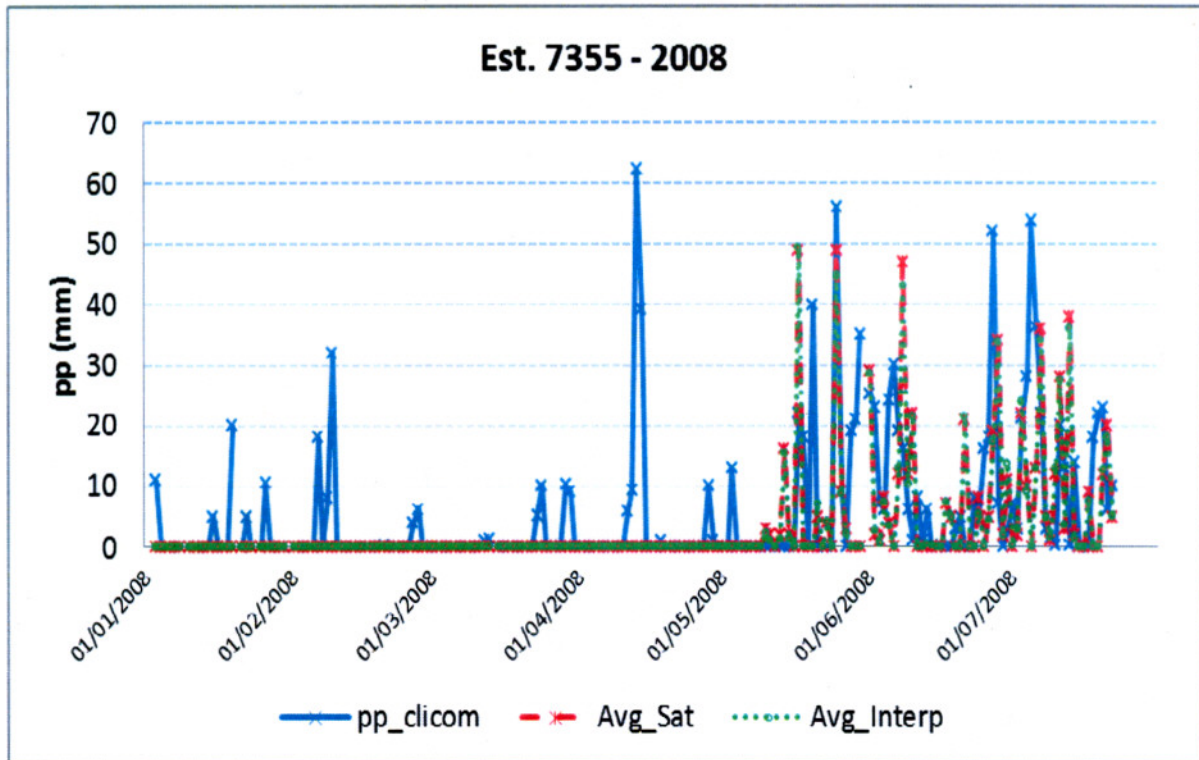


Gráfica 14. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) para la estación 7006 en el año 2007.

Al analizar el conjunto de pluviogramas corregidos de las 90 estaciones climatológicas para el año 2007 del Anexo E, se apreció que la brecha entre las estimaciones de Hidroestimador con la información de CLICOM ya no resultó tan evidente como en el año 2006, de tal manera que las estaciones que mostraron patrones semejantes en la distribución de la lluvia fueron la 7015, 7031, 7036, 7054, 7070, 7071, 7104, 7132, 7175, 7202, 7226, 7327, 7329, 7349, 7388, 7389, 4010, 4029, 4030, 27024, 27030, 27042, 27044, y 27070. Aquellas que exhibieron datos sobreestimados de Hidroestimador fueron la 7062, 7087, 4056, y 4079. Se apreciaron estaciones con datos CLICOM superiores a Hidroestimador en las estaciones 7102, 7167, 7180, 7238, 7330, 7333, 7342, 7358, 7365, 7383, y 7391. Finalmente, en todas las gráficas se apreció que las lluvias de noviembre y diciembre no fueron detectadas por Hidroestimador.

Resultados 2008:

Al revisar los pluviogramas de las 90 estaciones para el periodo 2008 se encontró que en la totalidad de las mismas las lluvias registradas en el periodo Enero-Abril del 2008 en CLICOM no fueron detectadas por Hidroestimador. La Gráfica 15 ejemplifica dicho comportamiento para la estación 7355.

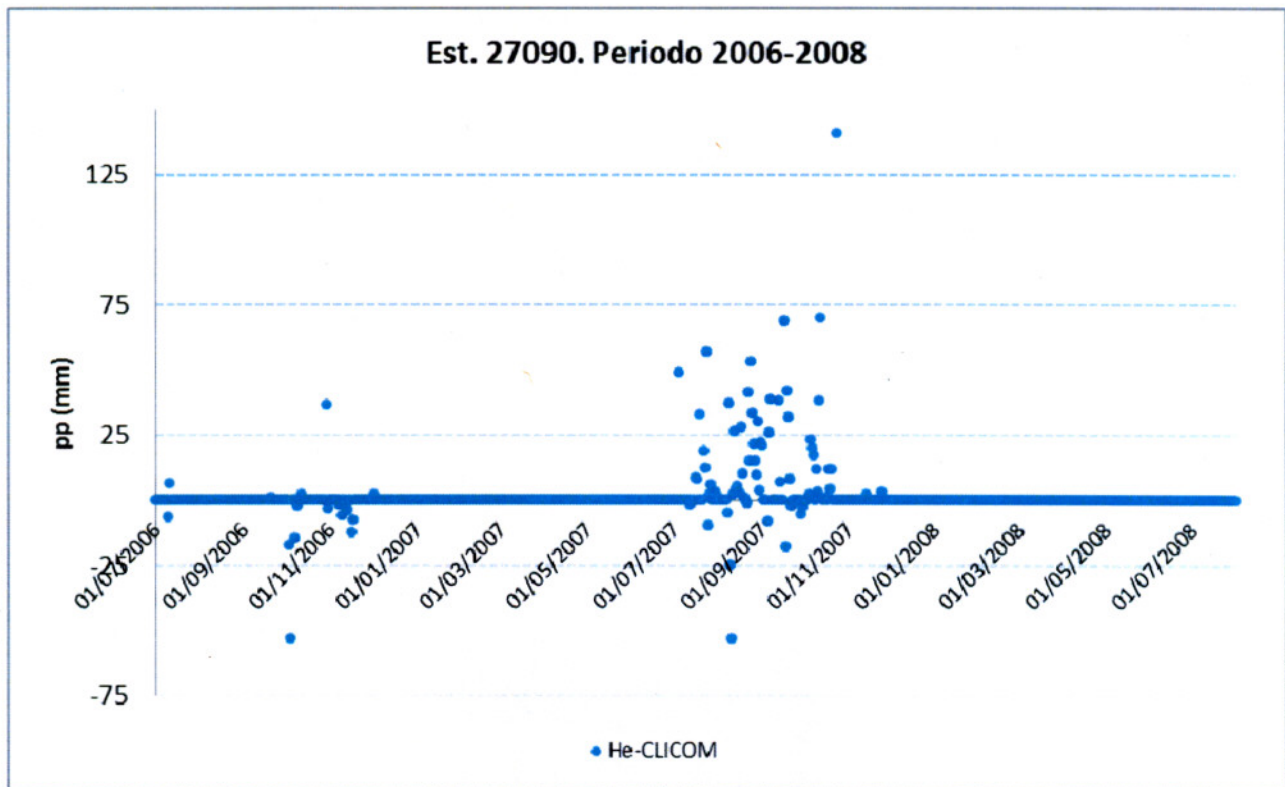


Gráfica 15. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) para la estación 7355 en el año 2008.

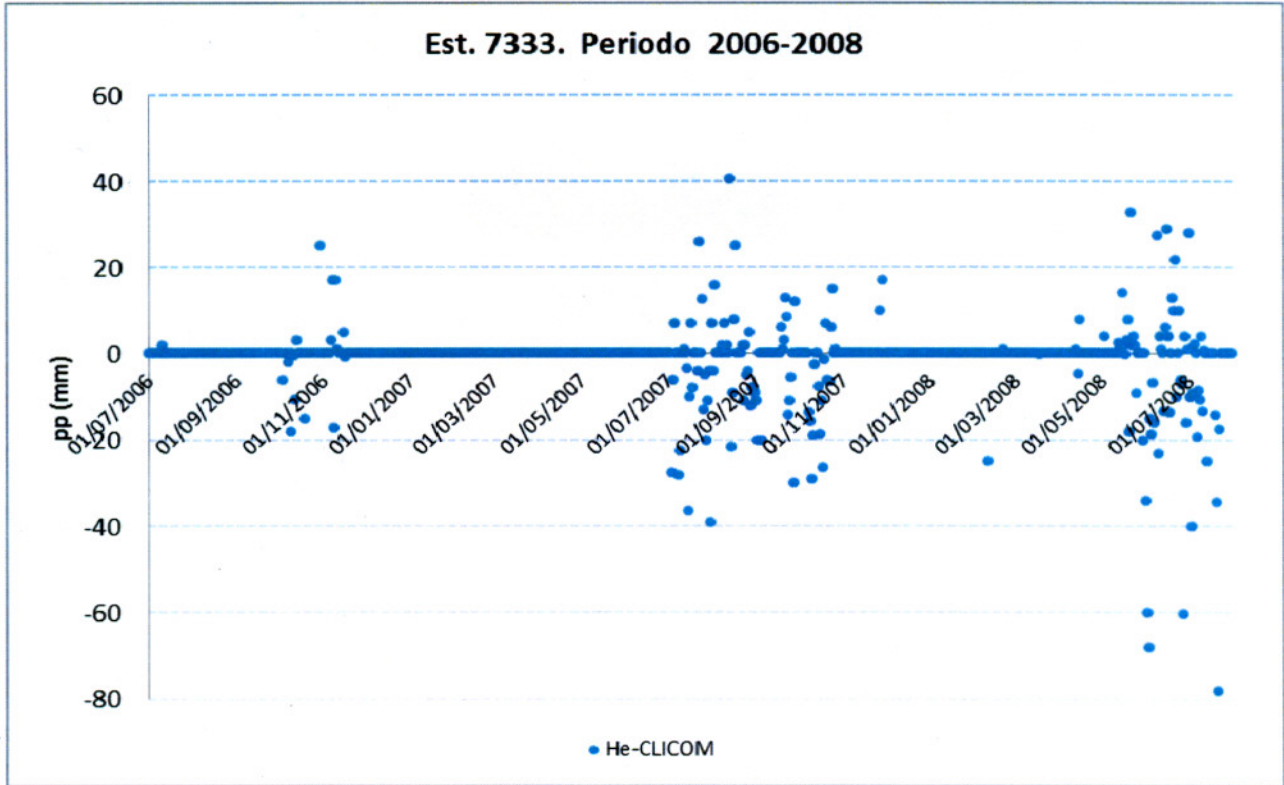
Asimismo, al analizar los pluviogramas para las 90 estaciones del Anexo E se encontró que las estaciones 7034, 7037, 7335, 7358, 7373 y 4010 presentaron una sobrestimación de valores Hidroestimador; mientras que en las estaciones 7055, 7065 y 7160 se apreció una sobre-estimación de CLICOM. Las estaciones que presentaron un patrón semejante en la distribución de la lluvia fueron la 7071, 7125, 7134, 7145, 7180, 7202, 7238, 7329, 7330, 7342, 7389 y 4030. Finalmente, todas las estaciones de Tabasco carecieron de datos CLICOM para 2008, lo que impidió realizar la comparación correspondiente.

Desviaciones de precipitación 2006-2008:

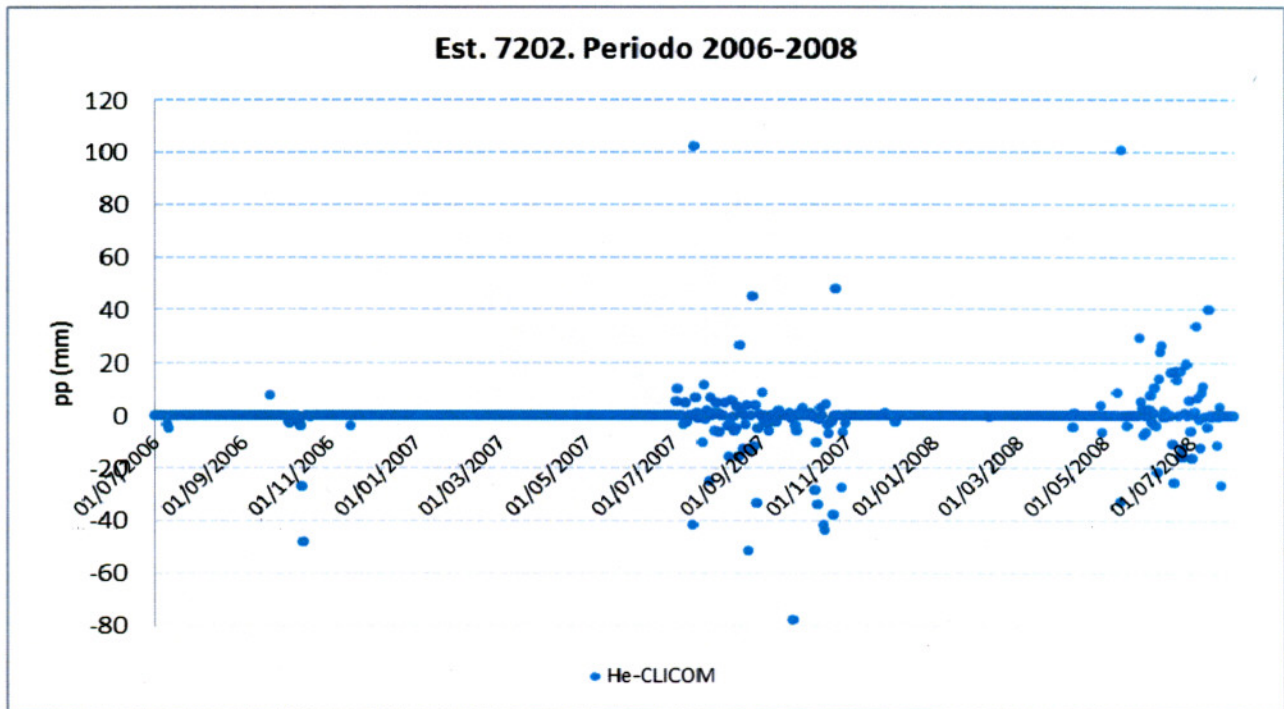
Para la estaciones con mejores coeficiente de correlación en el periodo 2006-2008 se calcularon las desviaciones de precipitación entre Hidroestimador y CLICOM. Las Gráficas 16, 17 y 18 muestran un ejemplo de los resultados obtenidos para tres estaciones. En la Gráfica 16 se aprecia que para la estación 2709 “El Pípila” en Balancán, Tabasco, las desviaciones de Hidroestimador respecto a CLICOM resultaron en los rangos de (+/-) 25mm y (+/-) 75 mm; mientras que para las estaciones 7333 “Buenos Aires” en Motozintla, y 7202 “Tuxtla Gutiérrez”, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, las desviaciones de Hidroestimador respecto a CLICOM resultaron en los rangos de (+/-) 20 mm y (+/-) 40 mm.



Gráfica 16. Desviación de la precipitación HE-CLICOM en la estación 27090 en el periodo 2006-2008.



Gráfica 17. Desviación de la precipitación HE-CLICOM en la estación 7333 en el periodo 2006-2008.



Gráfica 18. Desviación de la precipitación HE-CLICOM en la estación 7202 en el periodo 2006-2008.

En resumen, para el año 2004 los coeficientes de correlación satélite vs observado presentaron valores en el rango de -0.089 a 0.695, mientras que para el periodo 2006-2008 estuvieron en el rango de -0.04 a 0.48. Este descenso del coeficiente de correlación pudo estar influido por alguna modificación realizada en el algoritmo de Hidroestimador y por el propio tratamiento de los datos de la serie 2006-2008.

En general, las comparaciones de datos "Hidroestimador vs Observado" presentaron un menor ajuste debido a un desfase temporal de dos horas en el registro de los datos de lluvia, ya que la hora de cierre para la precipitación acumulada en 24 horas para Hidroestimador corresponde a las 12Z horas, mientras que para los datos de estaciones climatológicas corresponde a las 8:00 hora local.

CAPÍTULO IX Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones y recomendaciones para el periodo de datos 2004.

La escasa asociación que mostraron los diagramas de dispersión al comparar los datos de satélite Hidroestimador con los observados en las estaciones climatológicas de GASIR puede explicarse debido a la alta variabilidad espacial que presentan los campos de lluvia al ser comparados con datos puntuales. Por un lado la estimación del satélite a través de Hidroestimador comprende un campo de lluvia de un área de 4 x 4 km, mientras que el de la estación climatológica es puntual.

Lo contrario ocurrió bajo el escenario 2, cuando se compararon datos "Satélite vs Interpolado", ya que la asociación entre las variables mostró una gran fortaleza, lo que se reflejó en altos coeficientes de correlación superiores a 0.85 para las 70 estaciones climatológicas, lo que se explica debido a la comparación de campos de lluvia de 4 x 4 km similares en ambos casos.

La alta fortaleza de asociación y correlaciones que mostraron las estimaciones de satélite con los datos interpolados de las estaciones climatológicas de GASIR indican que para cuestiones prácticas una imagen de satélite podría ser semejante a un mapa interpolado elaborado a partir de las estaciones climatológicas convencionales de GASIR, y que ambos productos pueden ser empleados o complementarios para fines prácticos, como es el caso de la estimación de la lámina de lluvia por cuenca o subcuenca, lo cual podría ser sujeto de evaluación en un estudio complementario al presente.

El hecho de que las estaciones climatológicas localizadas en las subcuencas intermedias del Río Grijalva presentaran mejores coeficientes de correlación que aquellas localizadas en las subcuencas altas del mismo, podría ser un indicativo de que las estimaciones de lluvia de Hidroestimador son mejores para regiones localizadas en altitudes intermedias de su cuenca que aquellas localizadas en regiones de mayor altitud, por lo que se sugiere realizar un estudio complementario para cuantificar la correlación de las estimaciones de lluvia de Hidroestimador con la altitud de las estaciones.

A pesar de que la única estación localizada en la cuenca del Río Usumacinta "Lacantún" presentó una correlación dentro de los rangos mayores, es necesario fortalecer la instrumentación con redes de medición en la parte alta de la cuenca a fin de mejorar la comparación de Hidroestimador con la información registrada en tierra.

Conclusiones y recomendaciones para el periodo de datos 2006.

En general para el año 2006 Hidroestimador reportó datos de lluvia de magnitud menor a los registrados por CLICOM, lo que puede interpretarse en una subestimación de la lluvia, salvo algunos casos puntuales en donde Hidroestimador detectó lluvia superior a la registrada en CLICOM. La falta de detección de lluvias en Diciembre, podría ser un indicativo de que Hidroestimador no está detectando lluvias correspondientes al periodo invernal, y está mostrando un mejor comportamiento para lluvias de carácter convectivo típicas de la época de lluvias. Por lo anterior, se recomienda llevar a cabo una caracterización diaria del tipo de nubes que ocasionan lluvias en la región del Grijalva-Usumacinta a fin de determinar los tipos de nubes para las que Hidroestimador realiza una mejor estimación de la lluvia.

Se encontraron días específicos en donde el campo de lluvia detectado por Hidroestimador pareciera tener alguna semejanza con el valor registrado en CLICOM; esto significaría que el campo de la lluvia detectada por Hidroestimador estaría coincidiendo con lo registrado en la estación climatológica (CLICOM), lo que puede interpretarse que el sistema nuboso que ocasionó la lluvia se localizó justo por arriba de la estación climatológica, por lo que se sugiere llevar a cabo la identificación de dichos días en las series de datos de cada una de las estaciones a fin de calcular nuevamente los coeficientes de correlación, lo que seguramente mejorará los resultados, ya que la poca correlación encontrada en la mayoría de las estaciones está contaminada por la variabilidad espacial de la lluvia y la extensión de los campos bajo comparación.

Conclusiones y recomendaciones para el periodo de datos 2007.

La detección de la inconsistencia en las series de tiempo evidente en las gráficas del Anexo IV correspondiente al día 1° de octubre del 2007, en el que Hidroestimador reportó lluvia superior a los 250 mm debido a una imagen mal registrada y carente de sentido, permite concluir que cualquier falla en la generación de imágenes de intensidad de lluvia acumulada diaria u horaria en el funcionamiento del sistema Hidroestimador inducirá la generación de datos inconsistentes para ser comparados con los registrados en las estaciones climatológicas.

Las causas que originarían un mal funcionamiento del sistema Hidroestimador pueden deberse a errores intrínsecos en las propias imágenes de satélite que asimila el sistema desde su origen, como puede ser "ruidos" debidos a fallas de transmisión y registro de las imágenes, deficiencias en su respaldo, y fallas debidas cortes en el suministro de energía eléctrica, por lo que se sugiere el monitoreo permanente del buen funcionamiento del sistema Hidroestimador en la generación de las imágenes correspondientes a fin de evitar deficiencias de su funcionamiento y en su caso corregirlos oportunamente.

La mejora de los coeficientes de correlación resultado de la eliminación del dato correspondiente al 1° de octubre del 2007, muestra la alta sensibilidad de la variabilidad espacial de la lluvia en el cálculo de los coeficientes de correlación, lo que sugiere que si se seleccionaran solo aquellos días en los que los valores de lluvia estimados por Hidroestimador y CLICOM muestran patrones semejantes de comportamiento, los coeficientes mejorarían significativamente, lo que tendría que ser abordado en un estudio complementario al presente trabajo, como se indicó con anterioridad.

Las estimaciones Hidroestimador 2007 presentaron una mejoría respecto del año 2006, lo que pudo ser debido a alguna modificación de los parámetros del modelo Hidroestimador, de lo cual hay un antecedente referente a la modificación del parámetro de temperatura de tope de nube. No obstante resultó evidente que en algunas estaciones el dato Hidroestimador es sobre ó subestimado respecto de los datos contenidos en la base de datos CLICOM; por lo que sugiere realizar ajustes al modelo Hidroestimador a escala regional y no a nivel nacional.

Conclusiones y recomendaciones para el periodo de datos 2008.

Dado que las lluvias presentadas en el periodo Noviembre-Diciembre del 2007 y Enero-Abril del 2008 fueron registradas en CLICOM y no detectadas por Hidroestimador, se infiere que Hidroestimador no detecta las lluvias invernales ocasionadas por nubes de tipo estratiforme, mientras que presenta un mejor comportamiento para la detección de lluvias de tipo convectivo características de la época de verano.

Para el 2008 resultó de mayor complejidad analizar los patrones de lluvia de Hidroestimador y CLICOM, dada la alta variabilidad que presentó la precipitación registrada en ambas bases de datos, ya que en algunos días resultaron sobreestimaciones de lluvia por Hidroestimador y en otros por CLICOM. Para explicar este hecho se sugiere monitorear el tipo de nubes que originan las lluvias a escala regional.

Conclusiones y recomendaciones generales.

A pesar de las pocas estaciones climatológicas en la cuenca del Río Usumacinta, dos de sus estaciones localizadas en su área de influencia estuvieron posicionadas dentro de los mejores coeficientes de correlación en el año 2004 y el periodo 2006-2008. En la cuenca del río Grijalva las subcuencas de Chicoasén, De la Sierra y Peñitas también se localizaron estaciones climatológicas que se posicionaron dentro de los mejores coeficientes de correlación para los periodos antes indicados.

No obstante que las diferencias de los campos espaciales de lluvia influyen en la obtención de los bajos coeficientes de correlación entre las estimaciones de satélite y los datos observados en las estaciones climatológicas, se sugiere llevar a cabo la calibración de los parámetros del modelo de Hidroestimador empleados en el modelo atmosférico bajo el cual opera a fin de realizar los ajustes correspondientes y calcular coeficientes de ajuste a los valores de Hidroestimador a escala regional.

La disminución de los coeficientes de correlación al comparar las estimaciones Hidroestimador contra datos CLICOM en lugar de los de GASIR resultó contrario a lo esperado, ya que se esperaba que éstos presentaran alguna mejora para el periodo 2006-2008 respecto al 2004, dado que los datos CLICOM han sido sujetos de controles de calidad, mientras que los de la base de datos de GASIR pueden contener inconsistencias de captura, puesto que son transmitidos en tiempo real y bajo condiciones susceptibles de cometer errores. El uso de buffers en el tratamiento de los datos 2006-2008 pudo ser la causa de dicha variación en los resultados.

Dado que las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta son transfronterizas y parte de su área de captación es compartida con Guatemala aguas arriba, resultó evidente una carencia de datos climatológicos e hidrométricos en esa región. Es necesario fortalecer los mecanismos de coordinación entre ambos países para generar y compartir información tanto climatológica, meteorológica e hidrométrica.

La carencia de datos de precipitación sobre las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta en el territorio de Guatemala puede ser suplida con datos Hidroestimador, lo que mejoraría la toma de decisiones con fines de pronóstico de avenidas y administración del manejo del agua a lo largo de su cauce. Se sugiere realizar un estudio complementario para calcular coeficientes de ajuste a la cantidad de lluvia estimada por Hidroestimador.

Se sugiere llevar a cabo un estudio complementario para cuantificar las láminas de lluvia por áreas a fin de realizar comparaciones de datos Hidroestimador vs estaciones climatológicas en términos campo a campo y no punto a campo, con lo seguramente se mejorarían los coeficientes de correlación, y con ello derivar coeficientes de ajuste para Hidroestimador.

Se sugiere realizar un ajuste en el sistema Hidroestimador para la generación de productos de lluvia acumulada en 24 horas con hora de cierre similar a las estaciones climatológicas convencionales, es decir a la 8:00 horas, a fin de garantizar una mejor comparación entre ambos tipos de mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Curtis, S., Nelkin, E. J., 2000. Tropical rainfall distributions determined using TRMM combined with other satellite and rain gauge information. *Journal Applied Meteorology*, 39, 2007-2023.
- Alfaro R., 2003. Validation of GOES precipitation estimates over Central America. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere. Colorado State University. Technical Report ISSN No. 0737-5352—58. Pp. 8-20.
- Arreguín C. F. I., 2007. Los retos de la Ingeniería hidráulica. Mesa del Agua. III Congreso Nacional La Ingeniería en el Desarrollo de México. Academia de Ingeniería. Octubre.
- Curtis, S., Huffman, G. J., Adler, R. F., 2002. Precipitation anomalies in the tropical Indian Ocean and their relation to the initiation of El Niño. *Geophysical Research Letters*, 29 (10), 1441, doi:10.1029/2001GL013399.
- Comisión Nacional del Agua, 2010. Proyecto de Modernización del Servicio Meteorológico Nacional de México. Consultoría con Asistencia Técnica de la Organización Meteorológica Mundial. Pp. 13 -20.
- Comisión Nacional del Agua, Tríptico Servicio Meteorológico Nacional. México, Distrito Federal. Pp. 1-4.
- Curtis, S., Adler, R. F. ENSO, 2000. Indices based on patterns of satellite - derived precipitation. *Journal of Climate*, 13, 15. Pp. 2786-2793.
- Fashé R. O., Rojas A. J., y Eche L. J.C., 2005. Estimación de la tasa de lluvia sobre Perú durante el verano del 2002 usando imágenes de los satélites GOES-8 y TRIMM. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16-21 abril. INPE. Pp 2495-2502.
- Fashé R. O., Rojas A. J., y Eche L. J.C., 2002. Estimación de la cantidad de lluvia utilizando imágenes digitales del satélites Geoestacionario GOES-8 sobre Perú en abril del 2002. Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. pp 1.
- Fashé R. O. y Rojas A. J., 2005. Procesamiento de imágenes infrarrojas GOES-8 para la estimación de la tasa de lluvia diaria sobre Perú. *Revista de Investigación de Física*. Vol. 8. No. 2. Pp. 5-8. Consejo Superior de Investigaciones. ISSN 1605-7744.

- Hines W. W., Montgomery C. D., Goldsman M. D., y Borrer M. C., 2005. Probabilidad y estadística para ingeniería. Cuarta Edición. Ed. CECSA. México, D.F. Pp. 514-518.
- Huffman G. J., Adler R. F., Arkin P., Chang A., Ferraro R., Gruber A., Janowiak J., McNab A., Rudolf B. y Schneider U., 1997. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP), Combined Precipitation Dataset. Bulletin of the American Meteorological Society, 78. Pp. 5-20.
- INE, 2008. Estrategias de protección civil y gestión de riesgo hidrometeorológico ante el cambio climático. Informe Final. México, Distrito Federal. Pp. 1-97.
- INE, 2007. La Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. México, Distrito Federal. (Pp. 1).
- Kuligowsky J. R., 2001. A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates. Journal of Hydrometeorology. Volume 3. Pp. 126-129.
- Levizzani V., Amorati R., Alberoni P. P., Nanni S. y Rizzi R., 1997. Satellite and radar analysis of convective precipitation in Northern Italy. MAP Newsletter. Pp. 7.
- López R. R. A., 2010. Programa de contingencias por inundaciones 2010. Dirección General de Protección Civil del Estado de Tabasco. Tabasco, México. Pp.2.
- Rubio G. H. y Triana R. C., 2006. Gestión Integrada de crecientes caso de estudio México: Río Grijalva. Programa Asociado de Gestión de Crecientes. Organización Meteorológica Mundial. Global Water Partnership. Pp. 1-15.
- Ravelo A. C. y Santa A. J., 2000. Estimación de las precipitaciones utilizando información satelital y terrestre en la provincia de Córdoba (Argentina). Agriscientia. Vol. XVII: 21-27.
- Ronsengaus M. M., 1995. Fundamentos de radares meteorológicos: aspectos clásicos (primera de dos partes). Ingeniería Hidráulica en México. Vol. X. Núm. 1. Pp. 55-74.
- Scofield, R. A., 1987. The NESDIS operational convective precipitation estimation technique. Mon. Wea. Rev., 115, 1773-1792.
- Scofield, R. A., and Kuligowski R. J., 2003. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. Weather and Forecasting. Volume 18. Pp. 1037-1051.0
- Segura B., Lagos P. y Takahashi K., 2002. Diseño de un modelo de pronóstico de crecidas en la Subcuenca del Río Shullcas, Perú. Instituto Geofísico del Perú. University of Washington. Pp. 1-4.
- Segura C. B., Mosquera V. K., Silva V. Y., 2006. Monthly and annual average of the precipitation for the Mantaro river basin from images of GOES satellite. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO), 8., 2006, Foz do Iguaçu. Proceedings.. São José dos Campos: INPE, 2006, p. 1175-1180. CD-ROM. ISBN 85-17-00023-4.

- SHCP- SEMARNAT, 2009. La Economía del cambio climático en México. Síntesis. México, Distrito Federal. Pp (1-81).
- SEGOB-CENAPRED, 2009. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2007. No. 9. Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México. México, Distrito Federal.
- Stern N., 2006. Stern Review: La Economía del Cambio Climático. HMTreasury.
- Scofield A. R. y Kuligowsky J. R., 2003. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events.
- Tarruela J. y Jorge J., 2001. Estimación de lluvias sólo con imágenes infrarrojas. Comparativa entre versiones originales. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global. Pp. 388-391.
- Tucci, C. M. E., y Collischonn W., 2006. Predicción de crecidas. Boletín de la OMM 55(3)- Julio de 2006. 179-184.
- United Nations & The World Bank, 2010. Natural Hazards, UnNatural Disasters. The economics of effective Prevention. Overview. (pp 1-50).
- Vicente, G. A., R. A. Scofield, and Menzel W. P., 1998. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79. Pp. 1883- 1898.
- Vieux E.B., Vieux E. J., 2001. Vflotm. Un modelo hidrológico distribuido a tiempo real. Norman, OK. USA. Pp 1-7.
- Vila A. D., Scofield A. R., Kuligowski J. R., y Davenport C. J., 2003. Satellite rainfall estimation over South America: Evaluation of two major events. U.S. Department of Commerce. NOAA. NESDIS. Pp. 1-14.

**PÁGINAS
INTERNET
CONSULTADAS**

<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/HydroEst.php>

<http://ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/spanish.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

<http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php>

ACRÓNIMOS

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CLICOM: CLIma COMputarizado.

EUA: Estados Unidos de Norteamérica.

GASIR: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.

GOES: Geostationary Operational Environmental Satellite.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

RADAR: Radio Detection and Ranging.

SMN: Servicio Meteorológico Nacional.

TIROS: Television Infrared Observation Satellite.

ANEXO A

Características de estaciones climatológicas 2004

Estación	Cve_CLICOM	Lat	Long
1	4029	18.90	-91.20
2	4007	18.65	-91.76
3	4010	18.60	-90.74
4	27084	18.13	-93.00
5	27039	17.98	-93.29
6	SC	18.04	-92.81
7	27060	17.98	-93.00
8	27083	17.98	-92.93
9	27044	17.98	-92.92
10	27019	17.99	-92.82
11	4024	18.13	-92.09
12	27008	17.81	-93.41
13	27037	17.85	-92.88
14	4004	18.18	-91.05
15	SC	17.75	-93.02
16	27030	17.77	-92.60
17	7130	17.58	-93.39
18	27044	17.57	-92.97
19	SC	17.50	-93.10
20	27012	17.75	-91.75
21	7106	17.41	-93.45
22	7158	17.42	-93.38
23	SC	17.35	-93.55
24	7141	17.57	-92.35
25	27040	17.79	-91.16
26	27042	17.47	-92.82
27	27070	17.39	-92.75
28	7112	17.22	-93.58
29	7365	17.22	-93.16
30	7178	17.12	-93.33
31	27047	17.47	-91.43
32	27004	17.43	-91.48
33	7315	17.26	-92.15
34	7035	16.93	-93.10
35	7156	16.94	-92.82
36	7123	16.77	-93.45
37	7102	16.70	-93.56
38	SC	16.76	-93.10
39	7165	16.75	-93.13
40	SC	16.75	-93.12

Estación	Cve_CLICOM	Lat	Long
41	SC	16.72	-93.07
42	7087	16.75	-92.63
43	SC	16.74	-92.62
44	7039	16.64	-93.15
45	7144	16.73	-92.63
46	7069	16.64	-93.12
47	7003	16.55	-92.80
48	7086	16.45	-92.76
49	7013	16.24	-93.90
50	SC	16.23	-93.90
51	7236	16.16	-93.75
52	7175	16.23	-93.27
53	7329	16.31	-92.48
54	7168	16.09	-93.75
55	7205	16.25	-92.13
56	7337	16.42	-90.90
57	7025	16.20	-92.10
58	7228	15.88	-93.53
59	7226	15.92	-92.67
60	7180	15.87	-92.72
61	7129	15.69	-93.22
62	7135	15.85	-91.97
63	7230	15.77	-92.24
64	7224	15.75	-92.28
65	7157	15.77	-92.11
66	7009	15.78	-91.91
67	7113	15.45	-92.88
68	7053	15.32	-92.67
69	SC	16.83	-92.95
70	SC	16.49	-93.22
71	7128	17.61	-92.12
72	SC	18.92	-90.62
73	7319	16.87	-93.20
74	7390	15.35	-92.72
75	27061	17.57	-92.94
76	SC	15.88	-93.47
77	27056	17.81	-91.54
78	7192	16.90	-92.10
79	7352	15.74	-93.30
80	27028	18.09	-92.14

SC: Sin clave

ANEXO B

**Características de
estaciones climatológicas
2006, 2007 y 2008.**

Estaciones CLICOM en las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
1	4010	Escárcega (SMN)	Escárcega	Campeche	80
2	4015	Isla Aguada	Carmen	Campeche	1
3	4024	Palizada	Palizada	Campeche	4
4	4025	Palmar De Vista Alegre	Palizada	Campeche	3
5	4029	Sabancuy	Carmen	Campeche	5
6	4030	San Isidro	Carmen	Campeche	82
7	4042	Escárcega (DGE)	Escárcega	Campeche	85
8	4054	Chicbul	Carmen	Campeche	25
9	4055	Campo Experimental El Tormento	Escárcega	Campeche	50
10	4056	Molino Chumpan	Palizada	Campeche	10
11	4079	Vista Alegre	Carmen	Campeche	10
12	4086	El Zapote	Carmen	Campeche	10
13	7001	Abasolo Chiapas (CFE)	Ocosingo	Chiapas	1,600
14	7002	Abelardo L. Rodriguez	Comitán De Domínguez	Chiapas	1,775
15	7003	Acala	Acala	Chiapas	420
16	7004	Agua Azul	Ocosingo	Chiapas	126
17	7005	Almandro (CFE)	Huitiupan	Chiapas	220
18	7006	Altamirano (SMN)	Altamirano	Chiapas	1,240
19	7007	Amatenango Del Valle	Teopisca	Chiapas	1,750
20	7008	Angel Albino Corzo	Angel Albino Corzo	Chiapas	640
21	7009	Aquespala	Frontera Comalapa	Chiapas	617
22	7010	Arco De Piedra	Venustiano Carranza	Chiapas	450
23	7011	Argelia	Chicomuselo	Chiapas	660
24	7015	Bochil	Bochil	Chiapas	1,200
25	7016	Bombana (CFE)	Soyalo	Chiapas	614
26	7017	Bonampak	Ocosingo	Chiapas	260
27	7020	Vertedor 1-2-3	Tecpatan	Chiapas	220
28	7021	Catarinitas	La Concordia	Chiapas	650
29	7022	Playas De Catazaja	Catazaja	Chiapas	10
30	7023	Cintalapa (SMN)	Cintalapa	Chiapas	520
31	7024	Comalapa (CFE)	Bellavista	Chiapas	581
32	7025	Comitan (OBS)	Comitán De Domínguez	Chiapas	1,606
33	7026	Cuauhtemoc (CFE)	Frontera Comalapa	Chiapas	680
34	7027	Copainala	Copainala	Chiapas	910
35	7028	Chacamax	Palenque	Chiapas	18

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
36	7029	Chajul	Ocosingo	Chiapas	299
37	7030	San Juan Chamula	Chamula	Chiapas	2,300
38	7031	Chanal	Chanal	Chiapas	2,030
39	7032	Chapultenango	Chapultenango	Chiapas	1,600
40	7033	San Pedro Chenalho (SMN)	Chenalho	Chiapas	1,600
41	7034	Villa De Chiapilla	Chiapilla	Chiapas	550
42	7035	Chicoasen (CFE)	Chicoasen	Chiapas	405
43	7036	Chilil	Huixtan	Chiapas	2,266
44	7037	Finca Cuxtepeques	La Concordia	Chiapas	1,000
45	7039	El Boqueron	Suchiapa	Chiapas	500
46	7040	El Burrero	Ixtapa	Chiapas	1,230
47	7041	El Caliente (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	400
48	7042	El Carmen (CFE)	Ocosingo	Chiapas	520
49	7043	El Cedro	Ocosingo	Chiapas	400
50	7044	El Colorado (CFE)	Ocosingo	Chiapas	370
51	7046	El Euseba (CFE)	Tenejapa	Chiapas	200
52	7047	El Jabali (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	360
53	7050	El Progreso	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	781
54	7051	El Rosario (CFE)	Ocosingo	Chiapas	985
55	7052	El Zapotal (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	500
56	7054	Finca A. Prusia	Angel Albino Corzo	Chiapas	1,040
57	7055	Finca Chayabe	Las Margaritas	Chiapas	1,596
58	7062	Finca La Soledad	Las Margaritas	Chiapas	900
59	7063	Finca Liquidambar	Angel Albino Corzo	Chiapas	1,042
60	7064	Finca Morelia	Tila	Chiapas	835
61	7065	Finca Ocotlán	Villaflores	Chiapas	650
62	7067	Frontera Amatenango	Amatenango De La Frontera	Chiapas	850
63	7069	Grijalva	Chicoasen	Chiapas	260
64	7070	Guadalupe Grijalva	Frontera Comalapa	Chiapas	540
65	7071	Guaquitepec	Chilon	Chiapas	1,040
66	7076	Huixtan (CFE)	Huixtan	Chiapas	1,950
67	7081	Ixcán	Ocosingo	Chiapas	299
68	7082	Ixtacomitan	Ixtacomitán	Chiapas	150
69	7083	Ixtapa	Ixtapa	Chiapas	425
70	7085	Palenque (DGE)	Palenque	Chiapas	60
71	7086	La Angostura (CFE)	Acala	Chiapas	500
72	7087	La Cabana	San Cristóbal De Las Casas	Chiapas	2,113

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
73	7088	La Canja	Ocosingo	Chiapas	189
74	7089	La Catarata (CFE)	Tenejapa	Chiapas	200
75	7090	La Concordia (DGE)	La Concordia	Chiapas	450
76	7091	La Escalera	Chiapa De Corzo	Chiapas	485
77	7093	La Libertad	Jiquipilas	Chiapas	520
78	7094	La Mesilla	Tzimol	Chiapas	560
79	7096	La Pimienta (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	1,120
80	7097	La Providencia	Cintalapa	Chiapas	670
81	7099	Zapaluta	La Trinitaria	Chiapas	720
82	7100	La Union	Cintalapa	Chiapas	580
83	7101	Las Delicias (CFE)	La Trinitaria	Chiapas	900
84	7102	Las Flores li	Jiquipilas	Chiapas	480
85	7103	Las Limas (CFE)	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	800
86	7104	Las Margaritas	Las Margaritas	Chiapas	1,512
87	7105	Las Nubes	Salto De Agua	Chiapas	280
88	7106	Las Penitas	Ostuacan	Chiapas	110
89	7107	Las Tazas (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	600
90	7108	Livingston (CFE)	Altamirano	Chiapas	1,200
91	7109	Los Arcos	San Cristóbal De Las Casas	Chiapas	2,113
92	7111	Los Vados	La Concordia	Chiapas	510
93	7112	Malpaso li	Tecpatán	Chiapas	398
94	7114	Yaquintela	Ocosingo	Chiapas	650
95	7118	Miramar (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	950
96	7119	Motozintla (SMN)	Motozintla	Chiapas	1,260
97	7120	Nezahualcoyotl	Tecpatán	Chiapas	192
98	7121	Nueva Esperanza	Ocosingo	Chiapas	436
99	7122	Ocosingo	Ocosingo	Chiapas	865
100	7123	Ocozocoautla	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	838
101	7124	Ostional	Ocosingo	Chiapas	101
102	7125	Oxchuc	Oxchuc	Chiapas	1,987
103	7126	Palenque (SMN)	Palenque	Chiapas	60
104	7127	Paso Del Soldado (CFE)	La Trinitaria	Chiapas	1,640
105	7128	Pichucalco (SMN)	Pichucalco	Chiapas	50
106	7130	Platanar De Arriba	Pichucalco	Chiapas	120
107	7132	Portaceli	Villaflores	Chiapas	780
108	7133	Presa Nezahualcoyotl (CFE)	Tecpatán	Chiapas	200
109	7134	Puente Colgante	Chiapa De Corzo	Chiapas	418

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
110	7135	Puente Concordia (CFE)	Frontera Comalapa	Chiapas	582
111	7137	Pujiltic	Venustiano Carranza	Chiapas	600
112	7138	Reforma I	Reforma	Chiapas	20
113	7139	Rio Blanco (CFE)	Venustiano Carranza	Chiapas	650
114	7140	Sabana	Salto De Agua	Chiapas	20
115	7141	Salto De Agua (DGE)	Salto De Agua	Chiapas	10
116	7142	San Antonio	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	780
117	7143	San Clemente	Jiquipilas	Chiapas	840
118	7144	San Cristobal De Las Casas (OBS)	San Cristóbal De Las Casas	Chiapas	2,115
119	7145	San Francisco	La Concordia	Chiapas	540
120	7147	San Joaquin	Pichucalco	Chiapas	21
121	7148	San Juan	San Fernando	Chiapas	910
122	7149	San Pedro Chenalho (DGE)	Chenalho	Chiapas	1,480
123	7150	San Pedro Chiapas	Villa Corzo	Chiapas	599
124	7151	San Quintin (CFE)	Ocosingo	Chiapas	200
125	7152	Santa Cecilia (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	530
126	7153	Santa Cruz	Reforma	Chiapas	30
127	7154	Santa Elena (CFE)	Las Margaritas	Chiapas	720
128	7155	Santa Isabel	La Concordia	Chiapas	570
129	7156	Santa Maria	Cintalapa	Chiapas	220
130	7158	Sayula	Ostucán	Chiapas	180
131	7159	Siltepec	Siltepec	Chiapas	1,580
132	7160	Simojovel (DGE)	Simojovel	Chiapas	660
133	7161	Socoltenango (CFE)	Socoltenango	Chiapas	830
134	7162	Soyalo (CFE)	Soyalo	Chiapas	1,140
135	7165	Tuxtla Gutierrez (OBS)	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	570
136	7167	Tapilula	Tapilula	Chiapas	780
137	7169	Tumbala (CFE)	Tumbala	Chiapas	1,350
138	7170	Tzimbac	Francisco León	Chiapas	740
139	7171	Tzimol (CFE)	Tzimol	Chiapas	660
140	7173	Venustiano Carranza (CFE)	Venustiano Carranza	Chiapas	780
141	7174	Villa Corso (CFE)	Villa Corzo	Chiapas	600
142	7175	Villaflores (SMN)	Villaflores	Chiapas	631
143	7176	Tuxtla Gutierrez (CFE)	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	532
144	7177	Yajalon (CFE)	Yajalon	Chiapas	660

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
145	7178	Yamonho	Tecpatán	Chiapas	280
146	7179	Altamirano (CFE)	Altamirano	Chiapas	1,250
147	7180	Jaltenango (CFE)	Angel Albino Corzo	Chiapas	640
148	7181	Arco De Piedra (CFE)	Venustiano Carranza	Chiapas	680
149	7183	Benito Juarez (CFE)	La Concordia	Chiapas	550
150	7184	Villa De Chiapilla (CFE)	Chiapilla	Chiapas	555
151	7186	Finca El Escalon	Amatan	Chiapas	680
152	7188	Ixtapa (CFE)	Ixtapa	Chiapas	1,085
153	7189	La Concordia (SMN)	La Concordia	Chiapas	450
154	7190	La Trinitaria (CFE)	La Trinitaria	Chiapas	1,540
155	7192	Ocosingo (CFE)	Ocosingo	Chiapas	900
156	7193	Pichucalco (DGE)	Pichucalco	Chiapas	50
157	7194	Rayon (CFE)	Raypón	Chiapas	1,340
158	7195	Sabanilla (CFE)	Sabanilla	Chiapas	300
159	7196	Salto De Agua (SMN)	Salto De Agua	Chiapas	10
160	7197	Santa Isabel (CFE)	La Concordia	Chiapas	570
161	7198	Simojovel (SMN)	Simojovel	Chiapas	660
162	7202	Tuxtla Gutierrez (DGE)	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	600
163	7203	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	Chiapas	790
164	7204	Villaflores (DGE)	Villaflores	Chiapas	631
165	7205	Comitan (DGE)	Comitan De Domínguez	Chiapas	1,630
166	7207	Larrazar	Larrazar	Chiapas	1,930
167	7209	Agua Verde	Chilón	Chiapas	1,240
168	7210	Finca Agua Azul (CFE)	Tumbala	Chiapas	260
169	7211	La Mesilla (CFE)	Socoltenango	Chiapas	620
170	7212	Zinacantan	Zinacantan	Chiapas	2,300
171	7215	Altamirano (DGE)	Altamirano	Chiapas	1,240
172	7216	Bajada Grande	Palenque	Chiapas	20
173	7217	Solosuchiapa	Solosuchiapa	Chiapas	165
174	7218	E.T.A. 012 Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	Chiapas	795
175	7219	Jiquipilas	Jiquipilas	Chiapas	540
176	7220	E.T.A. 259 Salto De Agua	Salto De Agua	Chiapas	20
177	7221	Cintalapa (DGE)	Cintalapa	Chiapas	520
178	7223	San Luis	Suchiapa	Chiapas	480
179	7224	Chicomuselo	Chicomuselo	Chiapas	550
180	7226	Reforma li	La Concordia	Chiapas	700
181	7229	Santo Domingo (CFE)	Chiapa De Corzo	Chiapas	500

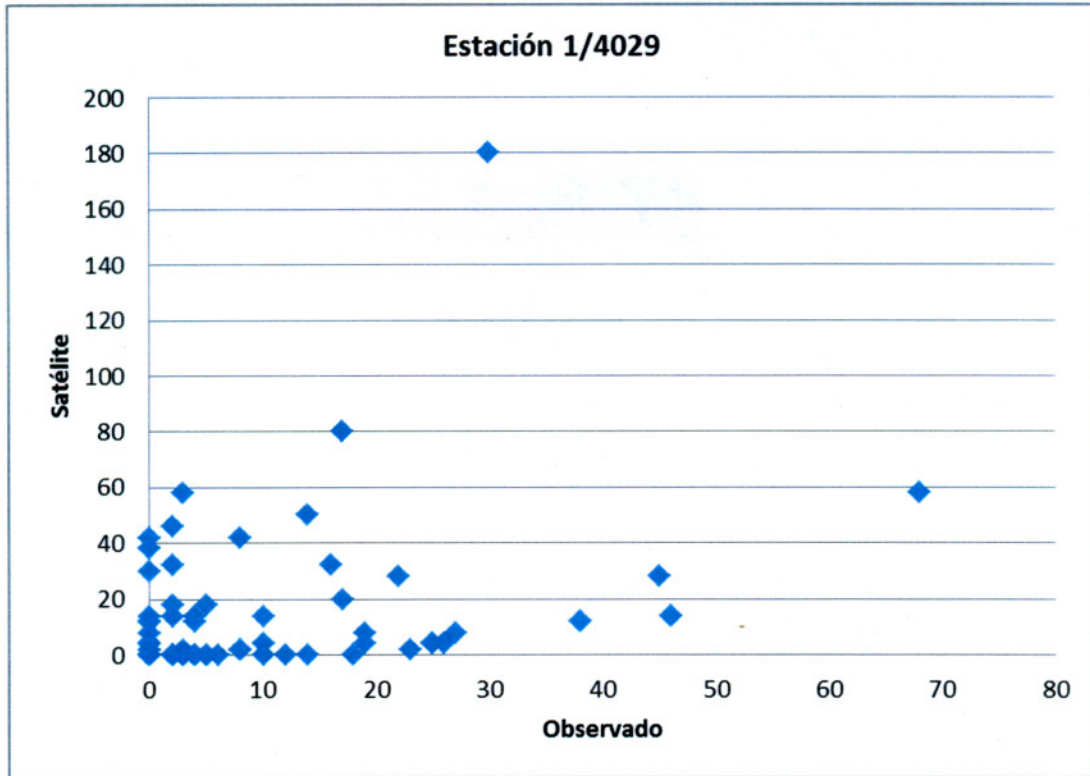
No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
182	7230	San Miguel (CFE)	Chicomuselo	Chiapas	657
183	7231	Tziscaco (CFE)	La Trinitaria	Chiapas	1,475
184	7233	Tiltepec	Jiquipilas	Chiapas	680
185	7236	Revolución Mexicana	Villa Corzo	Chiapas	540
186	7237	Guerrero	Villa Corzo	Chiapas	540
187	7238	El Sabinal	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	498
188	7315	Paso Del Cayuco (CFE)	Chilón	Chiapas	295
189	7316	El Ambar De Echeverría	La Concordia	Chiapas	550
190	7319	San Fernando	San Fernando	Chiapas	900
191	7324	Chacte (CFE)	San Juan Cancuc	Chiapas	1,140
192	7325	Las Ollas	Chamula	Chiapas	2,500
193	7327	Ursulo Galván	Villaflores	Chiapas	700
194	7329	Cascajal	Venustiano Carranza	Chiapas	650
195	7330	Soyatitan	Venustiano Carranza	Chiapas	760
196	7331	Villa Las Rosas	Las Rosas	Chiapas	1,300
197	7332	Cristobal Obregón	Villaflores	Chiapas	670
198	7333	Buenos Aires	Motozintla	Chiapas	1,720
199	7335	Querétaro	Angel Albino Corzo	Chiapas	665
200	7337	Lacantun (CFE)	Ocosingo	Chiapas	200
201	7339	El Porvenir	El Porvenir	Chiapas	2,730
202	7342	Benito Juárez	La Concordia	Chiapas	580
203	7343	Cauhtémoc	Ixtapa	Chiapas	1,050
204	7346	Finca Nueva Linda	La Concordia	Chiapas	1,180
205	7349	Monterrey	Villa Corzo	Chiapas	700
206	7350	Motozintla (DGE)	Motozintla	Chiapas	1,210
207	7351	El Parral	Angel Albino Corzo	Chiapas	640
208	7353	San Jose	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	800
209	7355	Unión Zaragoza	Jitotol	Chiapas	1,690
210	7356	Bachajon	Chilón	Chiapas	920
211	7357	San Juan De El Bosque	El Bosque	Chiapas	1,080
212	7358	Flores Magón	Venustiano Carranza	Chiapas	570
213	7359	Galeana	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	585
214	7360	Luis Espinosa	Tecpatán	Chiapas	400
215	7361	Paso Hondo	Frontera Comalapa	Chiapas	660
216	7362	Rosendo Salazar	Cintalapa	Chiapas	470

No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
217	7363	La Selva	Ocozocoautla De Espinosa	Chiapas	588
218	7364	El Azul O Negro	Las Margaritas	Chiapas	1,780
219	7365	Ocoatepec	Ocoatepec	Chiapas	1,400
220	7366	Grijalva (CFE)	Chicoasen	Chiapas	260
221	7367	Sayula (CFE)	Ostuacan	Chiapas	180
222	7368	Tortuguero (CFE)	Tecpatán	Chiapas	98
223	7369	Tzinbac (CFE)	Francisco León	Chiapas	740
224	7372	Berriozabal	Berriozabal	Chiapas	890
225	7373	Tzontehuitz	Chamula	Chiapas	2,800
226	7374	La Esperanza	La Trinitaria	Chiapas	1,500
227	7376	Francisco I. Madero	Cintalapa	Chiapas	465
228	7383	Nueva Palestina	Jiquipilas	Chiapas	450
229	7385	Pueblo Viejo	Cintalapa	Chiapas	680
230	7388	Santa Lucia	Jiquipilas	Chiapas	530
231	7389	Sitala	Sitala	Chiapas	1,100
232	7391	Yasha	Las Margaritas	Chiapas	1,625
233	7392	Zoomat	Chiapa De Corzo	Chiapas	420
234	7397	Presa Portillo	La Concordia	Chiapas	585
235	27001	Balancan De Domínguez (SMN)	Balancan	Tabasco	18
236	27004	Boca Del Cerro	Tenosique	Tabasco	40
237	27005	Boca Del Cerro (CFE)	Tenosique	Tabasco	27
238	27006	Buenavista	Balancan	Tabasco	50
239	27011	Dos Patrias	Tacotalpa	Tabasco	60
240	27012	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	Tabasco	26
241	27017	Huimanguillo (DGE)	Huimanguillo	Tabasco	19
242	27019	Jalapa	Jalapa	Tabasco	10
243	27021	Mactun	Balancan	Tabasco	14
244	27022	Macuspana Km. 262	Macuspana	Tabasco	20
245	27024	La Huasteca	Teapa	Tabasco	80
246	27025	Lázaro Cardenas	Macuspana	Tabasco	14
247	27027	Lomas Alegres	Tacotalpa	Tabasco	10
248	27028	Jonuta	Jonuta	Tabasco	14
249	27030	Macuspana (DGE)	Macuspana	Tabasco	10
250	27031	Macuspana (SMN)	Macuspana	Tabasco	10
251	27032	Mezcalapa	Huimanguillo	Tabasco	30
252	27035	Paredón	Huimanguillo	Tabasco	10
253	27040	San Pedro	Balancan	Tabasco	36
254	27042	Tapijulapa	Tacotalpa	Tabasco	40

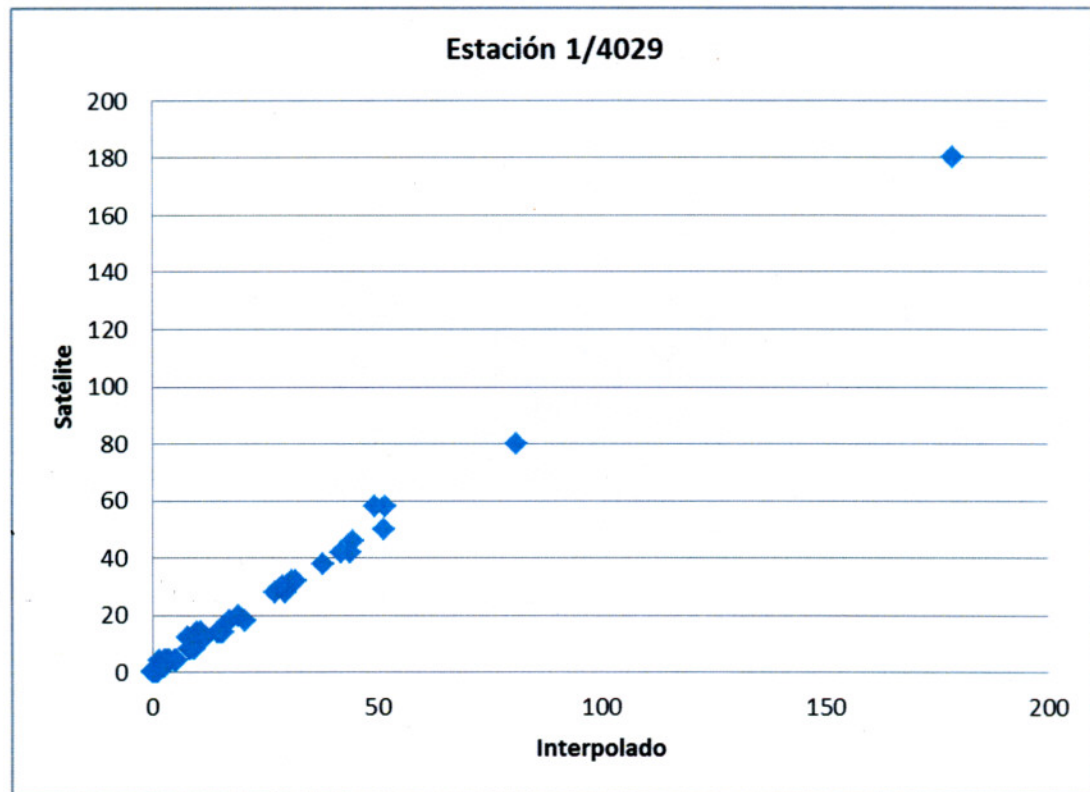
No	CVE_CLICOM	Nombre	Municipio	Estado	Altitud (msnm)
255	27043	Tacotalpa	Tacotalpa	Tabasco	60
256	27044	Teapa (DGE)	Teapa	Tabasco	40
257	27045	Teapa (SMN)	Teapa	Tabasco	50
258	27046	Tenosique (DGE)	Tenosique	Tabasco	60
259	27047	Tenosique (SMN)	Tenosique	Tabasco	20
260	27048	Tepetitán	Macuspana	Tabasco	7
261	27049	Tequila	Jalapa	Tabasco	12
262	27050	Tres Brazos	Centla	Tabasco	30
263	27056	Balancan De Domínguez (DGE)	Balancan	Tabasco	30
264	27059	El Triunfo	Balancan	Tabasco	60
265	27061	Puyacatengo	Teapa	Tabasco	86
266	27063	Apatzingán	Balancan	Tabasco	50
267	27064	Cuauhtémoc	Balancan	Tabasco	40
268	27066	El Martillo	Tenosique	Tabasco	40
269	27067	E.T.A. 063 Benito Juárez	Macuspana	Tabasco	20
270	27068	Campo Exp. Puyacatengo	Teapa	Tabasco	100
271	27069	Chable	Emiliano Zapata	Tabasco	10
272	27070	Oxolotan	Tacotalpa	Tabasco	50
273	27071	Aquiles Serdán	Macuspana	Tabasco	58
274	27072	E.T.A. 429 Huimanguillo	Huimanguillo	Tabasco	20
275	27081	Presidente Valentín Gómez Farías	Jalapa	Tabasco	55
276	27082	Ejido Cortijo	Tenosique	Tabasco	30
277	27086	Chalco Ganadero	Balancan	Tabasco	10
278	27087	La Huleria	Balancan	Tabasco	47
279	27088	La T	Balancan	Tabasco	40
280	27089	Jose Colomo	Macuspana	Tabasco	3
281	27090	El Pipila	Balancan	Tabasco	8
282	27091	Playa Larga	Jonuta	Tabasco	5
283	27092	Playas Del Rosario	Centro	Tabasco	16
284	27093	San Elpidio	Balancan	Tabasco	14

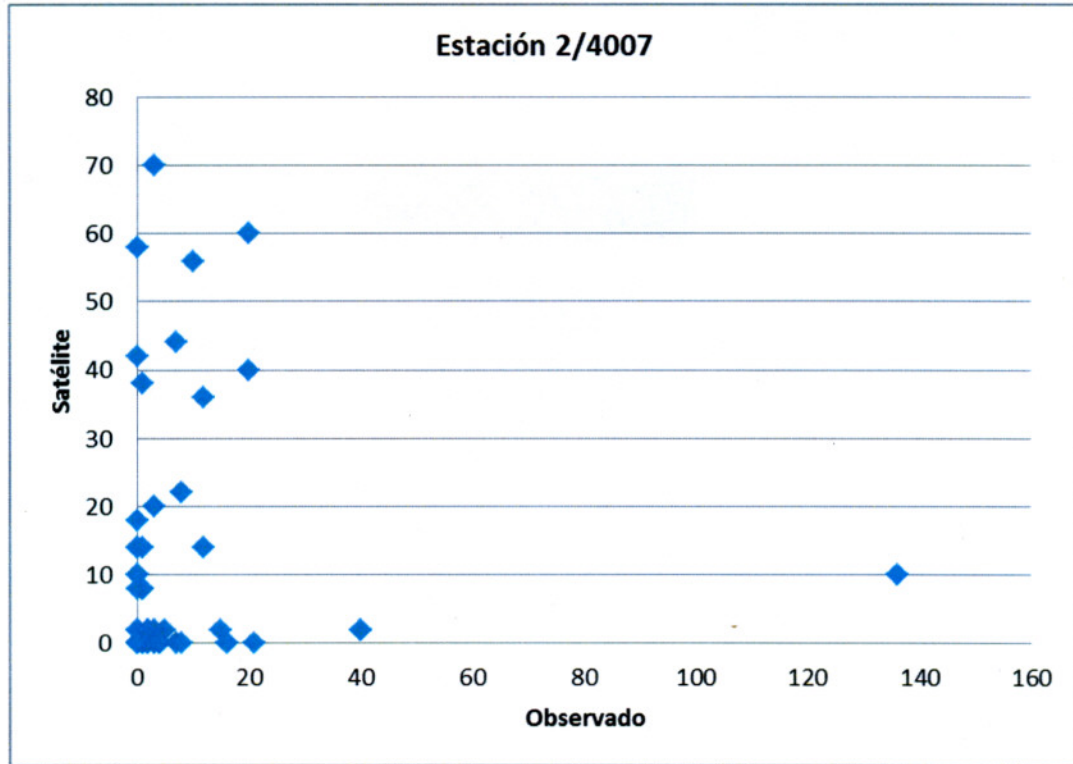
ANEXO C

Gráficas de dispersión estaciones climatológicas 2004

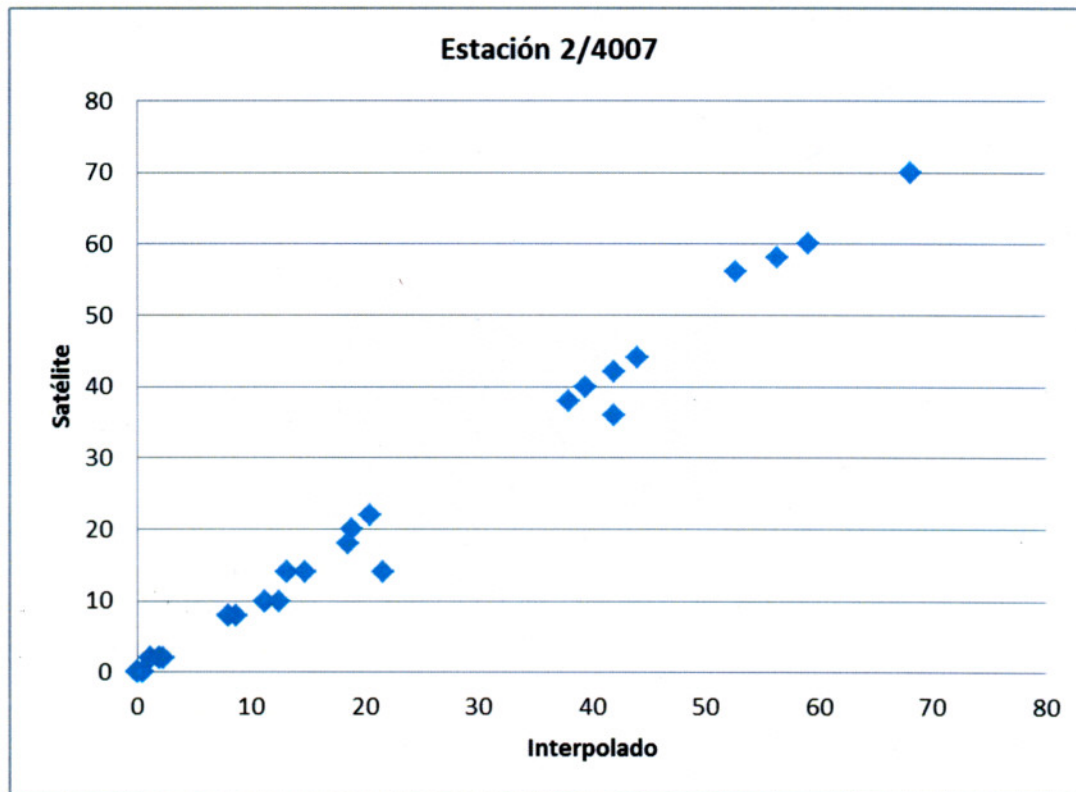


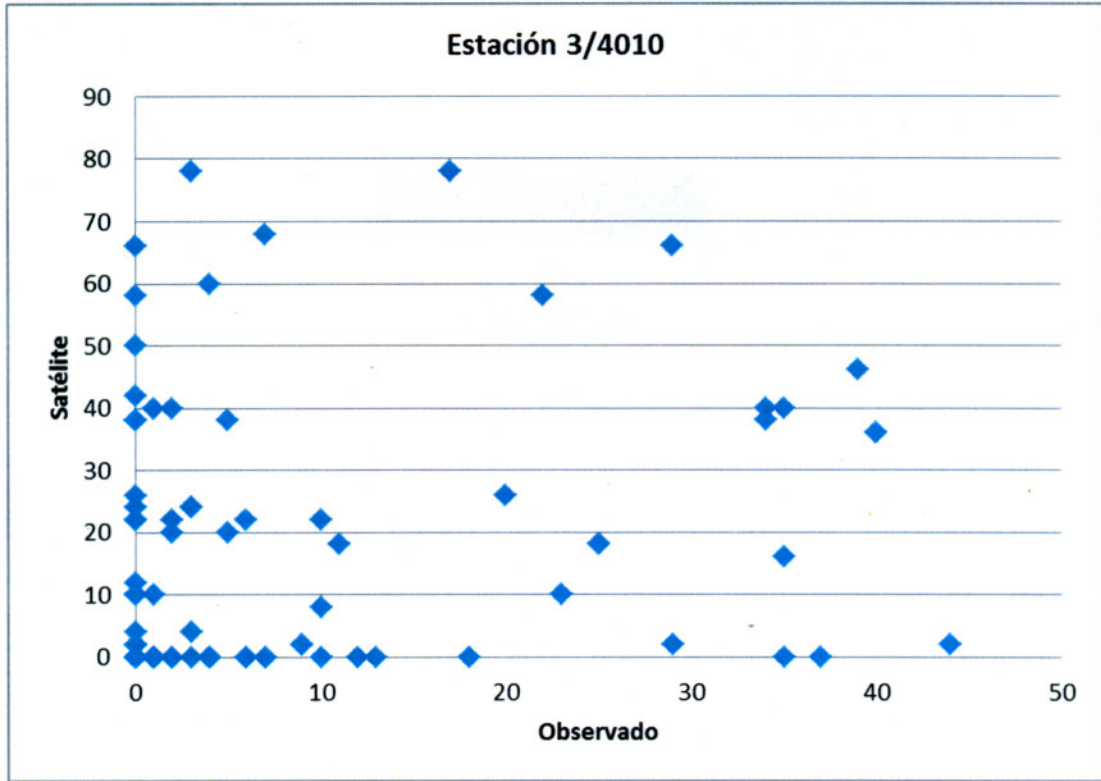
Gráfica 19. Diagrama de dispersión "satélite vs observado", estación "Sabancuy".



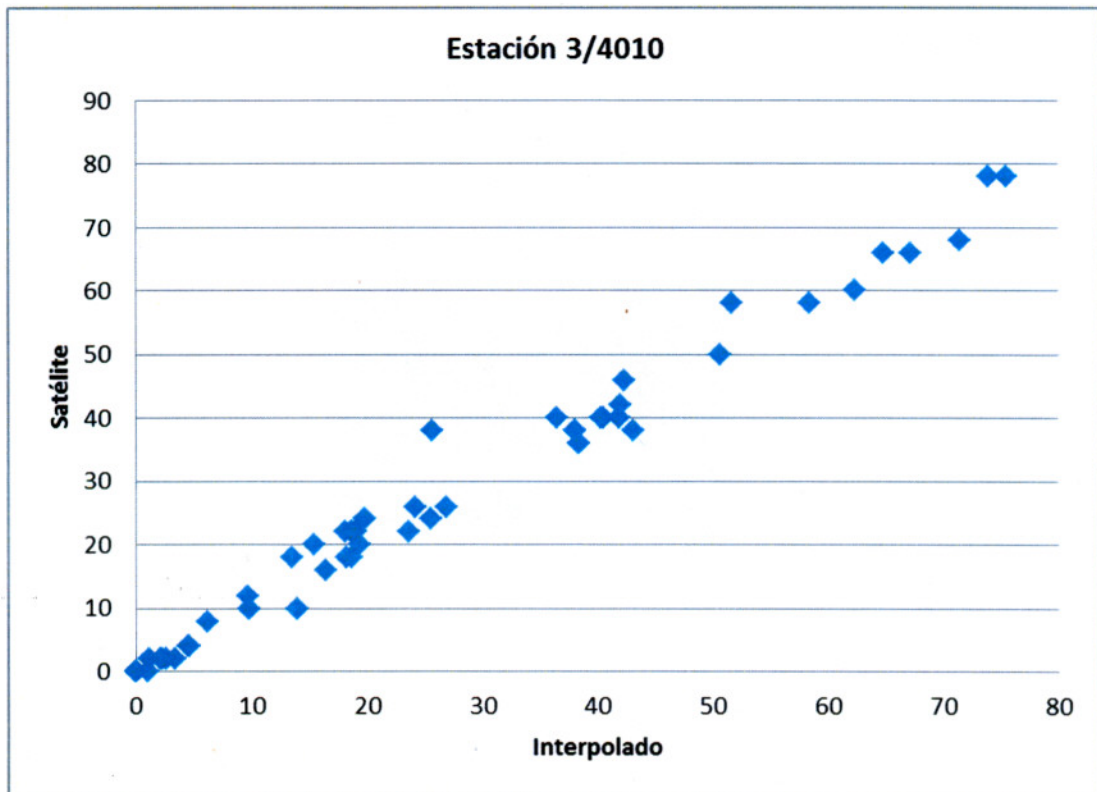


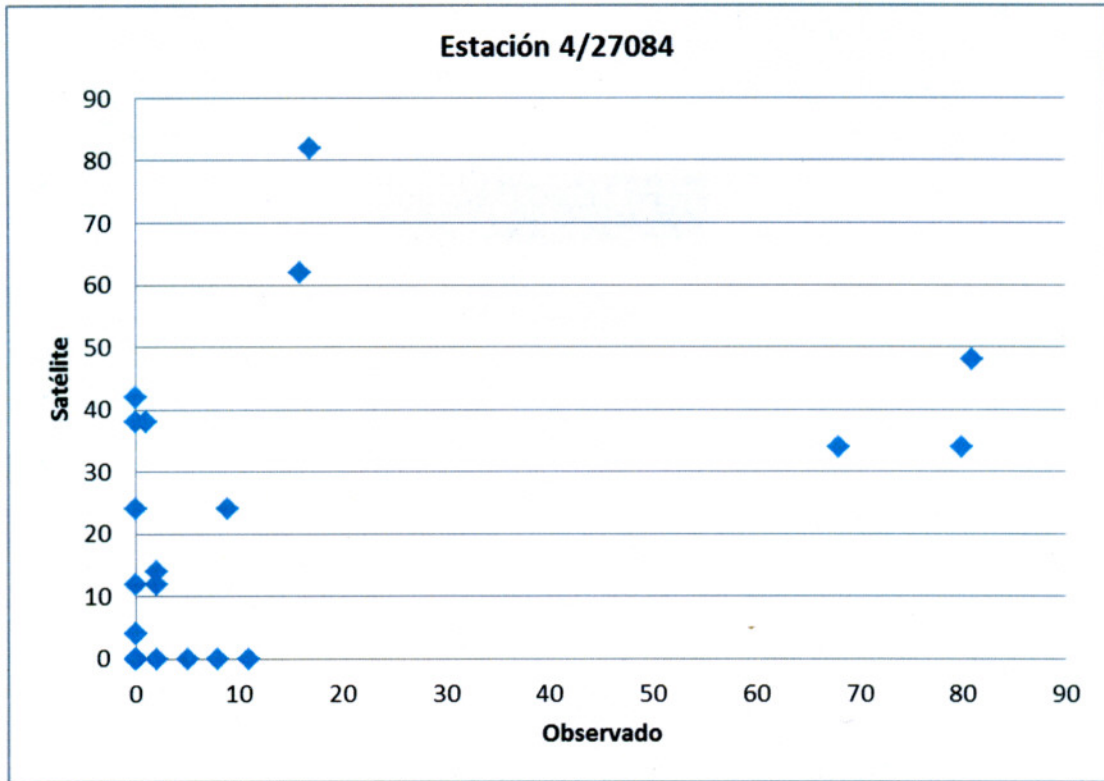
Gráfica 21. Diagrama de dispersión "satélite vs observado", estación "El Carmen".



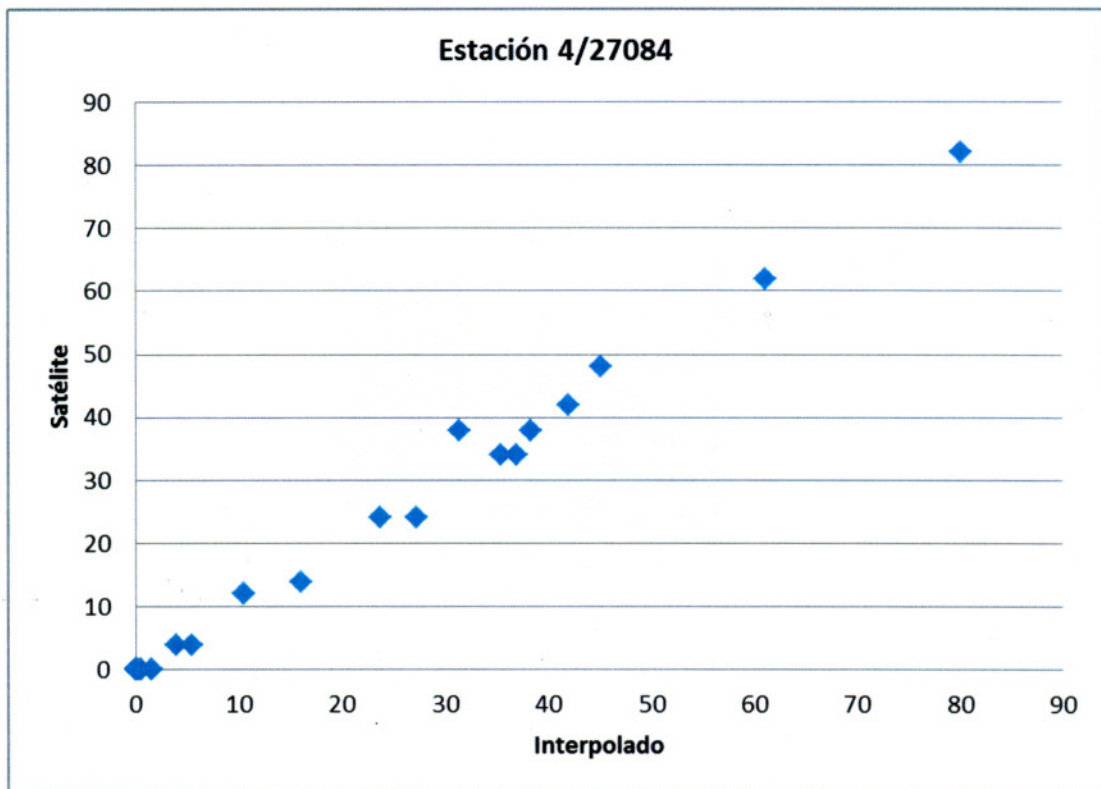


Gráfica 23. Diagrama de dispersión "satélite vs observado", estación "Escárcega".





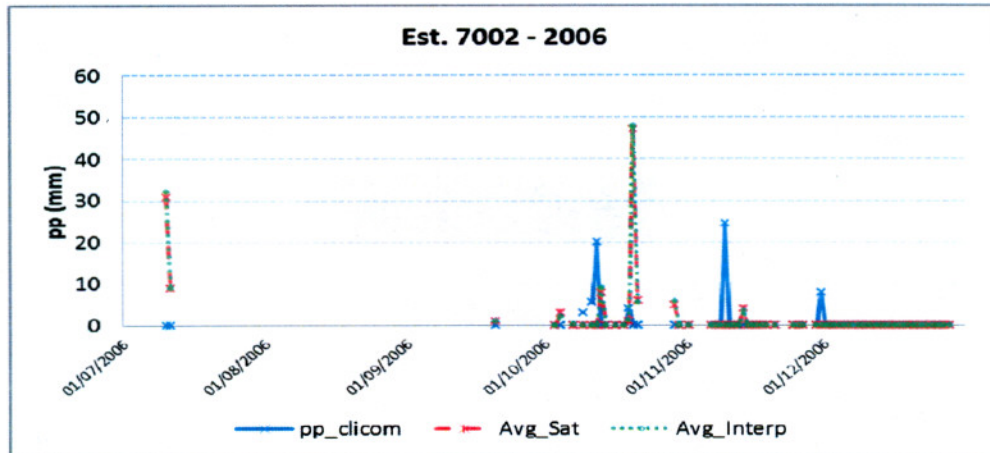
Gráfica 25. Diagrama de dispersión "satélite vs observado", estación "Nacajuca".



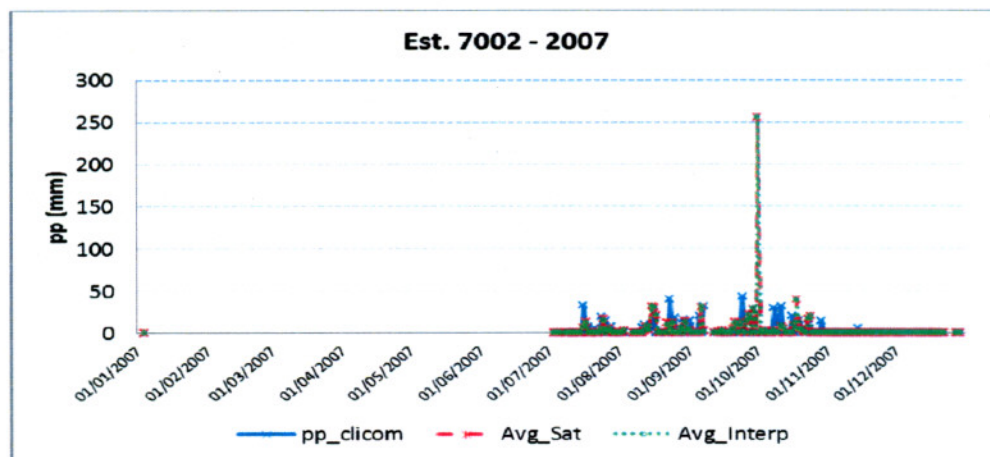
Gráfica 26. Diagrama de dispersión "satélite vs interpolado", estación "Nacajuca".

ANEXO D

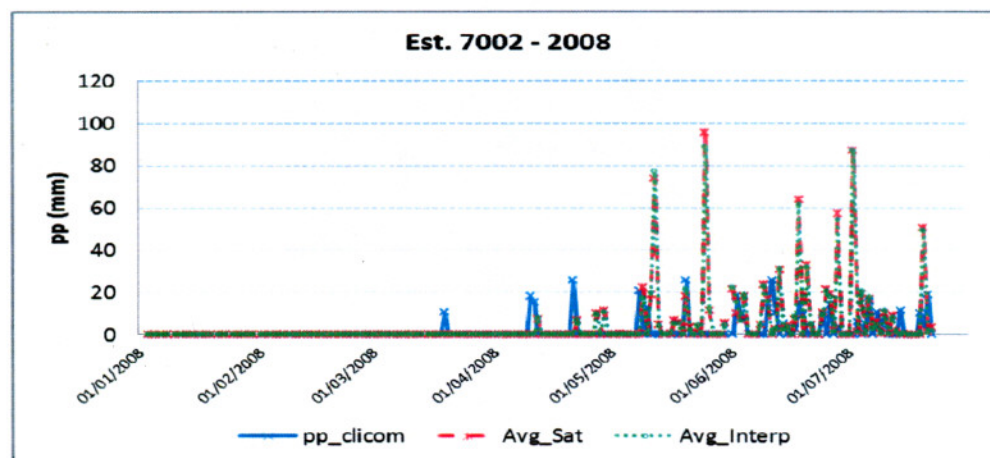
Pluviogramas de estaciones climatológicas 2006, 2007 y 2008



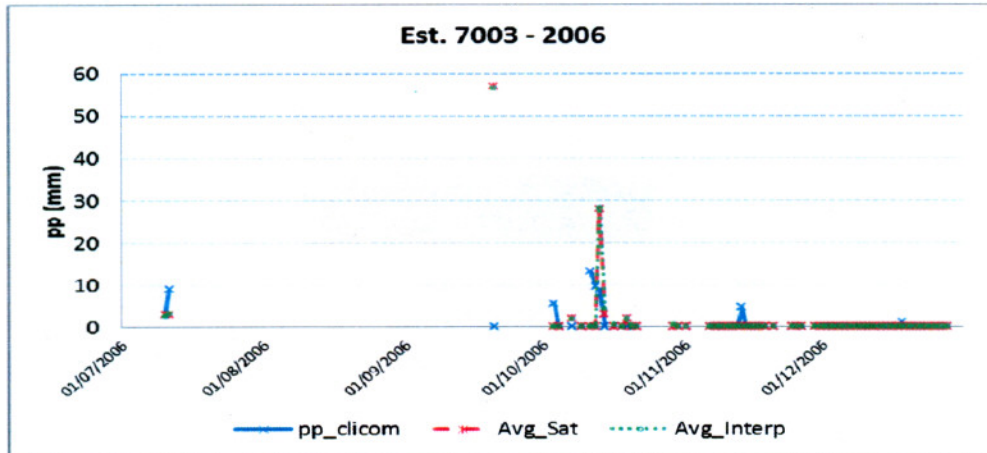
Gráfica 27. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7002 para el año 2006



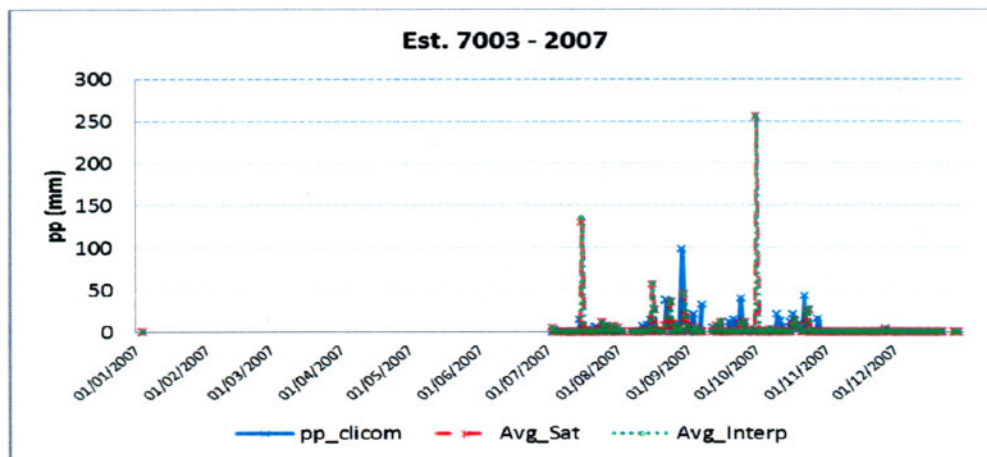
Gráfica 28. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7002 para el año 2007



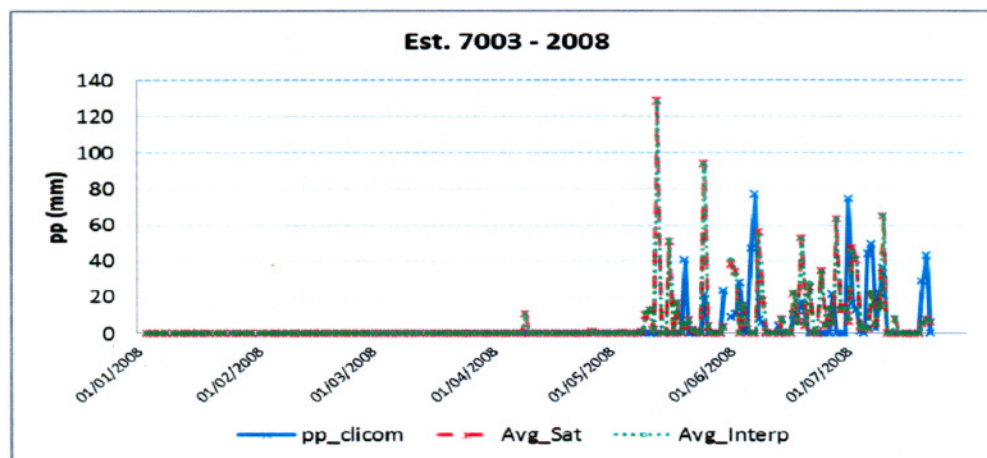
Gráfica 29. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7002 para el año 2008



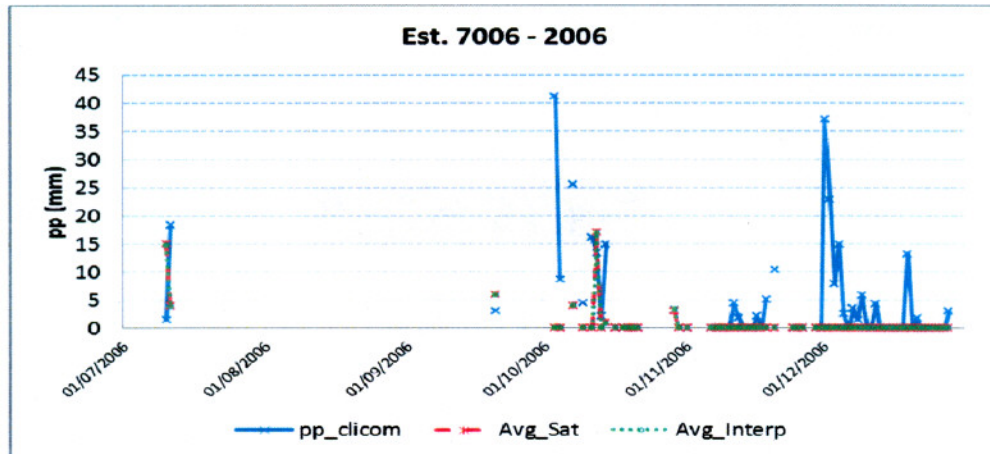
Gráfica 30. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7003 para el año 2006



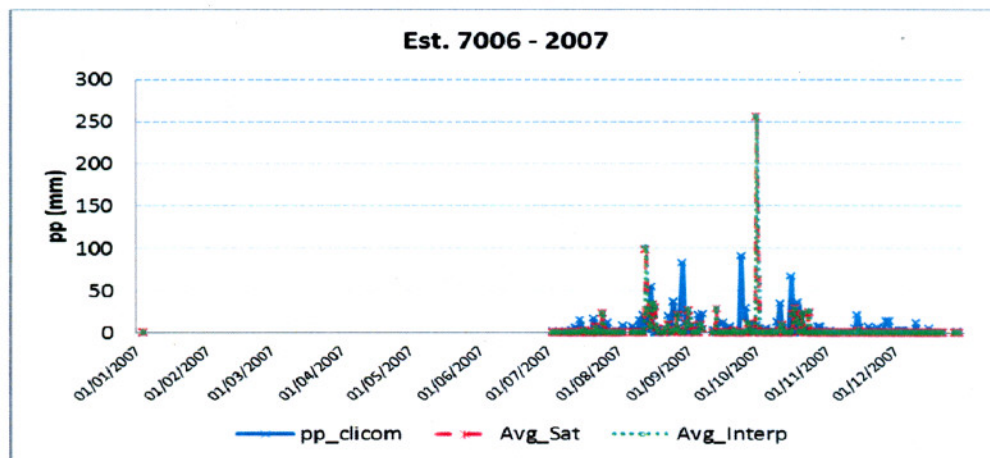
Gráfica 31. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7003 para el año 2007



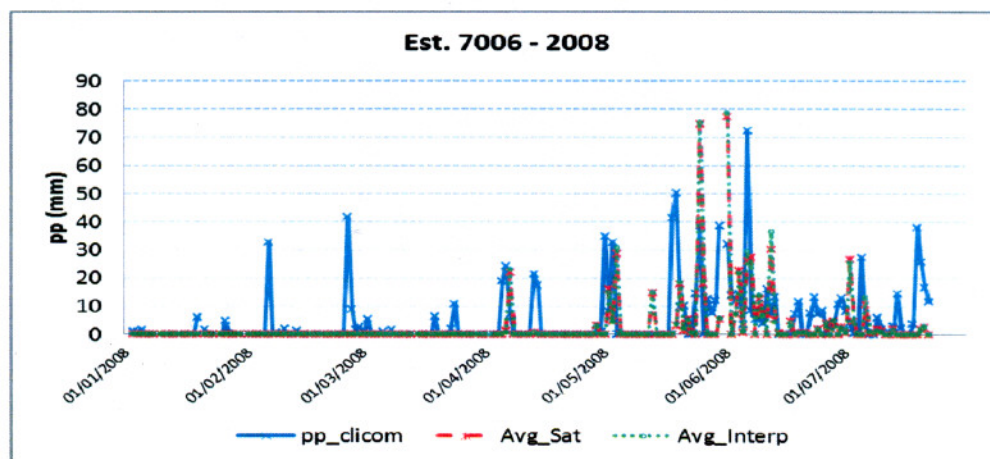
Gráfica 32. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7003 para el año 2008



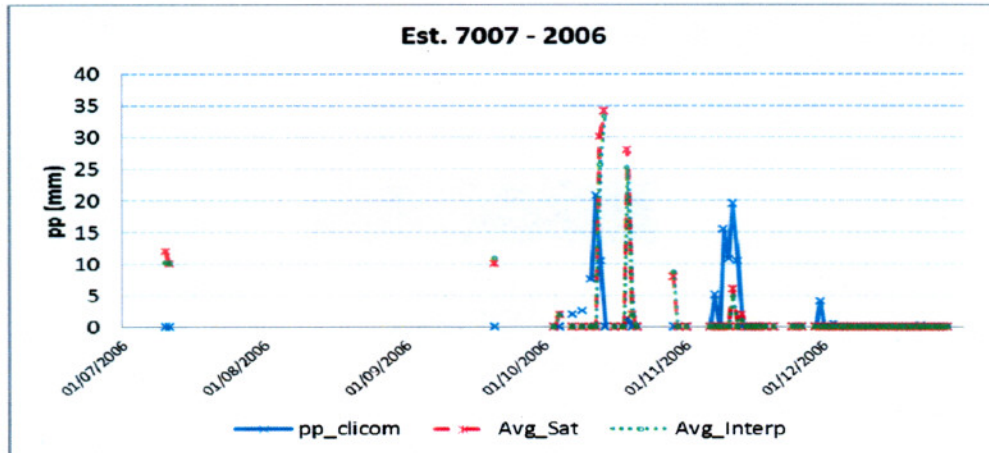
Gráfica 33. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7006 para el año 2006



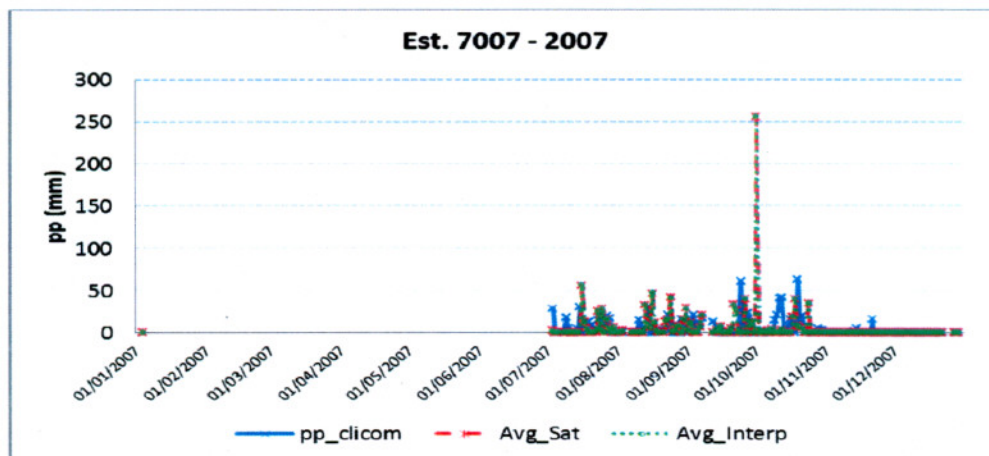
Gráfica 34. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7006 para el año 2007



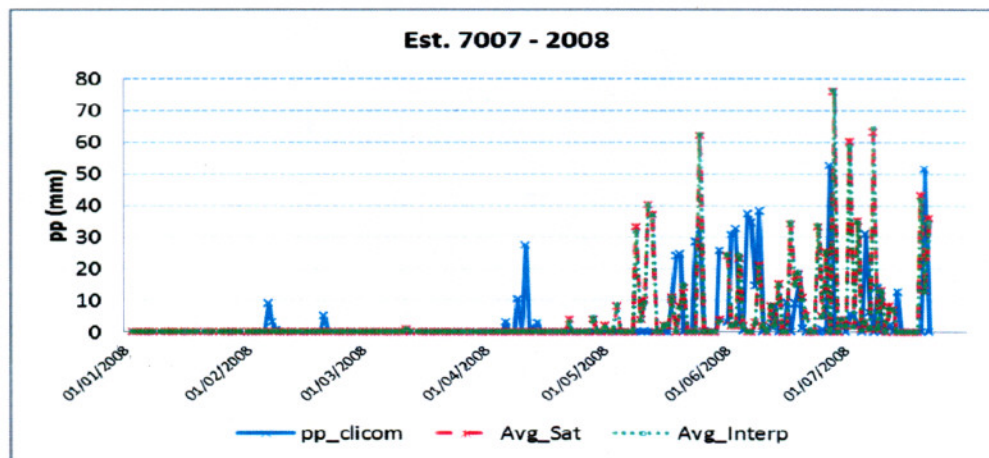
Gráfica 35. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7006 para el año 2008



Gráfica 36. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7007 para el año 2006



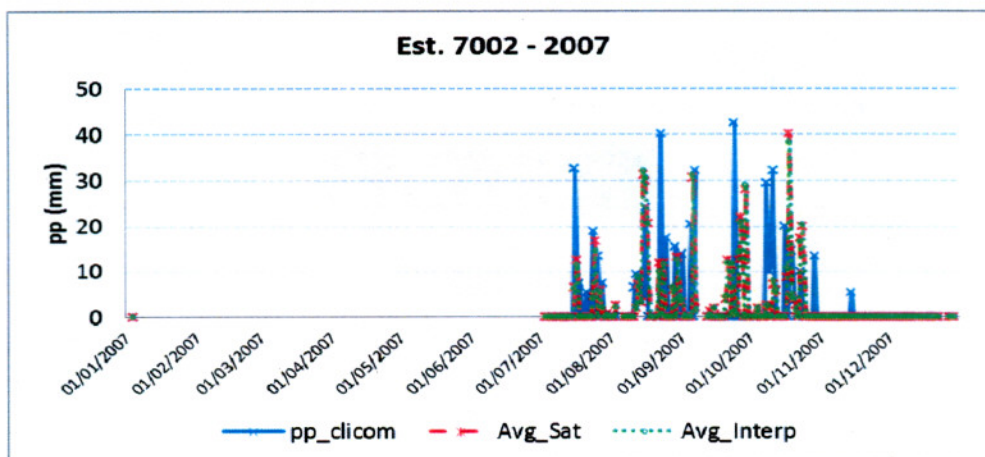
Gráfica 37. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7007 para el año 2007



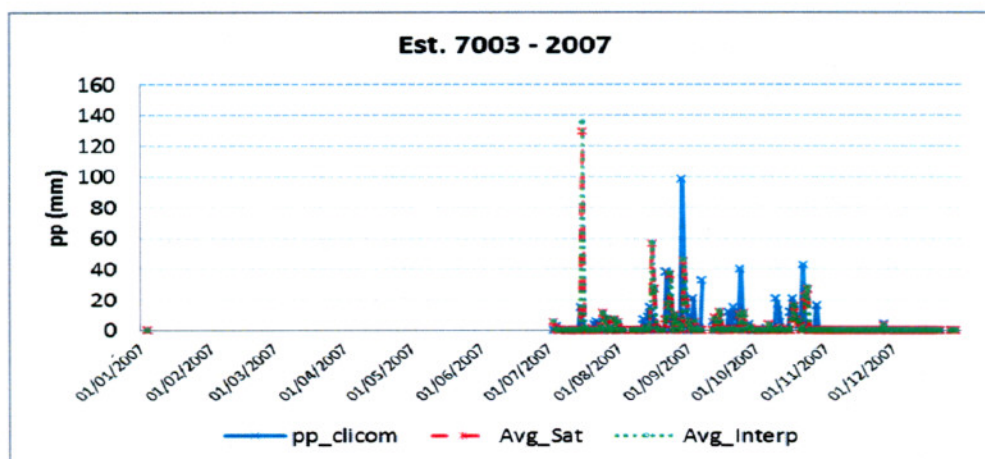
Gráfica 38. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7007 para el año 2008

ANEXO E

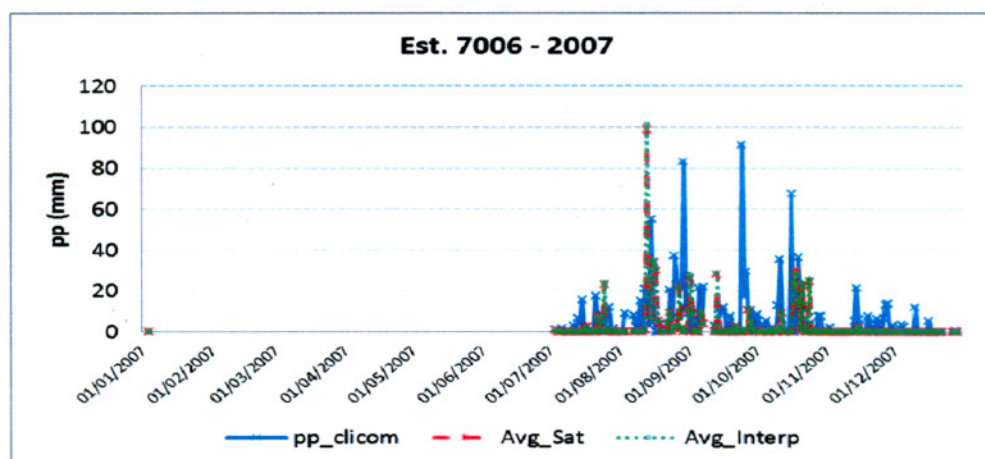
Pluviogramas de estaciones climatológicas con corrección 2007



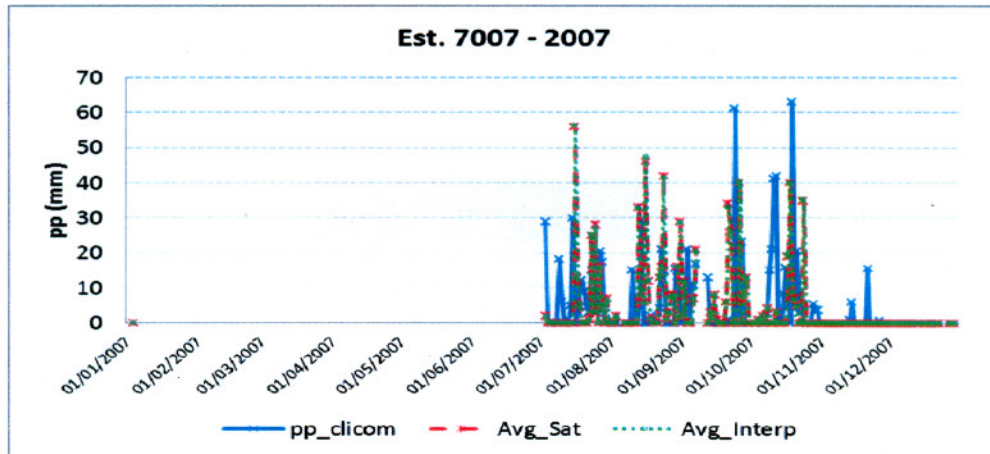
Gráfica 39. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7002 para el año 2007



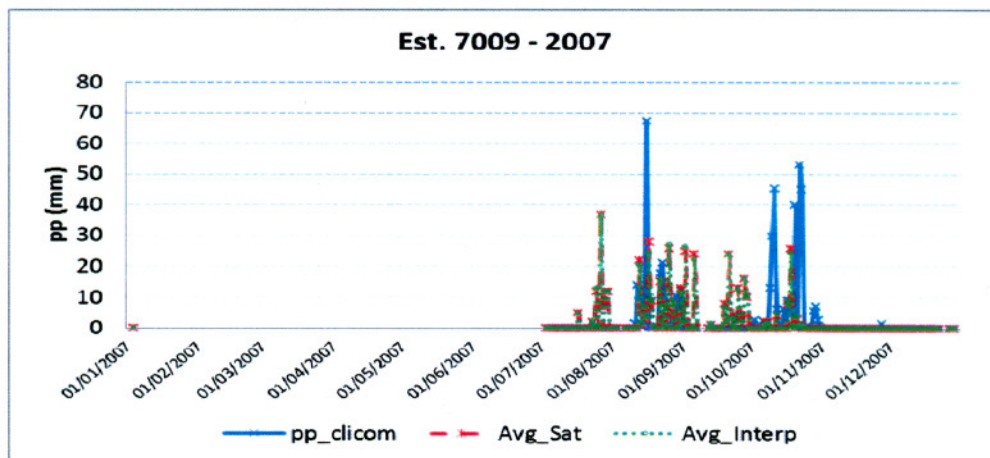
Gráfica 40. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7003 para el año 2007



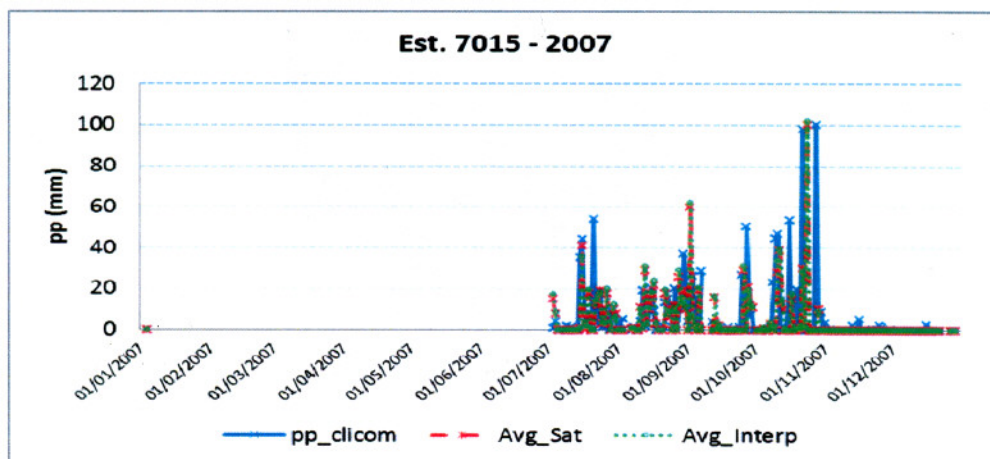
Gráfica 41. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7006 para el año 2007



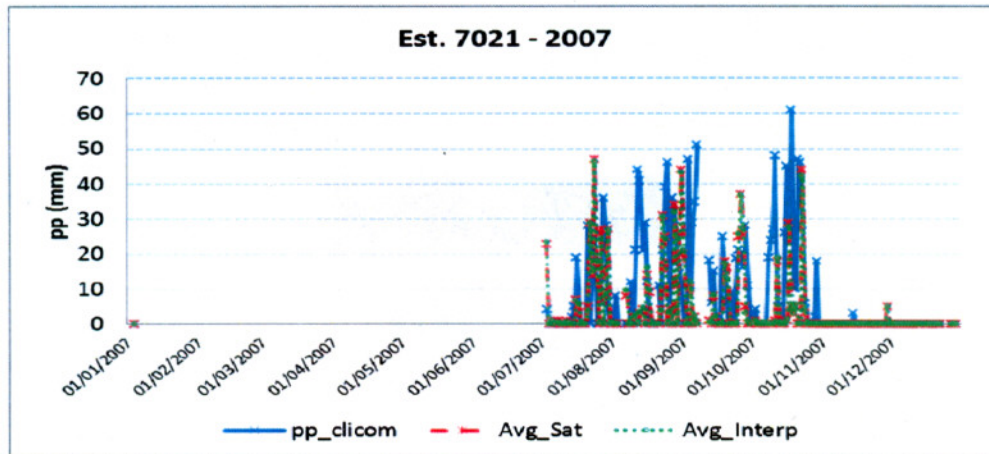
Gráfica 42. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7007 para el año 2007



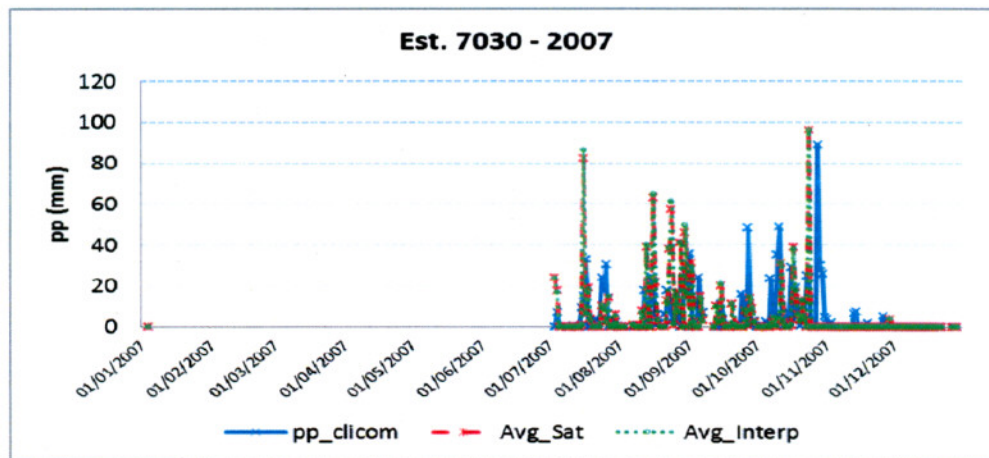
Gráfica 43. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7009 para el año 2007



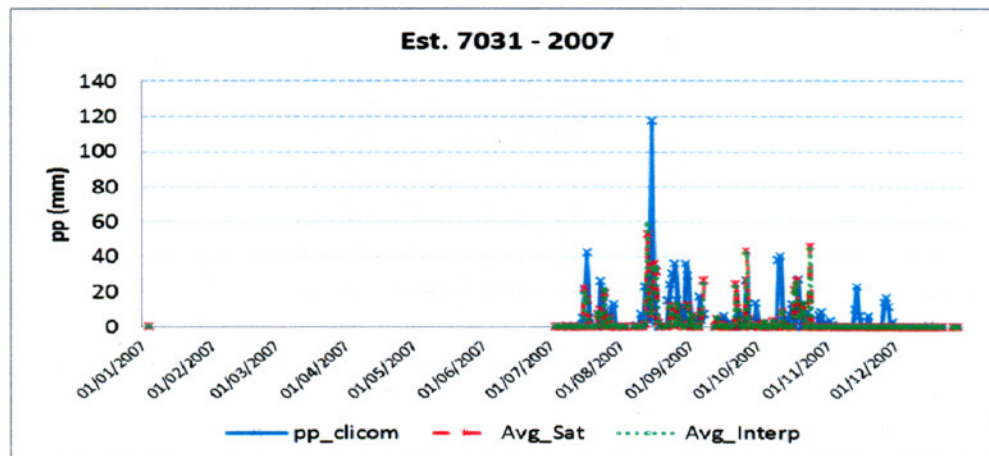
Gráfica 44. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7015 para el año 2007



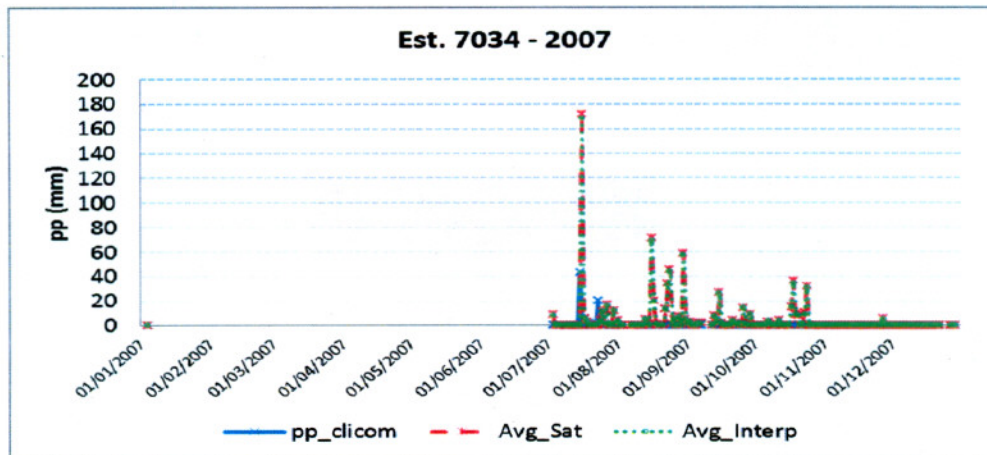
Gráfica 45. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7021 para el año 2007



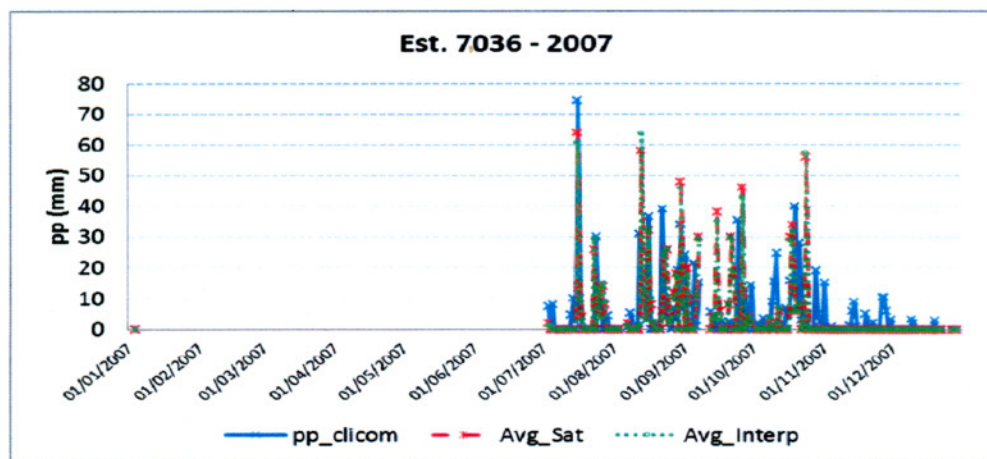
Gráfica 46. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7030 para el año 2007



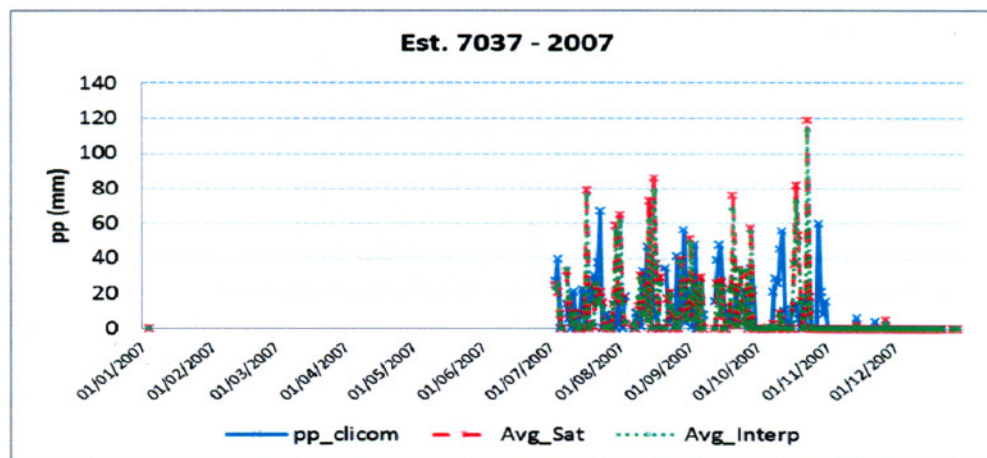
Gráfica 47. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7031 para el año 2007



Gráfica 48. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7034 para el año 2007



Gráfica 49. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7036 para el año 2007



Gráfica 50. Pluviograma comparativo de precipitación CLICOM vs Hidroestimador (Avg_Sat) vs malla interpolada de GASIR (Avg_Interp) de la estación 7037 para el año 2007