



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

Análisis de la modificación de la precipitación por presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria

Que para obtener el Título de:

Licenciada en Geografía

P R E S E N T A

Yasmin Esther Juárez Pastrana

Asesora

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino

Coasesor

Dr. Michel Rosengaus Moshinsky



México, Distrito Federal, octubre de 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Huracán Odile (10 – 17 septiembre 2014). NASA, Earth Observatory.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que para mí siempre será “*El Olimpo*”, de donde pocos podemos presumir, ser egresados. A mi Universidad, mi campus, mi segundo hogar, donde siempre me sentiré como en casa. A mi centro de estudio, la Facultad de Filosofía y Letras, donde durante los últimos siete años transcurrió mi vida, y que cada rincón de esta facultad guarda un lindo recuerdo. Al Colegio de Geografía, a mi carrera, que me ha dado tanto y que sé, me dará aún más, y que un futuro no muy lejano, yo como egresada sabré devolver.

Quiero hacer un agradecimiento muy especial a mi Asesora de Tesis, la Doctora Guadalupe de la Lanza Espino, a quien admiro, respeto y guardo un enorme aprecio, de quien recibí mano dura pero siempre llena de enseñanzas, mismas que me acompañaran en la vida. Gracias por brindarme su confianza, su tiempo, su conocimiento y su apoyo, por atenderme en la intimidad de su hogar, por todo el tiempo compartido, gracias por todas las experiencias invaluable. Gracias por ser “*Mi Madre Académica*”, por enseñarme a escribir, a leer y sobre todo a pensar, Doctora., de corazón ¡*Muchas Gracias!*

De igual manera, quiero extender mi total agradecimiento a mi Coasesor de Tesis el Doctor Michel Rosengaus Moshinsky, quien me brindó todo su apoyo y confianza para la elaboración de este trabajo. Le agradezco infinitamente la ayuda que siempre me presto, su atención en todo momento y sobre todo la gran aportación de la Base de Datos MAYA, la cual es factor medular en este proyecto. Doctor Michel muchas gracias por su tiempo y su amable comprensión en todo momento, quiero agradecerle siempre sus comentarios, sus valiosas aportaciones a este escrito y sobre todo por permitirme contar con su experiencia, a pesar de las dificultades. Con admiración y respeto, ¡*Por siempre Gracias!*

Agradezco infinitamente a mí Sínodo, quienes dieron su valioso tiempo y comentarios sobre este escrito, dando una aportación invaluable al mismo:

A la Doctora Laura Maderey Rascón, muchísimas gracias por permitirme contar con sus valiosas observaciones en mi escrito, por las charlas y sobre todo por haber sido parte fundamental en mi proceso de formación en la carrera, sé que sin sus clases, yo no hubiera encontrado lo que en la Geografía buscaba, Doctora., ¡*Muchas Gracias!*

A la Doctora María Engracia Hernández Cerda, le agradezco mucho por permitirme contar con su apoyo en este escrito, sus comentarios, sus observaciones y sobre todo por los consejos que me brindo. Le admiro mucho y sobre todo la respeto. *¡Mil Gracias!*

A la Doctora Leticia Gómez Mendoza, porque sus observaciones y comentarios dieron una invaluable aportación a mi escrito, por brindarme las ultimas enseñanzas en Geografía, y sobre todo por explotar en mí lo mejor para llegar al final de este camino, Doctora, *¡Muchísimas Gracias!*

A la Maestra Berenice Castillo González, Maestra, ha sido un verdadero placer contar con su apoyo en este escrito, al igual de conocerla y permitirme tan calurosamente encontrar en usted más que una Maestra una *Colega*, a la cual admiro y respeto por lo que logra al enseñar Geografía, Maestra, por su apoyo y sus valiosos comentarios *¡Muchas Gracias!*

Quiero agradecer de manera especial al Doctor Arturo Flores Martínez, Director General de la Dirección General de Estadística e Información Ambiental de la SEMARNAT., le agradezco infinitamente por su confianza y apoyo, por su valioso tiempo invertido en la revisión de mí escrito y por sus invaluable comentarios, mismos que han sido pieza clave para mi preparación previa al día más esperado, el examen profesional. Doctor, *¡Mil Gracias!*

Asimismo, quiero extender mi agradecimiento a Verónica Solares Rojas, Adriana García Cerecedo, a Cleotilde Arellano Molina y a Teresa González Ruíz, no tengo las palabras para agradecerles, de verdad, por el apoyo que me han brindado, las charlas, los consejos, pero sobre todo la confianza que me han brindado, son para mi invaluable, gracias por permitirme pertenecer a su equipo de trabajo, pero sobre tener la fortuna de contar con su valiosa Amistad, a todas... *¡Las Quiero!*

De igual forma agradezco infinitamente a César Rodríguez Ortega, Esperanza Martínez Vargas, Rogelio Chávez Pérez, Miguel Chipole Ibáñez y Sergio Barrios Monterde, por todo el apoyo y aprendizaje que me han brindado al igual que su valiosa amistad. Muchas Gracias por todo, son parte fundamental de mi crecimiento laboral y profesional, de corazón, *¡Muchas Gracias!*

Quiero extender mi agradecimiento a todos aquellos con quien tuve la fortuna de compartir experiencias, enojos, alegrías, clases día a día durante esta travesía y sobre todo experiencias

de vida, a mis *Colegas y Amigos*, los Geógrafos David Ayala Ibarra, Mónica Piceno Hernández, Anabel Rodríguez Lomelí, Lucía Ruíz Cano, Oswaldo Tapia Cornejo, Daniel Tenorio Hernández, Armando Trejo Victoria, y en especial a mi maestro de SIG's René Cruz López, *¡Gracias por ser un grupo Sui géneris!*

Deseo agradecer a quienes comenzaron conmigo este camino hace ya muchos años atrás, con quienes he crecido y que a pesar de las distancias y de los caminos tan diversos que hemos tomado, siempre están ahí, a Nallely Cazares García, Diana Flores Hernández y Nallely García Peñaloza; de igual forma para Marisol García Hernández y Angélica Fregoso Rodríguez, *¡Gracias a todas por la hermandad que nos une.... que nunca se acabe!*

Finalmente, quiero darle las Gracias a la parte más importante de mi vida, mi tesoro máspreciado, a mi Madre, Mireya Pastrana Olivares, nunca encontrare las palabras, la forma, la manera de agradecerte todo lo que has hecho por mí, por darme la oportunidad de crecer, por hacer de mí, una mujer en toda la extensión de la palabra, eres mi ejemplo, mi orgullo, te respeto y te admiro y el amor que te tengo jamás se podrá calcular, *¡Gracias Ma', lo logramos y nos espera mucho más, pero será de lo mejor, te lo aseguro!*

A mis hermanos, Moisés Juárez Pastrana y Misael Juárez Pastrana, quienes son mi gran apoyo, mi familia y que a pesar de las adversidades que nos depara la vida confió en que el amor que nos une siempre estará presente. Gracias por tenerlos como hermanos y como cómplices. *¡Siempre juntos y unidos, este logro es de ustedes!*

Y a ti Eduardo Santiago Miranda, gracias por ser el mejor amigo, la mejor pareja, el más leal hombre, por ser el reto, el motivo y la ilusión. Simple y sencillamente juntos, siempre fuertes y siempre firmes., y que el *Amor* que ha sido puro entre nosotros siga siendo la mejor experiencia que se pueda vivir. *¡Gracias por impulsarme cuando más difícil fue el camino y sobre todo por hacerme inmensamente feliz...!*

¡A ti, por siempre, Gracias!

MEFP

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
Introducción	2
Hipótesis	4
Objetivos	4
Justificación	5
Zona de estudio	7
Metodología	13
Resultados	16
Tablas relacionadas a los Resultados	37
Discusión	39
Mapas relacionados a la Discusión	44
Tablas relacionadas a la Discusión	46
Conclusiones	51
Recomendaciones	52
Anexo de Figuras	53
Bibliografía	61
Apéndice	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1a Patrón de precipitación río Acaponeta, Enero	16
Figura 1b Patrón de precipitación río Candelaria, Enero	16
Figura 2a Patrón de precipitación río Acaponeta, Febrero	17
Figura 2b Patrón de precipitación río Candelaria, Febrero	18
Figura 3a Patrón de precipitación río Acaponeta, Marzo	19
Figura 3b Patrón de precipitación río Candelaria, Marzo	19
Figura 4a Patrón de precipitación río Acaponeta, Abril	20
Figura 4b Patrón de precipitación río Candelaria, Abril	21
Figura 5a Patrón de precipitación río Acaponeta, Mayo	21
Figura 5b Patrón de precipitación río Candelaria, Mayo	22
Figura 6a Patrón de precipitación río Acaponeta, Junio	23
Figura 6b Patrón de precipitación río Candelaria, Junio	23
Figura 7a Patrón de precipitación río Acaponeta, Julio	24
Figura 7b Patrón de precipitación río Candelaria, Julio	25
Figura 8a Patrón de precipitación río Acaponeta, Agosto	25
Figura 8b Patrón de precipitación río Candelaria, Agosto	26
Figura 9a Patrón de precipitación río Acaponeta, Septiembre	27
Figura 9b Patrón de precipitación río Candelaria, Septiembre	27
Figura 10a Patrón de precipitación río Acaponeta, Octubre	28
Figura 10b Patrón de precipitación río Candelaria, Octubre	29
Figura 11a Patrón de precipitación río Acaponeta, Noviembre	29
Figura 11b Patrón de precipitación río Candelaria, Noviembre	30
Figura 12a Patrón de precipitación río Acaponeta, Diciembre	31
Figura 12b Patrón de precipitación río Candelaria, Diciembre	31
Figura 13a Patrón de precipitación río Acaponeta, Primavera	32
Figura 13b Patrón de precipitación río Candelaria, Primavera	33
Figura 14a Patrón de precipitación río Acaponeta, Verano	33
Figura 14b Patrón de precipitación río Candelaria, Verano	34
Figura 15a Patrón de precipitación río Acaponeta, Otoño	34
Figura 15b Patrón de precipitación río Candelaria, Otoño	35

Figura 16a Patrón de precipitación río Acaponeta, Invierno	36
Figura 16b Patrón de precipitación río Candelaria, Invierno	36
Figura 17a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Enero	53
Figura 17b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Enero	53
Figura 18a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Febrero	53
Figura 18b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Febrero	53
Figura 19a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Marzo	54
Figura 19b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Marzo	54
Figura 20a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Abril	54
Figura 20b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Abril	54
Figura 21a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Mayo	55
Figura 21b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Mayo	55
Figura 22a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Junio	55
Figura 22b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Junio	55
Figura 23a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Julio	56
Figura 23b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Julio	56
Figura 24a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Agosto	56
Figura 24b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Agosto	56

Figura 25a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Septiembre	57
Figura 25b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Septiembre	57
Figura 26a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Octubre	57
Figura 26b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Octubre	57
Figura 27a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Noviembre	58
Figura 27b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Noviembre	58
Figura 28a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Diciembre	58
Figura 28b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Diciembre	58
Figura 29a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Primavera	59
Figura 29b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Primavera	59
Figura 30a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Verano	59
Figura 30b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Verano	59
Figura 31a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Otoño	60
Figura 31b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Otoño	60
Figura 32a Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Acaponeta por tipo de fenómeno, Invierno	60
Figura 32b Registro de la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Candelaria por tipo de fenómeno, Invierno	60
Mapa 1a Ubicación geográfica de la cuenca del río Acaponeta	8
Mapa 2a Cuenca del río Acaponeta	9

Mapa 1b Ubicación geográfica de la cuenca del río Candelaria	11
Mapa 2b Cuenca del río Candelaria	12
Mapa 3a Influencia de ciclones tropicales y huracanes en la cuenca del río Acaponeta, 1961-2010	44
Mapa 3b Influencia de ciclones tropicales y huracanes en la cuenca del río Candelaria, 1961-2010	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1a Registro de precipitación según meses de lluvias y de secas en la cuenca del río Acaponeta, 1961-2010	37
Tabla 1b Registro de precipitación según meses de lluvias y de secas en la cuenca del río Candelaria, 1961-2010	38
Tabla 2a Registro de fenómenos meteorológicos ordinarios en la cuenca del río Acaponeta por categoría y año	46
Tabla 2b Registro de fenómenos meteorológicos ordinarios en la cuenca del río Candelaria por categoría y año	46
Tabla 3 Registro de episodios del fenómeno de El Niño y La Niña según la NOAA, 1960-2010	47
Tabla 4a Registro de tipo de precipitación por mes, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Acaponeta	48
Tabla 4b Registro de tipo de precipitación por mes, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Candelaria	49
Tabla 5a Registro de tipo de precipitación por estaciones, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Acaponeta	50
Tabla 5b Registro de tipo de precipitación por estaciones, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Candelaria	50

RESUMEN

En la República Mexicana la presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes) y extraordinarios (El Niño y La Niña) tienen en ocasiones diferentes grados de influencia y por tanto cambios y modificaciones en los niveles normales de precipitación. Actualmente existen metodologías de pronóstico de dichos fenómenos, cuyas trayectorias y presencia impactan en territorio mexicano. Con el objetivo de discriminar su influencia se pueden emplear bases de datos históricos, e identificar los cambios en los patrones de lluvia. Para lo anterior se eligieron dos cuencas geográficamente distintas: en el Pacífico la del río Acaponeta, Nayarit y en el Golfo de México el río Candelaria, Campeche; con una base de datos de precipitación de 50 años se observó lo siguiente: el patrón pluvial intra-anual en el Acaponeta fue heterogéneo y extremo aunque perceptibles en las épocas con mayor influencia de fenómenos meteorológicos ordinarios y de los extraordinarios como El Niño pero solo con cierto nivel de asociación. En cambio en el Candelaria fue más homogéneo, menos extremo y con mayor regularidad por épocas, siendo La Niña de mayor influencia.

INTRODUCCIÓN

La condición ideal para la formación de las abundantes lluvias orográficas presentes en gran parte del país, se origina cuando los vientos alisios provenientes del este impactan en ángulo recto con las Sierras Madre Oriental y Occidental próximas a los Océanos Atlántico y Pacífico, respectivamente, provocando que el aire se vea forzado a ascender cuando incide sobre dicha barrera de montañas, y al enfriarse adiabáticamente produce precipitaciones considerables (García, 1989).

La orografía en sí misma tiene una repercusión importante en los procesos de formación de nubes y de precipitación (Casas, 1999); en México además del relieve accidentado, la ubicación geográfica y los patrones de viento, se tiene influencia de otro tipo de fenómenos climáticos que dan origen a la lluvia. Es el caso de los fenómenos meteorológicos ordinarios (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes) y extraordinarios (El Niño y La Niña); los cuales influyen de manera importante en el incremento o decremento de la precipitación estacional; provocando modificaciones en los regímenes de lluvia.

Considerando lo anterior, en el presente estudio se muestra el análisis de la variabilidad en la precipitación en dos cuencas. Para la vertiente del Océano Pacífico, se estudió a la cuenca del río Acaponeta, la cual se localiza en la porción noroeste del estado de Nayarit; forma parte de la región hidrológica número 11 (CONAGUA, 2012) y descarga a Marismas Nacionales. En la vertiente del Océano Atlántico, se dio estudio a la cuenca del río Candelaria, la cual se localiza en el extremo suroeste del estado de Campeche, pertenece a la región hidrológica número 30 (CONAGUA, 2012) y descarga en la Laguna de Términos en el Golfo de México (INEGI, 2006; 2011).

Dada su localización geográfica, ambas cuencas son influenciadas directamente por los vientos alisios, quienes por el movimiento del ecuador térmico hacia el hemisferio norte hasta la península de Baja California en el oeste de México, originan las lluvias que se registran en verano y parte del otoño (Ayllón, 1996). Sin embargo, las modificaciones en los regímenes pluviométricos de estas regiones podrían estar influenciadas, en ciertas ocasiones, por la incidencia de los fenómenos hidrometeorológicos, ya mencionados.

En el Océano Pacífico la presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios, produce incrementos significativos en los niveles de precipitación en el verano y parte del otoño;

mientras que en el Océano Atlántico los incrementos en la precipitación en estas estaciones, son menos perceptible dado el régimen de lluvia de verano que se presenta de manera habitual en esta vertiente (Hernández, 2001).

En el caso de fenómenos meteorológicos extraordinarios, en las costas del Océano Pacífico; El Niño provoca incrementos considerables en la precipitación en otoño, siendo su máximo en invierno; en el Océano Atlántico su influencia evidencia ligeros aumentos en primavera y otoño. Con respecto a La Niña en la vertiente del Pacífico, se presentan ligeros incrementos en la lluvia en otoño e invierno; en el Atlántico se muestra con lluvia extraordinaria en otoño y en primavera, sin embargo, en verano e invierno su presencia se percibe como precipitaciones cercanas a lo normal (Magaña, 2004).

Actualmente existen metodologías que pronostican la incidencia e influencia de los fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios, así como sus posibles trayectorias y presencia en el país. Entre ellas están los análisis estadísticos de bases de datos, donde se emplean cálculos de varianza, desviación estándar, frecuencias, coeficientes de variación y modelos de distribución normal, por mencionar algunos de los más usados, además de métodos como el Teorema de Chebyshev, Cálculo de probabilidades, Regla de Laplace, entre otros (Camarero, *et al*, 2013). Sin embargo, la elaboración de gráficos a partir de bases de datos históricas, el manejo de imágenes de satélite y de mapas, como los que se utilizaron en este estudio para identificar y analizar la modificación en los regímenes de precipitación en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria, en un periodo de 50 años, permite identificar la influencia de cualquiera de estos fenómenos meteorológicos.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Existen diferencias entre las frecuencias e intensidades pluviales de los fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios entre las cuencas de la vertiente del Pacífico mexicano (río Acaponeta) y en la vertiente del Golfo de México (río Candelaria).

Objetivo General

Analizar, describir y comparar la influencia de los fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios en el incremento y decremento de los niveles de precipitación; en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria en un periodo de 50 años.

Objetivos Particulares

Considerar la ubicación geográfica, el relieve y los patrones de viento en la determinación de los regímenes de precipitación en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria.

Analizar la variabilidad de la precipitación, en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria, a través de la anomalía.

Identificar los fenómenos meteorológicos ordinarios (depresión tropical, tormenta tropical y huracán), que hayan influido en el cambio de los niveles de precipitación de las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria, en un periodo de 50 años.

Identificar los fenómenos meteorológicos extraordinarios (El Niño y La Niña) que hayan influido en el cambio de los niveles normales de precipitación registrados en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria, en un periodo de 50 años.

JUSTIFICACIÓN

El campo de estudio de la Geografía está dividido en dos áreas, Geografía Física y Humana, asimismo estas se subdividen según el impacto entre el hombre y el medio ambiente; dentro de la primera se encuentran: la Climatología, la Geomorfología, la Oceanografía, la Biogeografía, la Pedología, la Potamología y la Hidrología; dentro de la segunda se consideran: la Geografía de la Población, la Geografía Social, de los Transportes, la Geografía Política, la Histórica y la Económica (Howard, 1964).

Con respecto a lo anterior, en el presente estudio, se abordan dos subdivisiones de la Geografía Física, siendo la Hidrología y Climatología los ejes fundamentales de este análisis.

Según Escalona (1992), los recursos naturales trascendentales de acuerdo con la importancia estratégica para la planeación son ocho, dentro de los que destaca en primer lugar la disponibilidad de agua y zonas de demanda y oferta de la misma; que finalmente dependen del clima. La aportación de este estudio, radica como lo menciona Howard (1964) en que ningún otro elemento del medio físico tiene papel tan significativo en la economía del hombre como el clima.

El realizar un análisis de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación por presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios es de vital importancia para las actividades humanas, ya que a partir del comportamiento de esos se puede planear el manejo del agua para fines de conservación y de los recursos económicos que despenden de ella.

Para esto se escogieron dos cuencas cuyos ríos principales fueran de gran valor económico y humano para una región; fue el caso del río Acaponeta en el Océano Pacífico y el río Candelaria en el Golfo de México, siendo ambos ríos elemento primordial en el desarrollo urbano, agropecuario, industrial (como el acuícola, petrolero, turístico, entre otros) incluso comercial y de comunicaciones (Bassols, 1980).

Según CONAGUA (2012), México cuenta con poco más de 1 400 cuencas hidrográficas con fines administrativos del preciado líquido; sin embargo dada la heterogeneidad de su disponibilidad, del clima, de la orografía (entre otros factores geográficos) ha considerado la determinación del caudal disponible a nivel regional o de cuenca, aunque no considere dicha institución que los fenómenos climáticos sean escasamente perceptibles a una baja escala o de una cuenca en particular.

Para la elección de las cuencas bajo estudio se consideraron las siguientes características propuestas por la CONAGUA (2012): la importancia ecológica alta, la presión de uso de suelo baja, el estado de conservación y el objetivo ambiental como muy buenos; sin embargo en el caso de la presión del uso del suelo en el río Acafoneta es alto dado que presenta grandes áreas agrícolas y acuícolas (Google Earth, 2014), además de un área de 5 092 km² y 233 km de longitud; por su parte el río Candelaria no registra áreas agrícolas visibles y escasos asentamientos humanos (Google Earth, 2014), cuenta con 13 713 km² y una longitud de 150 km, asimismo con una diferencia de escurrimiento de poco menos de 500 Mm³(De la Lanza, *et al*, 2012; De la Lanza, *et al*, en preparación). Finalmente se detecta dentro del aspecto climático una diferencia específica de mayor humedad en esta última cuenca.

ZONA DE ESTUDIO

El río Acaponeta forma parte de la región hidrológica Presidio-San Pedro (RH 11); se considera como corriente de agua perenne, la cual alberga al 68.85% del agua de la región. Se extiende a partir de la Sierra Madre Occidental hacia la Llanura Costera del Pacífico, la cual corre por la ladera occidental del estado de Nayarit; llanura fluvio-deltaica a la cual el río Acaponeta drena y que se conforma por éste y el río Cañas, mismos que a su vez desembocan en la cuenca de la laguna de Agua Brava (De la Lanza, *et al*, 2012). La cuenca del río Acaponeta colinda al norte, con el estado de Sinaloa, Durango y el municipio de Huajicori; al este con el estado de Durango y el municipio de Del Nayar; al sur con el municipio de Tecuala, Rosamorada y el municipio de Del Nayar; y al oeste con el estado de Sinaloa y el municipio de Tecuala (INEGI, 2009) (Mapa 1a y 2a).

La cuenca del río Acaponeta es la segunda en importancia dentro del área de Marismas Nacionales considerada como Sitio RAMSAR¹ y Área Natural Protegida², después del río San Pedro. Cuenta con una superficie aproximada de 8 425 km² desde su nacimiento en el estado de Durango hasta el Océano Pacífico (De la Lanza, *et al*, 2012). Se inicia a partir de una elevación de 1 600 msnm y nace con el nombre de Quebrada de San Bartolo cerca del poblado de Ciénaga de los Caballos, dentro del estado de Durango, a unos 40 km al sureste de la ciudad del mismo nombre. Se dirige hacia el sur y recibe aguas abajo por la margen izquierda, uno de sus afluentes principales denominada La Quebrada Espíritu Santo, de ahí se conoce con el nombre de río San Diego hasta los límites de Durango y Nayarit que labra un profundo cauce a lo largo de unos 50 km. En el estado de Nayarit se llama Acaponeta, de la localidad del mismo nombre. En los últimos 40 km presenta una pendiente escasa y forma parte del conjunto de cuencas que desembocan en una serie de canales, lagunas costeras, manglares, marismas y pantanos que pertenecen a la región costera de las Marismas Nacionales, descarga en los sistemas lagunares y estuarinos de: Agua Brava, El Valle y Las Garzas, así como los esteros: El Salado, El Indio y El Gavilán (De la Lanza, *et al*, *op cit*, 2012).

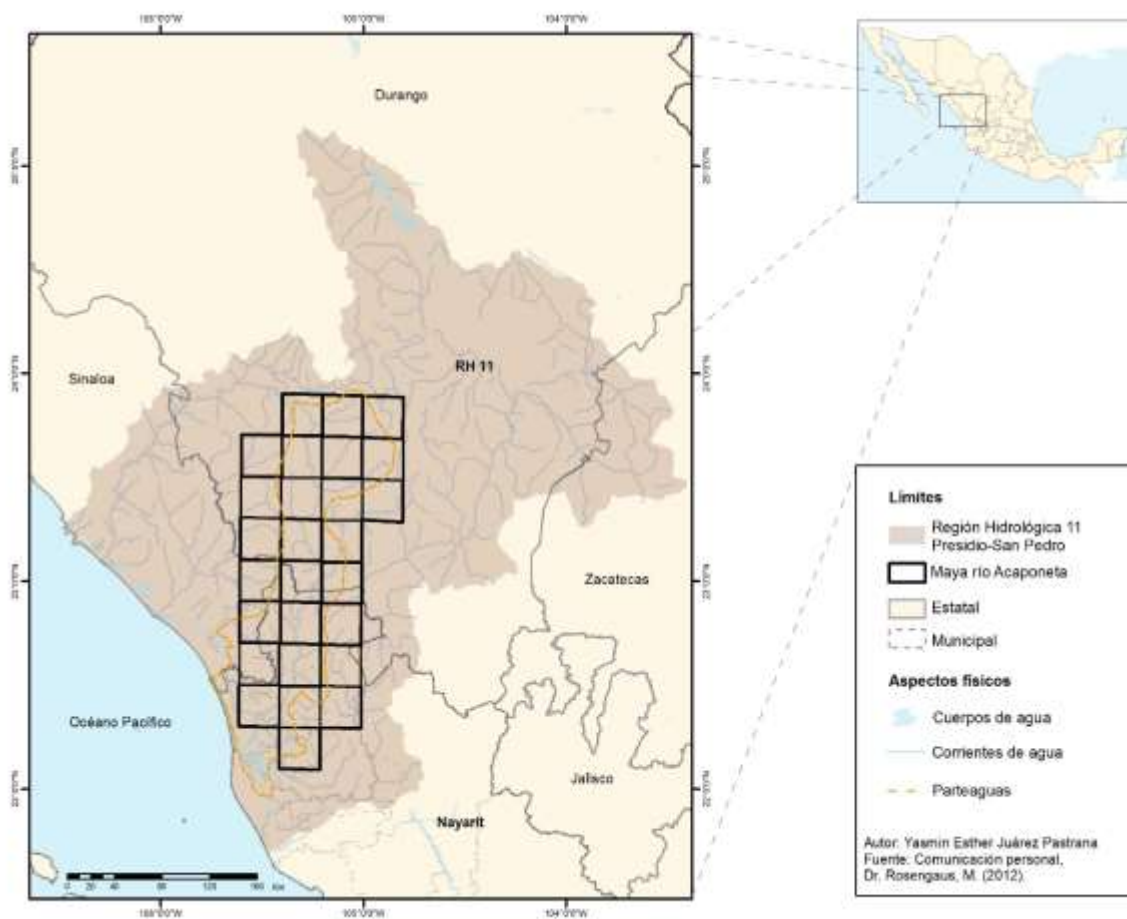
¹ La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en la Agenda Internacional, considera a los sitios RAMSAR como los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Se denomina RAMSAR debido al nombre de la ciudad de Irán donde la Convención sobre los Humedales fue firmada el 2 de febrero de 1971. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2.

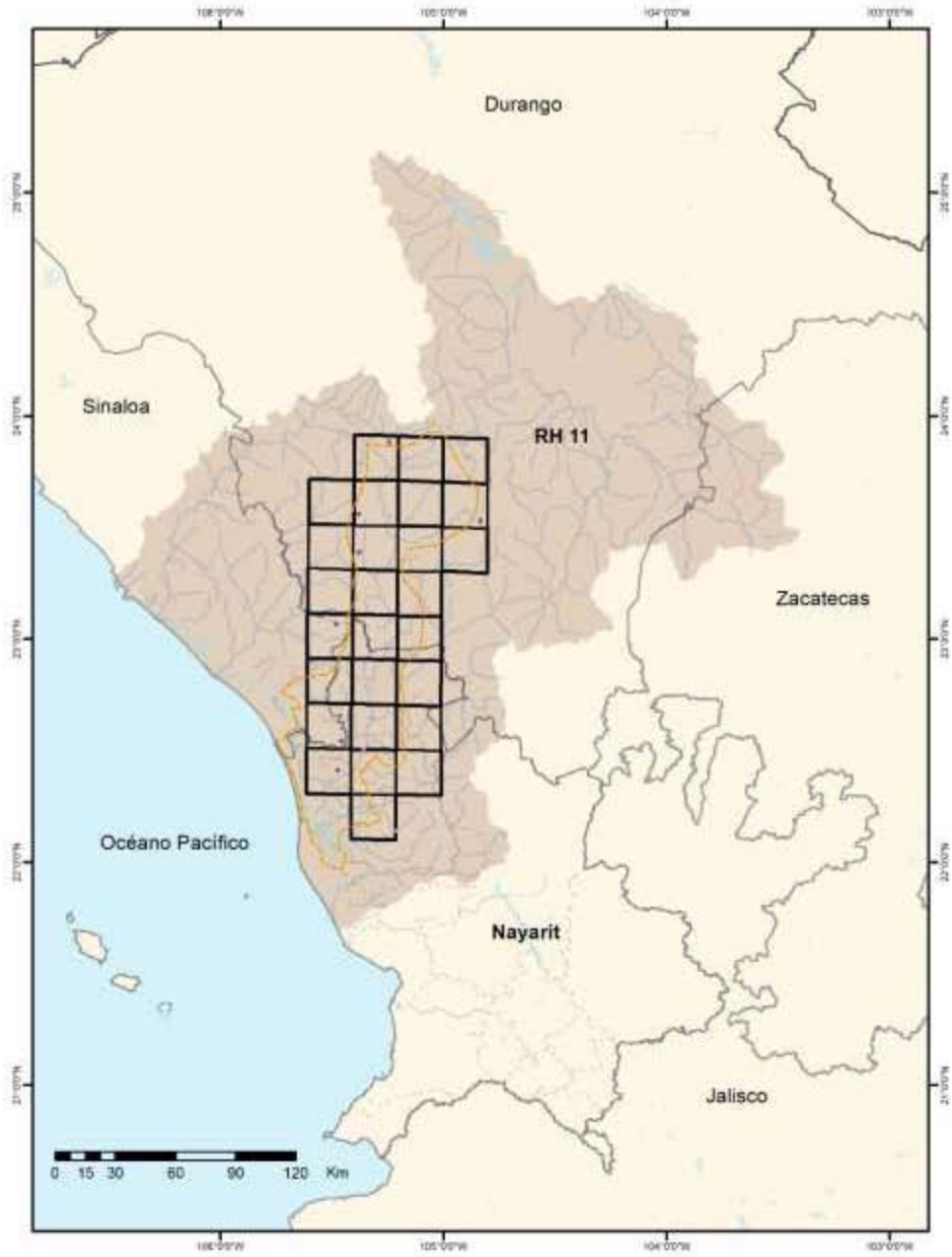
² La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), define como ANP a las porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2.

El río Acaponeta forma parte de la Región Climática 3, Pacífico Central (Vidal, 2005); el régimen pluvial en la región es de verano, extendiéndose hacia principios del otoño, siendo julio el mes más lluvioso en las laderas de la sierra, y para el litoral agosto y septiembre; con un rango de precipitación de 900 a 1 600 milímetros, con promedio de 1 328, originado por la trayectoria que recorre el río, misma que atraviesa varias zonas climáticas, de cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media y templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (INEGI, 2009; 2012).

Ubicación geográfica de la cuenca del río Acaponeta

Mapa 1a





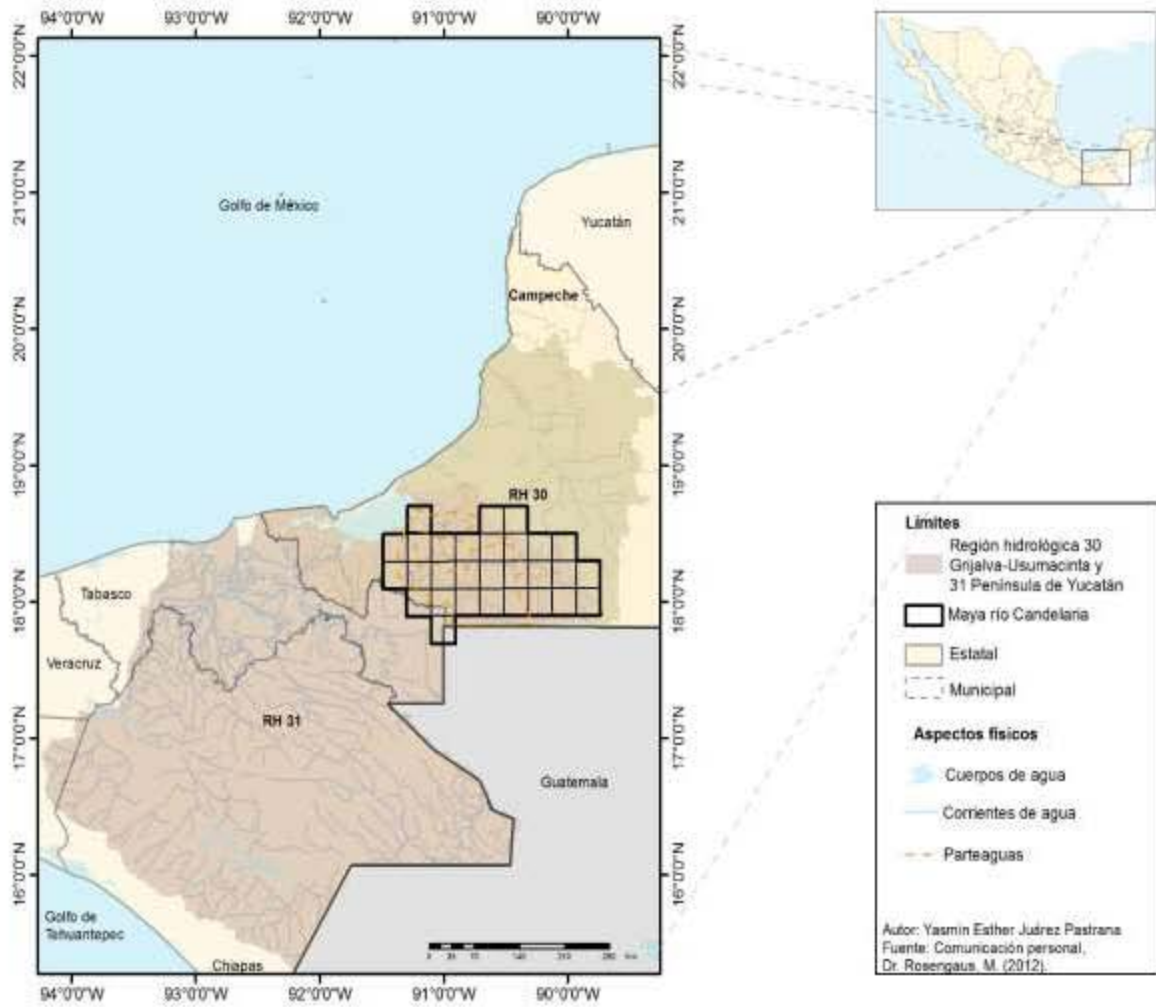
El río Candelaria es parte de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH 30) y la región hidrológica Yucatán Oeste (RH 31); considerada como corriente de agua perenne, constituye el 22.18% del total de la región. La cuenca del río Candelaria colinda al norte con los municipios de Carmen y Escárcega; al este con los municipios de Escárcega, Calakmul y Guatemala; al sur con Guatemala y el estado de Tabasco; al oeste con el estado de Tabasco y el municipio de Carmen. El río Candelaria recorre desde Guatemala (dándole el carácter de cuenca binacional) hacia la llanura costera del Golfo Sur, desembocando a la Laguna de Términos (INEGI, 2009) (Mapa 1b y 2b).

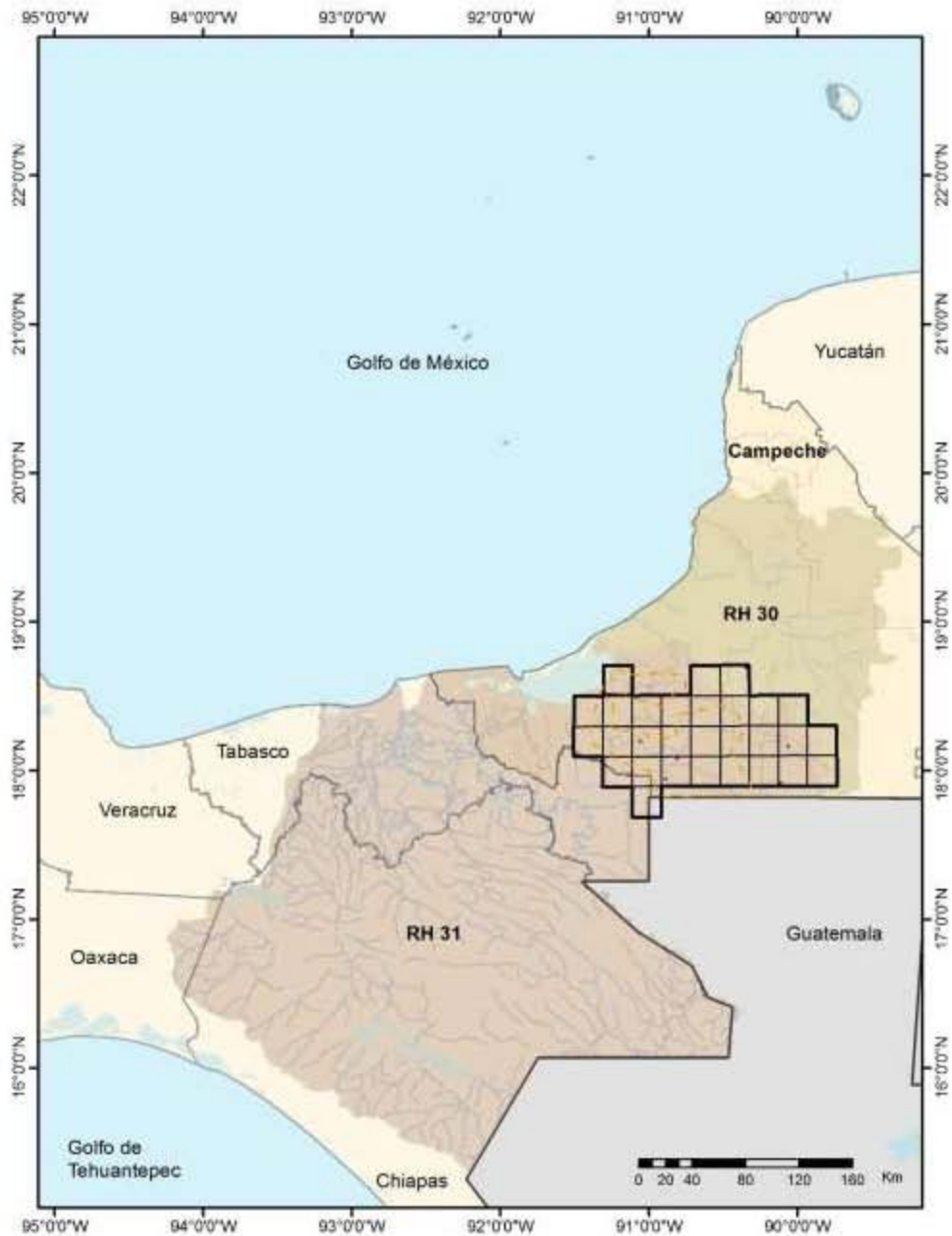
El río Candelaria es considerado como la corriente principal de la cuenca; abarca una superficie total de 11 494 kilómetros cuadrados, de los cuales 1 558 km² corresponden a Guatemala, y 9 936 km² a México. Entre sus formadores principales se encuentra el río Caribe, que nace cerca del poblado de Cedros, Campeche, y recorre aproximadamente 80 kilómetros antes de confluir por la margen derecha con el río Candelaria, en un punto localizado aproximadamente a 10 kilómetros aguas debajo de la localidad de Monclova, Campeche. Cabe señalar que la cuenca del río Candelaria se divide en dos; alto río Candelaria, comprendida desde los límites del territorio mexicano con Guatemala, hasta donde se localiza la estación hidrométrica Candelaria y bajo río Candelaria la cual comprende desde la estación hidrométrica Candelaria hasta su desembocadura con la Laguna de Términos (DOF, 2006).

Así mismo forma parte de la Región Climática 11 situada en la Península de Yucatán; dada su localización dominan durante todo el año los vientos alisios, con una fuerte componente del este. Existe una temporada lluviosa que abarca de mayo a octubre, una gran parte de la lluvia que se presenta sobre esta región es de tipo convectivo, es decir, provocada por el ascenso del aire que se calienta por estar en contacto con la superficie terrestre caliente, alcanzando sus máximos en los meses de mayo y junio (Vidal, 2005); con rango de precipitación de 1 200 a 2 000 milímetros, con promedio anual de 1 439, originado por la trayectoria que recorre el río, misma que atraviesa varias zonas climáticas, de cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (INEGI, 2009; 2012).

Ubicación geográfica de la cuenca del río Candelaria

Mapa 1b





Límites	Aspectos físicos	Estaciones Climatológicas
Región hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta y 31 Península de Yucatán	Cuerpos de agua	Secretaría de Recursos Hidráulicos
Maya río Candelaria	Cortientes de agua	Secretaría de Recursos Hidráulicos y otras dependencias
Estatal	Parleaguas	Otras dependencias
Municipal		

Autor: Yasmin Esther Juárez Pastrana
Fuente: Comunicación personal, Dr. Rosengaus, M. (2012)

Para el presente estudio se utilizó la siguiente clasificación para referirse a los fenómenos meteorológicos. En el caso de los fenómenos ordinarios: depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes de categoría 1 a 5; con una cercanía de influencia aproximada de 80 a 100 kilómetros de distancia entre las cuencas de estudio y el fenómeno meteorológico (Comunicado personal, Dra. De la Lanza). Para los fenómenos extraordinarios se consideraron a los fenómenos de El Niño y La Niña.

Los registros diarios de precipitación de las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria; fueron originados a partir de la interpolación de la malla regular “MAYA”³ (Rosengaus, 1996), (Davydova, 2010) entre las estaciones meteorológicas con las que contaba cada una de las cuencas. Con este sistema, se obtuvo para cada cuenca una serie de nodos con valores de lluvia diaria; a partir de la cual se generó una base de datos de 50 años, a partir del 1° de enero de 1961 al 31 de diciembre de 2010⁴.

La base principal de información correspondió al conjunto de nodos obtenidos a partir de MAYA; para la cuenca del río Acaponeta se contó con 27 celdas de información de lluvia precipitada diaria en milímetros; mientras que para el río Candelaria se obtuvieron 29 celdas. Generándose un total de 56 celdas con 1 022 000 valores de precipitación diaria.

Para organizar y procesar esta base de datos, se empleó el programa Excel; para su análisis se aplicó el método gráfico, el cual es una de las herramientas más utilizadas en el análisis de fenómenos tanto sociales como físicos, donde se manejen grandes cantidades de datos (Camarero, *et al*, 2013). Asimismo se utilizó una de las medidas de tendencia central más importante, la media estadística, con el fin de comparar los patrones de precipitación de éstas dos cuencas, promediando los valores de lluvia diaria por meses y años; las figuras elaboradas fueron Diagrama de Barras, cuya altura representó el nivel de precipitación registrado en milímetros para cada cuenca de estudio, junto con un Diagrama de Línea, la cual significó el nivel medio mensual y estacional para la serie de años para cada cuenca en cada uno de los meses y estaciones graficados.

³ Maya 1.0 fue elaborada por una consultoría dentro del Programa de Modernización del Manejo del Agua (PROMMA) a solicitud de la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional. Esta base de datos se construyó a partir de los registros manuales y de captura de las estaciones climatológicas dentro del territorio nacional y abarca el intervalo que va del 1 de enero de 1961 al 31 de diciembre de 2000; incluye datos de temperatura y precipitación pluvial diaria. Su dominio abarca las longitudes -117.2° a 86.0° (longitud oeste) y las latitudes +14.0° a +33.0° (latitud norte), con una resolución de 0.2° (tanto en longitud como latitud). Maya 1.0 es una extracción de la base de datos climatológica nacional, que se maneja con CLICOM.

⁴ La información obtenida de los registros diarios de precipitación del 1 de enero de 1998 al 31 de diciembre de 2010 (Maya 1.1), forman parte de un comunicado personal del Dr. Michel Rosengaus Moshinsky.

La utilización del método gráfico permitió apreciar de forma instantánea y sintética las relaciones y diferencias existentes entre los patrones de precipitación de cada una de las cuencas bajo estudio, así como las posibles correspondencias entre las anomalías registradas y la presencia de algún fenómeno meteorológico ordinario o extraordinario. Por lo que a partir de estas, se gestionó a las figuras obtenidas para agruparlas, clasificarlas y compararlas, con el fin de comprender e interpretar el comportamiento de la precipitación en ambas cuencas.

Como resultado del primer análisis se obtuvieron 12 figuras (Figuras 1a a 12b), para cada una de las cuencas, donde se evidenció la variabilidad de la precipitación en condición normal distribuida en el año; además de cuatro figuras para cada cuenca (Figuras 13a a 16b), donde se observó la variabilidad de la lluvia en condiciones normales distribuida en las estaciones⁵.

Estas figuras se homogeneizaron en escala según el valor de precipitación máximo obtenido, para observar y comparar la variabilidad en cada una de las cuencas; el valor que se utilizó como límite fue de 16 milímetros para las figuras de meses y de 10 milímetros para las estaciones, ambos niveles se presentaron en la cuenca del río Candelaria. A partir de las figuras que pusieron en manifiesto los valores por arriba de la media mensual, representados con barras, se generaron análisis en tablas de información.

Se continuo con el análisis agrupando los promedios mensuales de precipitación según la temporada de lluvias y de secas; de mayo a octubre para lluvias y de noviembre a abril para secas (García, 1974). Obteniéndose una tabla para cada cuenca (Tabla 1a y 1b), en la que se observó según esta clasificación, cuáles meses mostraban incrementos significativos de lluvia; mismos que pudieran tener cierta influencia por presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios y extraordinarios. Además de lo anterior se identificaron los incrementos y decrementos en la precipitación en condiciones normales por influencia de algún fenómeno meteorológico ordinario, comparando las figuras obtenidas respecto a los registros proporcionados en el portal de internet de Unisys⁶; con los que se identificó la incidencia de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes en las cuencas de los ríos Acaponeta y Candelaria; obteniéndose una tabla (Tablas 2a y 2b) para cada cuenca cuya

⁵ Se consideraron las siguientes categorías proporcionadas por el Anuario del Observatorio Astronómico Nacional del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2014, la primavera corresponde a los meses de marzo, abril y mayo, verano para junio, julio y agosto; otoño en septiembre, octubre y noviembre y el invierno en diciembre, enero y febrero. Disponible en: http://www.astrocu.unam.mx/IA/index.php?option=com_content&view=article&id=586&Itemid=245&lang=es.

⁶ Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

información mostró los años y frecuencia de la influencia de éstos fenómenos en los aumentos de precipitación. Así mismo se elaboraron mapas (Mapas 3a y 3b) los cuales mostraron según CENAPRED y Unisys los fenómenos ordinarios incidentes para cada cuenca según los años referidos en las Tablas 2a y 2b.

Para determinar los incrementos y decrementos en la precipitación normal por influencia de fenómenos meteorológicos extraordinarios de El Niño y La Niña, se identificaron los años donde hubo cierta influencia en los aumentos de precipitación por la incidencia de alguno de estos fenómenos extraordinarios, a partir de la revisión de las Figuras 1a a 12b y de la tabla de valores que proporciona la NOAA en su página en internet *Cold & Warm Episodes by Season*⁷ (Tabla 3), de los episodios de El Niño y La Niña que tiene registrados. Con este procedimiento se construyó una tabla de información para cada cuenca (Tablas 4a y 4b) donde se desagregó la presencia de El Niño y La Niña, por meses y años, así como los años normales con valores de precipitación por encima del promedio mensual. Aunado a esto se obtuvieron dos tablas donde se identificó la presencia de El Niño y La Niña según las estaciones (Tablas 5a y 5b).

En consideración con lo anterior, para el análisis de las Tablas 4a, 4b, 5a y 5b, se categorizó la pluviosidad por tipo: considerable, intensa y extraordinaria. Los porcentajes que se utilizaron para clasificar la precipitación se consideraron a partir de los niveles obtenidos de los promedios mensuales del método gráfico, siendo un incremento de 101% – 450% arriba del promedio para un evento considerable; 451% – 750% arriba de la media para un evento intenso y los registros con valores iguales o mayores que 751% por arriba del promedio mensual como eventos extraordinarios.

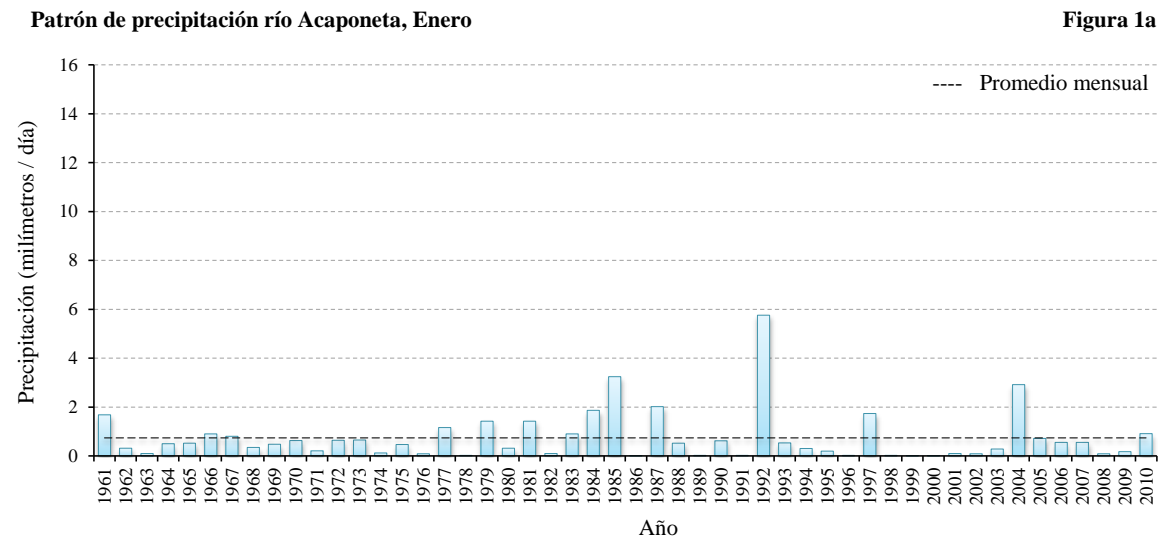
Con base en las Figuras (1a a 16b) se realizó una identificación de la variabilidad de la precipitación por presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios; donde se mostró según colores la influencia de cada uno de estos fenómenos en los incrementos de la precipitación en cada una de las cuencas, tanto por meses (Figuras 17a a 28b), como por estaciones (Figura 29a a 32b). De igual forma se utilizó el método gráfico para poner en evidencia y maximizar los fenómenos que se hicieron presentes en la serie de años en ambas cuencas.

⁷ Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Descripción de la precipitación por mes

En esta sección se describe la variabilidad de la precipitación promedio correspondiente a cada mes para el periodo 1961 a 2010 para cada una de las cuencas de estudio.

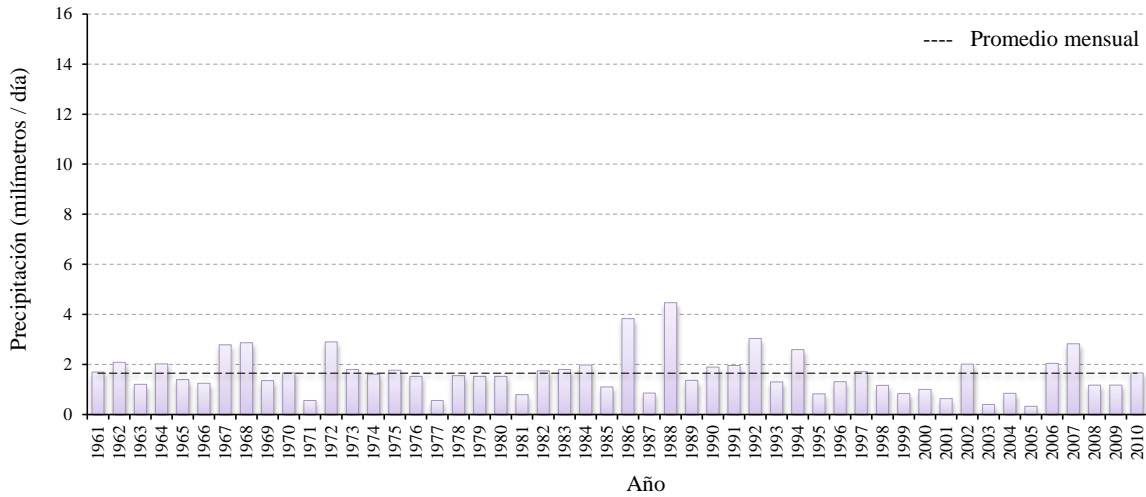
En la cuenca del río Acaponeta, el comportamiento de la precipitación en 50 años mostró en enero un comportamiento generalmente por debajo del promedio mensual de 0.74 milímetros; sin embargo, se observaron valores máximos por encima del promedio en los años de 1961 (1.68 mm), 1984 (1.87 mm), 1985 (3.24 mm), 1987 (2.02 mm), 1992 (5.76 mm), 1997 (1.74 mm) y 2004 (2.92 mm), con precipitaciones que rebasaron en promedio en 247% el valor medio mensual, siendo 1985 y 2004 registros por encima de 438%. En el caso de 1992 (Figura 1a), se observó un máximo relevante donde la precipitación fue de casi ocho veces más de lo normal (778%).



En la cuenca del río Candelaria el patrón de precipitación en enero fue homogéneo y perceptible en la mayoría de los años, con niveles semejantes o menores al promedio mensual (1.64 mm); en cinco ocasiones se sobrepasó la media, siendo los años de 1986 y 1988 (3.83 y 4.47 mm respectivamente) (Figura 1b), los que presentaron registros más altos, estos valores rebasaron en promedio con 253% de precipitación extraordinaria.

Patrón de precipitación río Candelaria, Enero

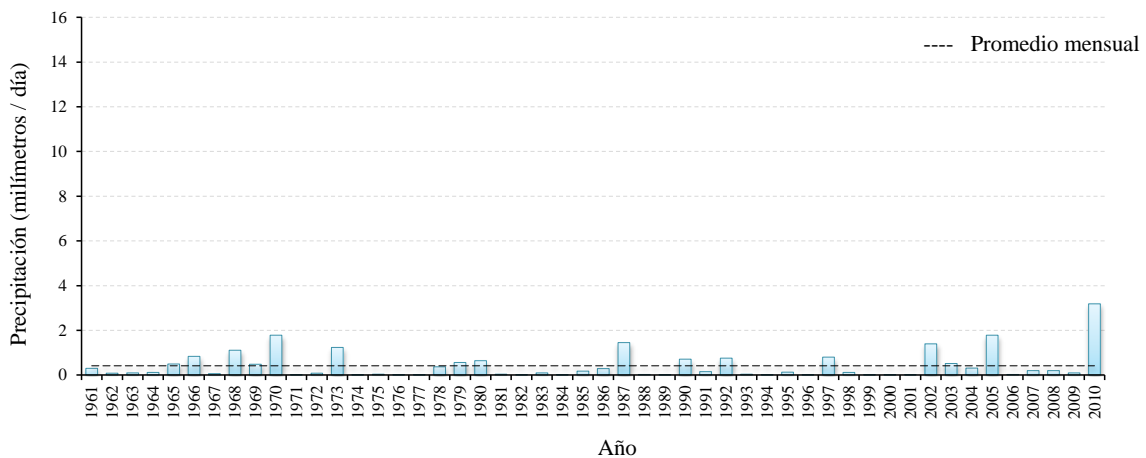
Figura 1b



En febrero el comportamiento general de la precipitación disminuyó en la cuenca del río Acaponeta; se mantuvo el patrón de precipitación heterogéneo; asimismo en la mitad de la serie de datos la lluvia fue imperceptible o con valores mínimos (por debajo del promedio mensual de 0.42 mm), sólo en cinco casos fue considerable, correspondiendo a los años de 1970 (1.78 mm), 1987 (1.46 mm), 2002 (1.39 mm) y 2005 (1.79 mm), en los cuales se excedió en promedio 382% el valor mensual. En 2010 las precipitaciones fueron por arriba del 757% (3.18 mm) del valor medio (Figura 2a). Se destacó que los máximos de precipitación de enero se vieron disminuidos en febrero.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Febrero

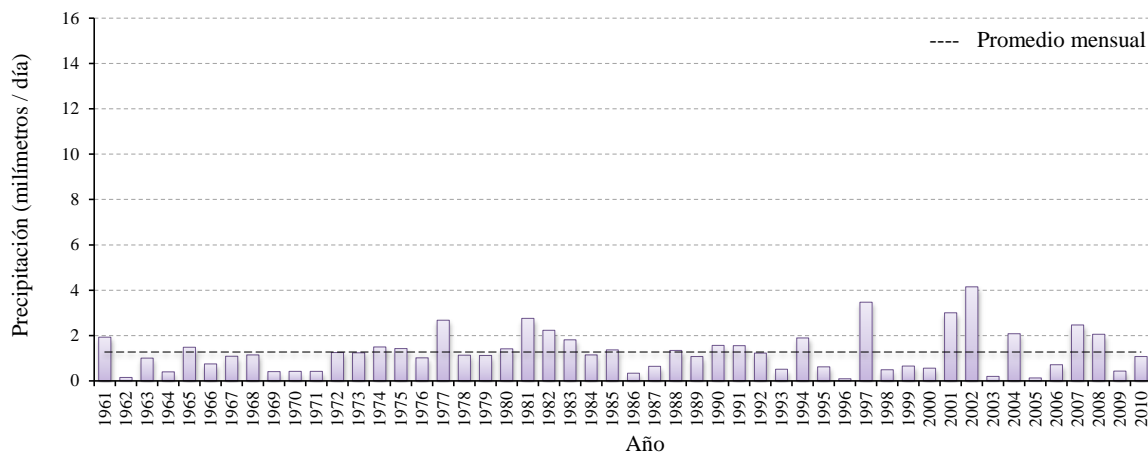
Figura 2a



El comportamiento pluvial en la cuenca del río Candelaria en febrero fue homogéneo; se presentaron cinco años donde se observó un aumento significativo en la precipitación (por arriba del promedio mensual de 1.27 mm), estos fueron 1997 (3.47 mm), 2001 (3.00 mm) y 2002 (4.12 mm) (Figura 2b), en promedio con una pluviosidad de 278% por arriba de la media mensual. Una observación importante en febrero, fue en cuanto a los niveles máximos de precipitación con el mes anterior, puesto que donde había aumentos en lluvia en enero para febrero el valor de éstos había sido bajo llegando al promedio o por debajo de éste, así mismo donde hay máximos para dicho mes hay valores muy bajos para el anterior.

Patrón de precipitación río Candelaria, Febrero

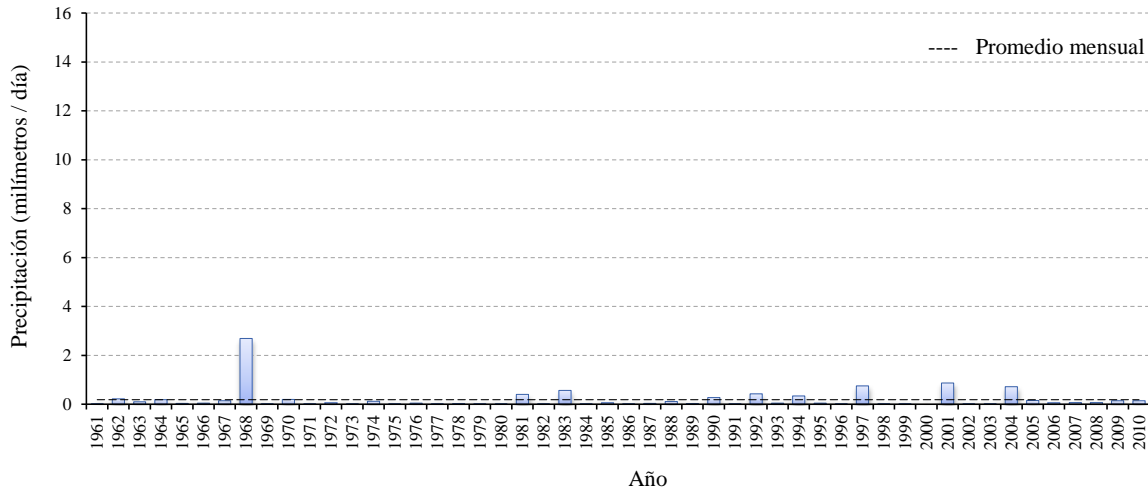
Figura 2a



En marzo en la cuenca del río Acajoneta el comportamiento de la precipitación fue imperceptible en toda la serie (0.18 mm), se observó un máximo importante el cual fue en 1968 donde se registró un nivel 15 veces más por encima del promedio mensual (2.69 mm), 1494% por arriba de la media mensual. Como observación importante se mostró una tendencia diferente entre los meses anteriores en cuanto a los máximos de precipitación, donde no hubo correspondencia y la mayoría estuvo por debajo de la media (Figura 3a).

Patrón de precipitación río Acaponeta, Marzo

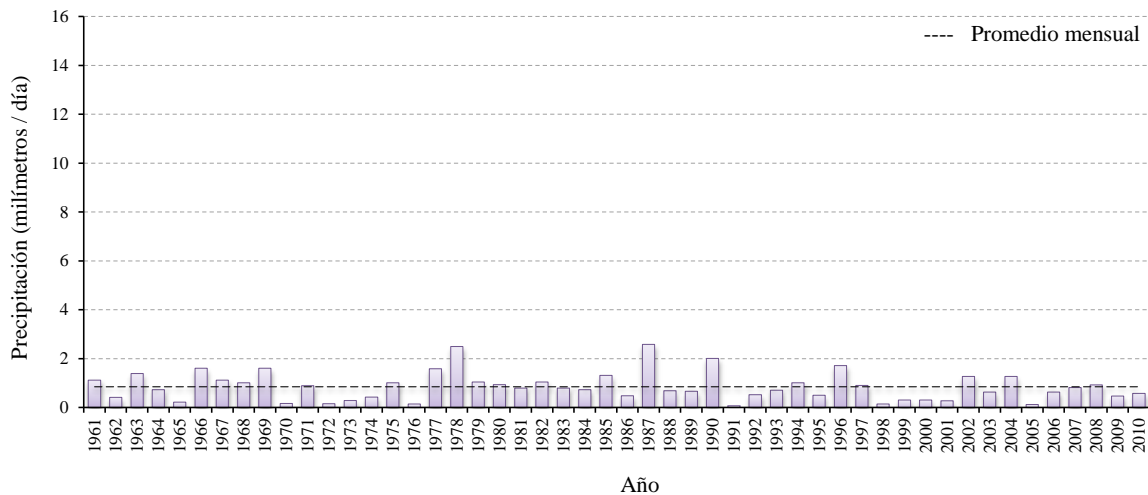
Figura 3a



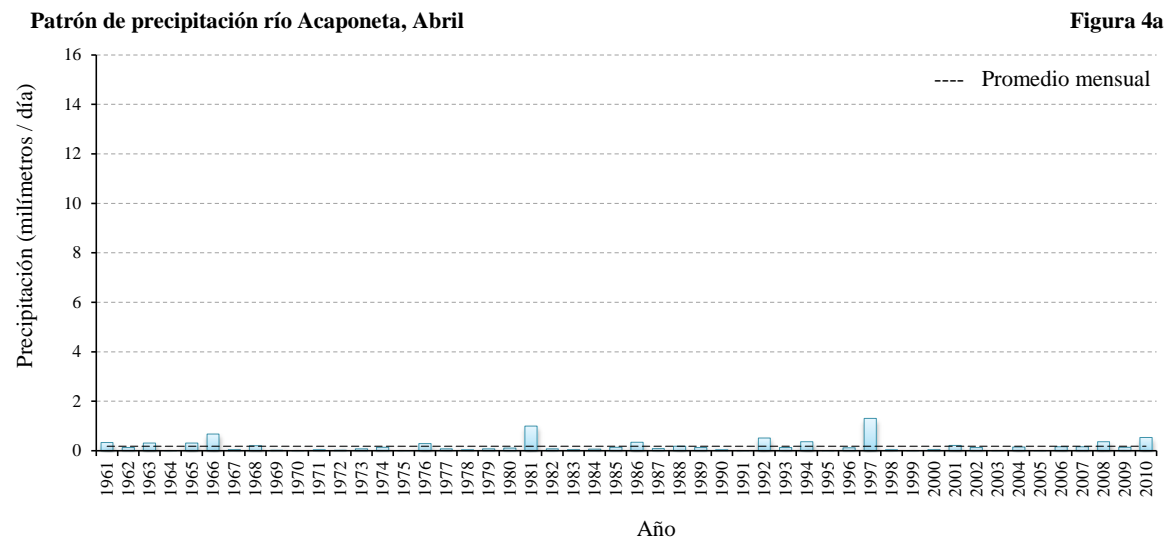
Para marzo en el río Candelaria se mantuvo el patrón heterogéneo, aunque menos perceptible en comparación con el mes anterior (0.85 mm de promedio mensual). Destacaron tres casos donde se presentaron niveles por encima del promedio 1978 (2.50 mm), 1987 (2.58 mm) y 1990 (2.01 mm) (Figura 3b), con 278% promedio de lluvia por encima de la media; se observó un comportamiento inverso respecto a los meses anteriores, es decir los niveles máximos de precipitación de este mes correspondieron a niveles mínimos en el mes anterior.

Patrón de precipitación río Candelaria, Marzo

Figura 3b



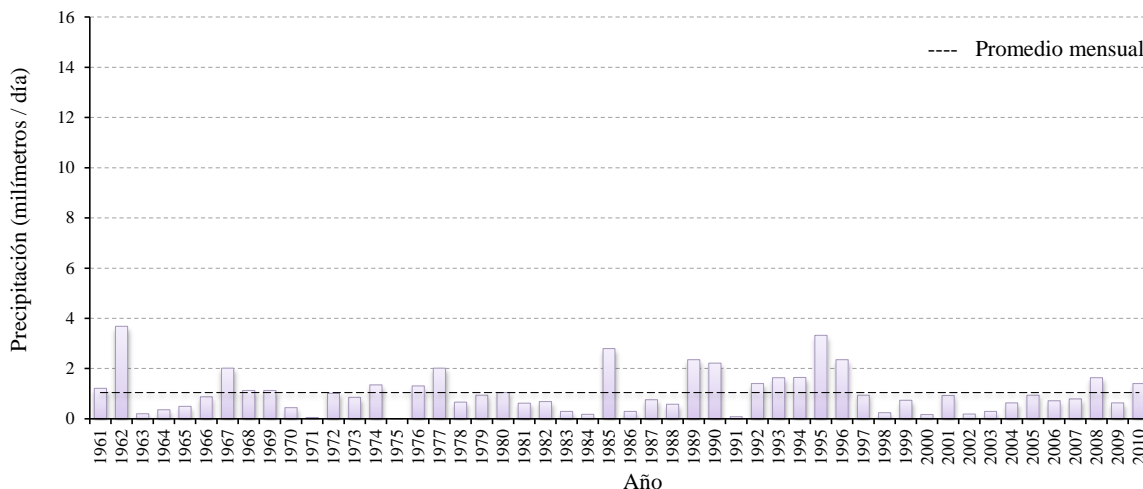
En abril en el río Acaponeta se mantuvieron los niveles de precipitación imperceptible (0.19 mm); se presentaron tres casos con incrementos ligeramente perceptibles, 1966 (0.67 mm), 1981 (1.00 mm) y 1997 (1.31 mm) (Figura 4a), que rebasaron en promedio en 523% la media mensual. Se conservó el comportamiento inverso entre los meses anteriores donde los máximos de abril correspondieron a niveles bajos para el mes anterior.



En el río Candelaria en abril, se mantuvo el régimen de los meses anteriores, no hubo disminución en la precipitación e incluso en la heterogeneidad, con un promedio mensual de 1.05 milímetros. Destacaron como máximos de precipitación 1962 (3.69 mm), 1985 (2.80 mm), 1989 (2.36), 1990 (2.22), 1995 (3.33), en promedio con 255% de lluvia por arriba de la media mensual, siendo 1962 (Figura 4b) el año con el mayor registro, casi cuatro veces más de precipitación por encima del valor promedio (351%). Se muestra en las Figuras 4a y 4b que los valores máximos en abril fueron niveles menores al promedio del mes anterior.

Patrón de precipitación río Candelaria, Abril

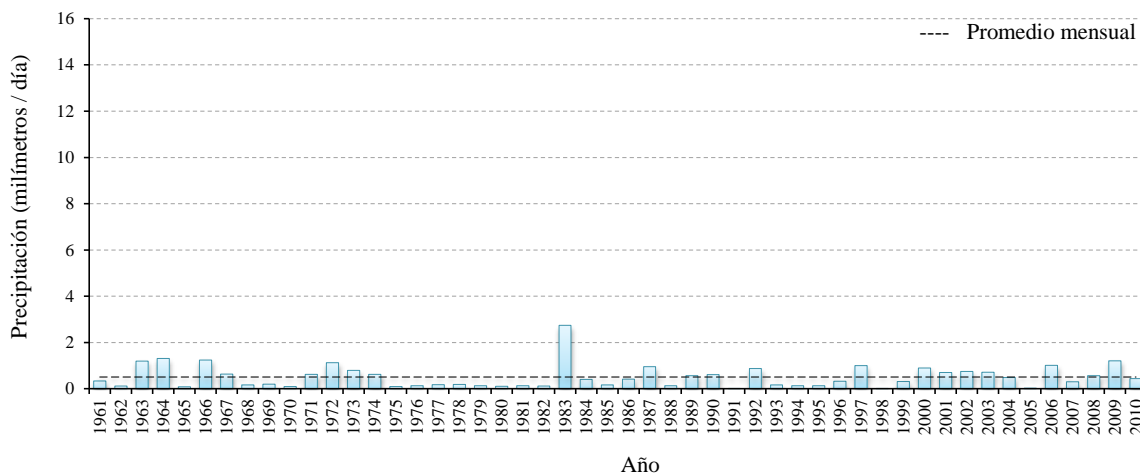
Figura 4b



Para mayo se manifestaron incrementos en la precipitación en el río Acaponeta, (0.51 mm de promedio mensual) continuando con el régimen heterogéneo; se observaron máximos de precipitación, como el año de 1983 (2.74 mm), donde se rebasó el promedio mensual en 537% (Figura 5a), este caso siguió con la regla de no correspondencia con el mes anterior, ya que en abril, el año de 1983 tuvo un registro por debajo del promedio.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Mayo

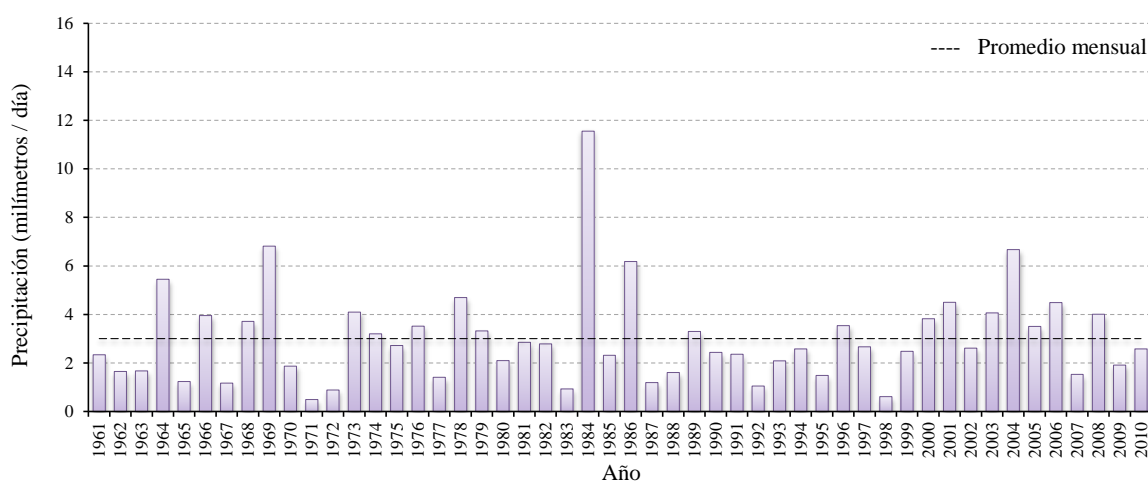
Figura 5a



En mayo para el río Candelaria se observó que los niveles de precipitación en general rebasaron la media de 3.00 milímetros; los años que destacaron por lluvias significativas fueron 1969 (6.81), 1984 (11.55), 1986 (6.18) y 2004 (6.67), rebasando en promedio con 260% de lluvia por arriba de lo normal. Cabe destacar que 1984 presentó el nivel más alto, con precipitaciones extraordinarias de 385% por encima de la media (Figura 5b). El máximo de mayo comparado con el mes anterior (abril) registró niveles que no superaron la media (como se muestra en la Figura 4b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Mayo

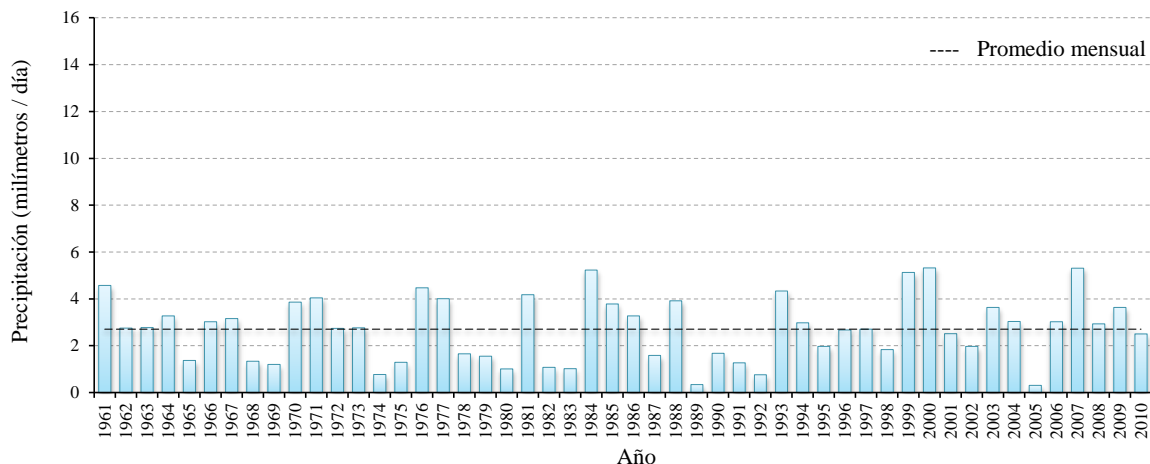
Figura 5b



En junio continuó el incremento de la precipitación en el río Acaponeta, en comparación con el mes anterior; el incremento fue evidentemente mayor con un patrón homogéneo (2.71 mm), observándose presencia de máximos de lluvia, los cuales rebasaron en promedio con 193% la media; se identificaron tres casos donde hubo altos niveles de precipitación, como en 1984 (5.23), 2000 (5.13 mm) y 2007 (5.31 mm) (Figura 6a); se conservó el patrón inverso, es decir los máximos para junio correspondieron a niveles mínimos para mayo.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Junio

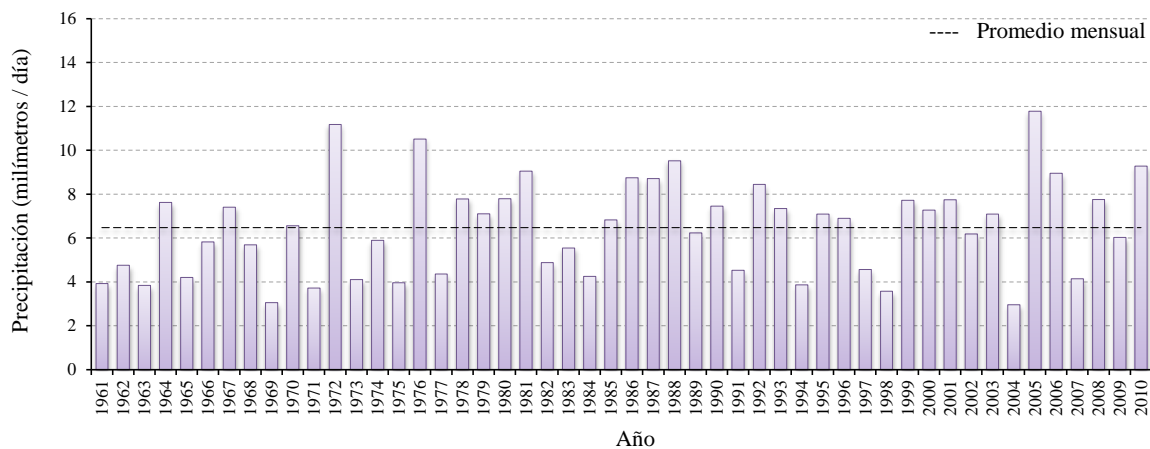
Figura 6a



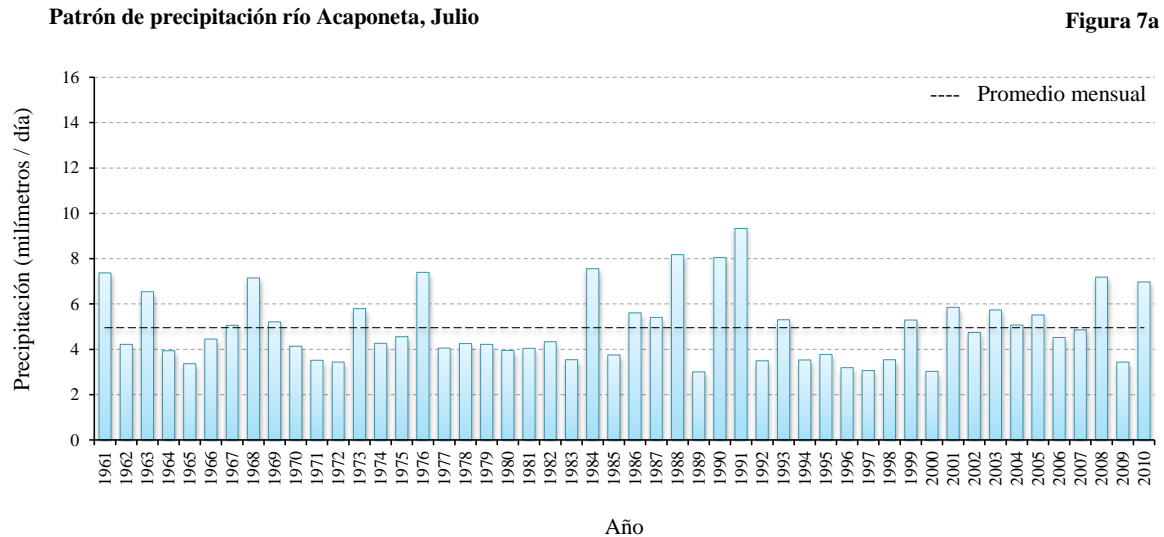
En junio en el río Candelaria la precipitación fue abundante con promedio mensual de 6.47 mm; se presentaron tres años donde se observaron máximos importantes, 1972 (11.18 mm), 1976 (10.50 mm) y 2005 (11.78), rebasando en promedio la media mensual en 172%. Los niveles máximos de lluvia siguieron el comportamiento inverso para ciertos meses anteriores, es decir, el nivel máximo que se presentó en 2005 correspondió a un nivel mínimo en mayo (Figura 6b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Junio

Figura 6b



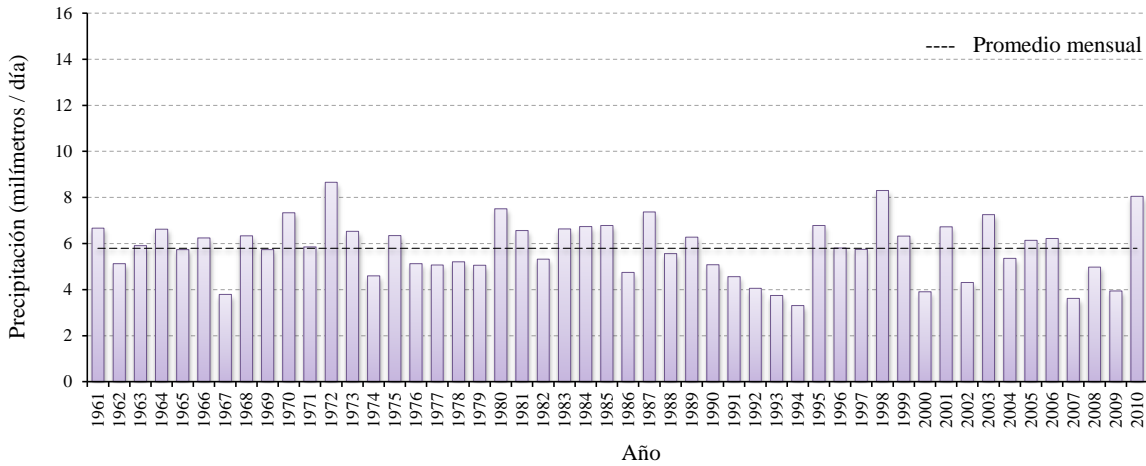
En julio en el río Acaponeta se conservaron los incrementos en los niveles de precipitación, con un patrón homogéneo (4.96 mm de promedio mensual), con presencia de algunos máximos de lluvia, que en promedio sobrepasaron la media mensual por 161%; fueron los años 1961 (7.37 mm), 1976 (7.39 mm), 1984 (7.56 mm), 1988 (8.18 mm), 1990 (8.05) y 1991 (9.34) (Figura 7a).



Para julio en la cuenca del río Candelaria, se registró una disminución en los niveles de precipitación con un comportamiento homogéneo (5.79 mm). Los años que mostraron un aumento en la precipitación fueron 1972 (8.66 mm), 1998 (8.30 mm) y 2010 (8.05 mm); sobrepasando en promedio la media mensual en 144%. Al hacer el análisis de este mes se observó en general que tampoco hubo correspondencia entre los máximos y mínimos de precipitación entre los meses anteriores (Figura 7b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Julio

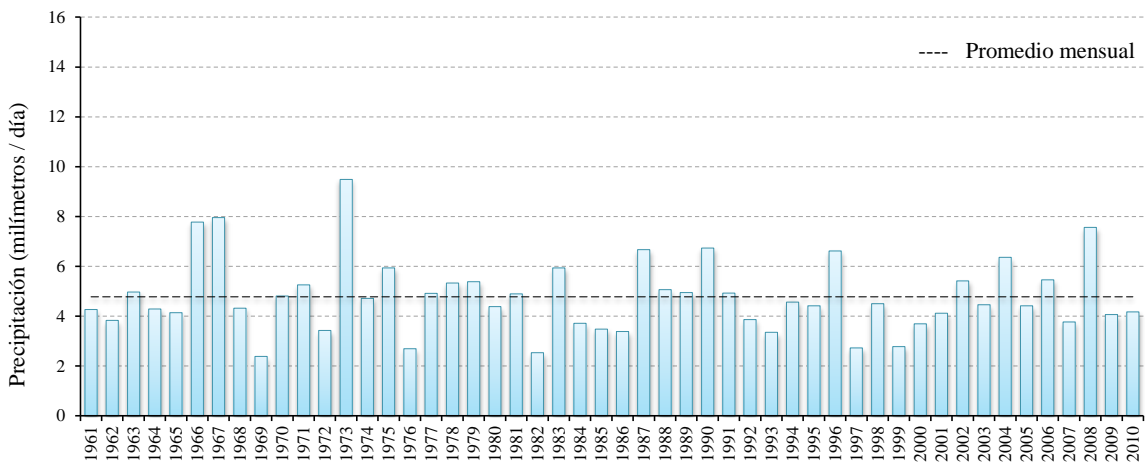
Figura 7b



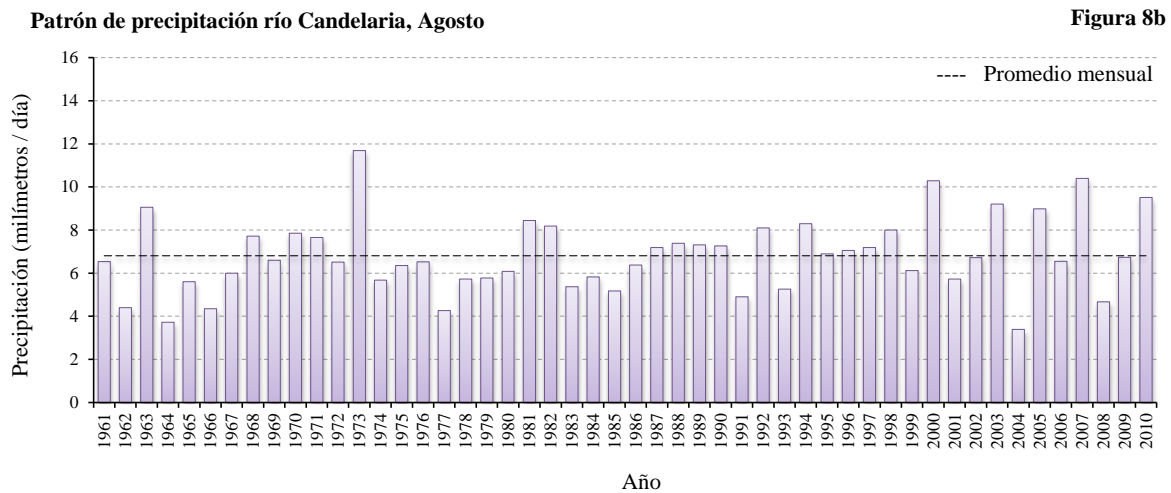
En agosto en la cuenca del río Acaponeta se mantuvieron los valores semejantes en precipitación al mes anterior (medial mensual de 4.78 mm), con una tendencia generalmente heterogénea, se observó que la mayoría de los registros se encontraron con precipitación significativa, destacaron los años de 1966 (7.78 mm), 1967 (7.96 mm), 1973 (9.49 mm), en promedio con 176% de lluvia por arriba de la media mensual (Figura 8a). Se registró una disminución en la tendencia de los meses anteriores (por ejemplo mayo Figura 5a, junio Figura 6a y julio Figura 7a); siendo sólo en julio y agosto los meses con niveles de pluviosidad semejantes.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Agosto

Figura 8a



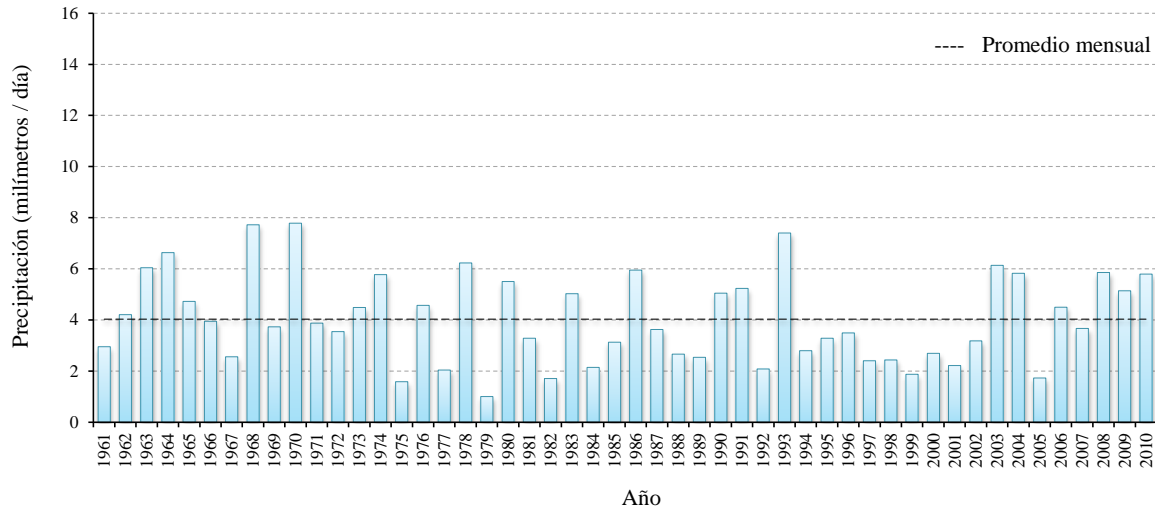
En el río Candelaria en agosto la precipitación se mantuvo homogénea con un promedio mensual de 6.81 milímetros, se observaron pocos años con valores máximos; mostrándose importantes niveles de precipitación en 1973 (11.68 mm), 2000 (10.29 mm) y 2007 (10.40 mm), siendo en promedio 158% de pluviosidad por arriba de lo normal (Figura 8b); también se observó que no hubo correspondencia entre máximos y mínimos con respecto a los meses anteriores.



En septiembre el río Acaponeta registró descensos en la de precipitación con un promedio mensual de 4.03 milímetros y un comportamiento heterogéneo. Se evidenciaron niveles significativos de precipitación, como en 1968 (7.73 mm), 1970 (7.78) y 1993 (7.40 mm), con 189% en promedio por encima de la media mensual (Figura 9a).

Patrón de precipitación río Acaponeta, Septiembre

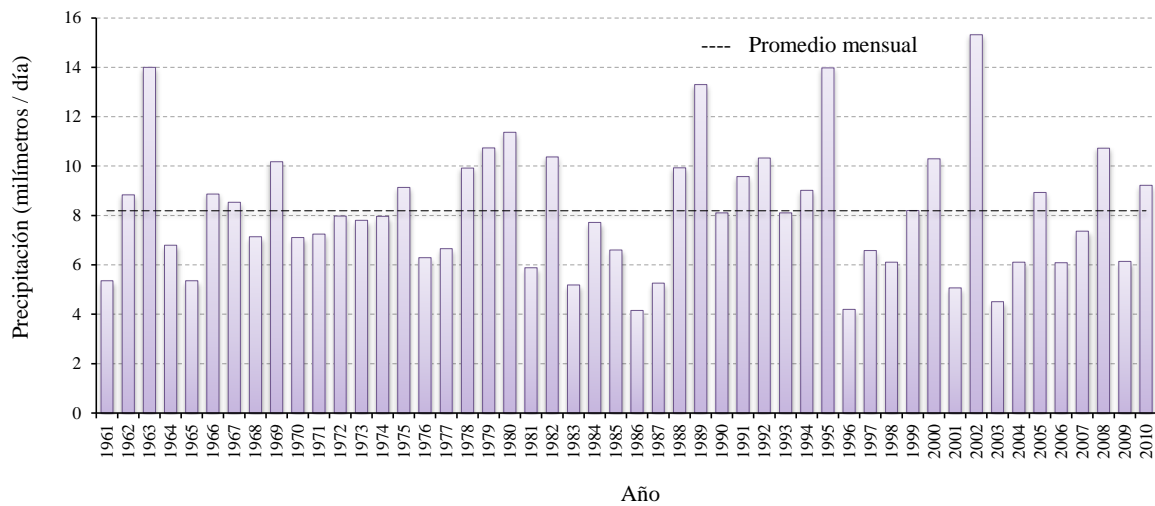
Figura 9a



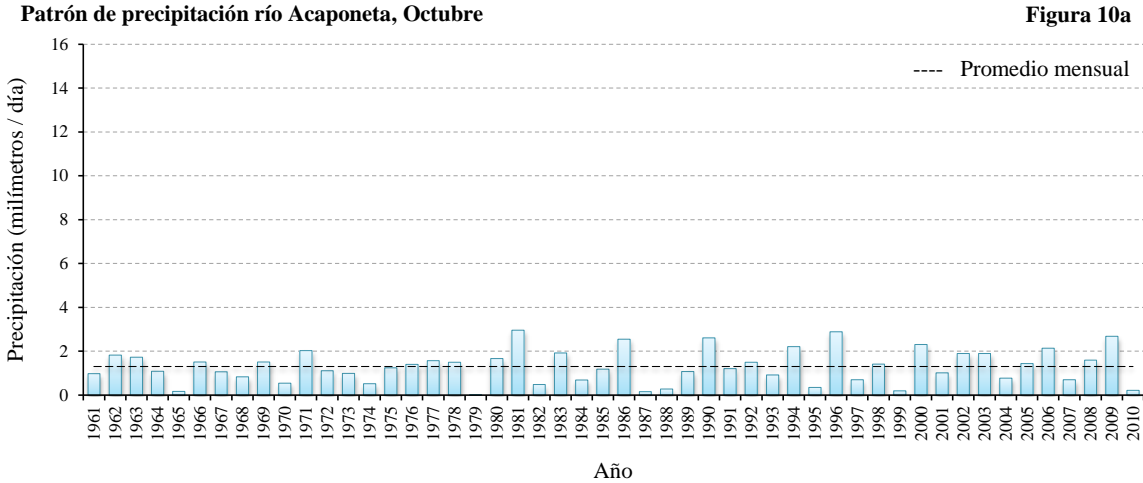
En el río Candelaria en septiembre los registros de precipitación continuaron en aumento, con promedio mensual de 8.19 milímetros, aunque con tendencia heterogénea. Destacaron máximos en 1963 (13.99 mm), 1989 (13.30 mm), 1995 (13.98 mm) y 2002 (15.32 mm), este último con 187% de precipitación por encima de la media. Nuevamente no hubo correspondencia entre los valores máximos y mínimos con los meses anteriores (Figura 9b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Septiembre

Figura 9b



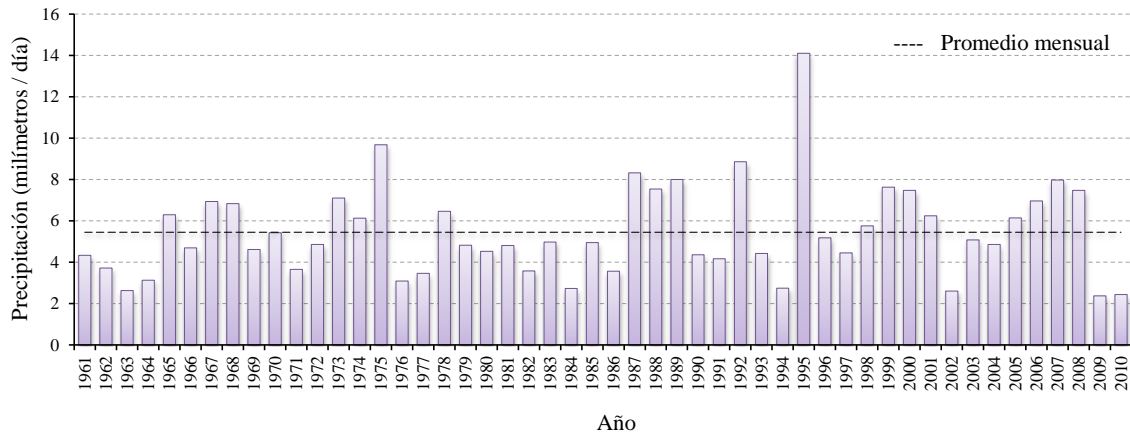
En octubre el río Acaponeta registró una marcada disminución en la precipitación, con 1.31 milímetros de promedio mensual, continuó con la tendencia heterogénea, algunos años tuvieron registros de lluvia imperceptible; sin embargo se observaron algunos años significativos como 1981 (2.96 mm), 1986 (2.55 mm), 1990 (2.61 mm), 1996 (2.89 mm) y 2009 (2.69 mm), en promedio con 209% de lluvia por arriba de la media mensual. Se evidenció semejanza en los niveles de lluvia en comparación con los meses anteriores (Figura 10a).



El río Candelaria para octubre también registró una disminución en la precipitación, con 5.45 milímetros de promedio mensual, con un comportamiento heterogéneo; los valores máximos de lluvia correspondieron a 1975 (9.69 mm), 1992 (8.86 mm) y 1995 con 14.11 milímetros, siendo este último el más relevante con un excedente que sobrepasó en 259% el promedio mensual. Para este mes y para esta cuenca en específico hubo una coincidencia con el mes anterior en cuanto al máximo de precipitación (Figura 10b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Octubre

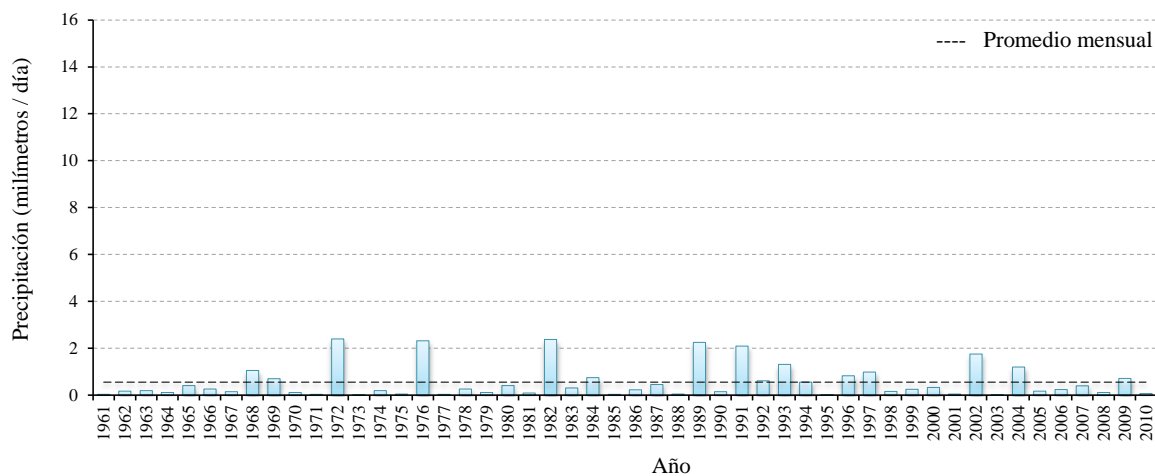
Figura 10b



En noviembre la precipitación fue escasa e incluso poco perceptible en el río Acaponeta (0.55 mm de promedio mensual); con un comportamiento heterogéneo. Se observaron máximos en 1972 (2.39 mm), 1976 (2.32 mm), 1982 (2.37 mm), 1989 (2.25 mm) y 1991 (2.09 mm), con 415% de precipitación promedio por encima de la media (Figura 11a). Entre los máximos y mínimos no hubo correspondencia con los meses anteriores.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Noviembre

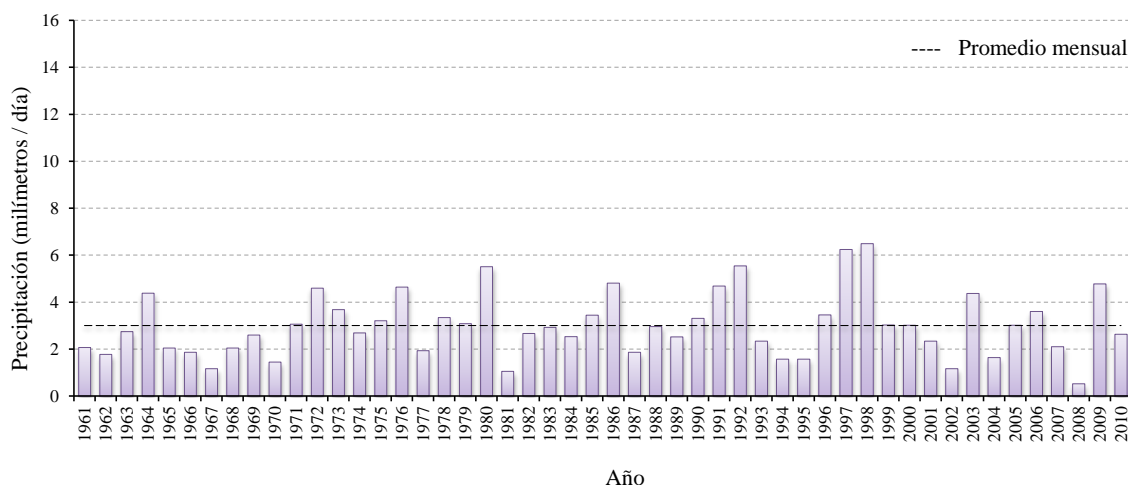
Figura 11a



En noviembre en el río Candelaria continuó descendiendo la precipitación y se mantuvo con un comportamiento heterogéneo (3.00 mm de promedio mensual); se observaron algunos niveles máximos en 1980 (5.51 mm), 1992 (5.54), 1997 (6.24 mm) y 1998 (6.49 mm) (Figura 11b), con 198% de precipitación en promedio por encima de la media. En lo que respecta a la comparación entre valores máximos entre meses, se observó que los presentes en noviembre correspondieron con el mes anterior.

Patrón de precipitación río Candelaria, Noviembre

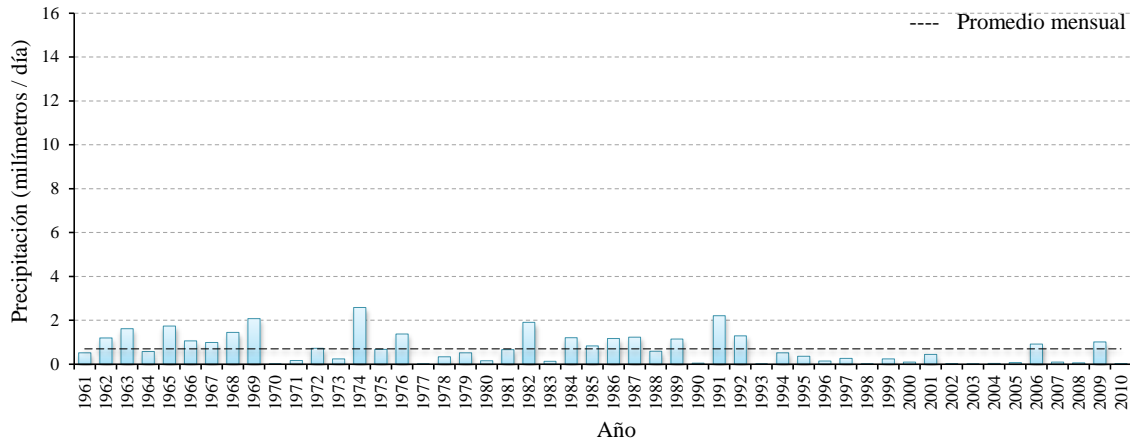
Figura 11b



El río Acaponeta en diciembre registró un comportamiento con heterogeneidad (0.69 mm de promedio mensual), se presentaron algunos máximos, como en 1963 (1.62 mm), 1969 (2.08), 1974 (2.59 mm), 1982 (1.91 mm) y 1991 (2.21 mm), de los cuales solo 1974 y 1991 alcanzaron a rebasar con más del 300% el promedio mensual de precipitación (Figura 12a). Para diciembre se observó que existía cierta correspondencia en cuanto a los niveles de precipitación altos alcanzados también en noviembre.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Diciembre

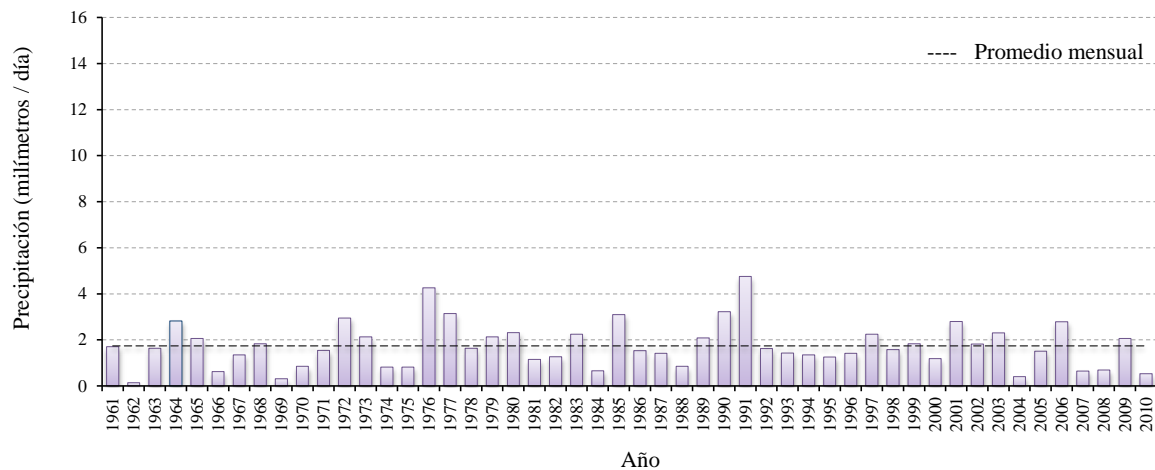
Figura 12a



En diciembre en el río Candelaria la disminución en la precipitación fue notoria y heterogénea (1.74 mm de promedio mensual); aunque se identificaron niveles de lluvia importantes como en 1977 (3.15 mm), 1985 (3.10 mm) y 1990 (3.23 mm), con pluviosidad de 182% en promedio por encima de la media; se mantuvo la correspondencia entre los máximos y mínimos con los meses anteriores (Figura 12b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Diciembre

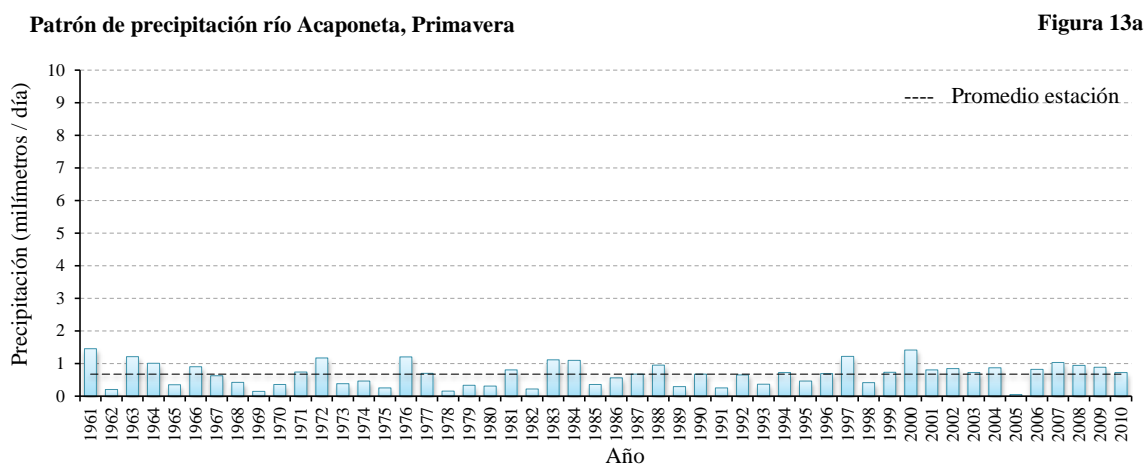
Figura 12b



Descripción de la precipitación por estación.

A continuación se describe la variabilidad de la precipitación promedio correspondiente a cada estación para el periodo 1961 a 2010 para cada una de las cuencas de estudio.

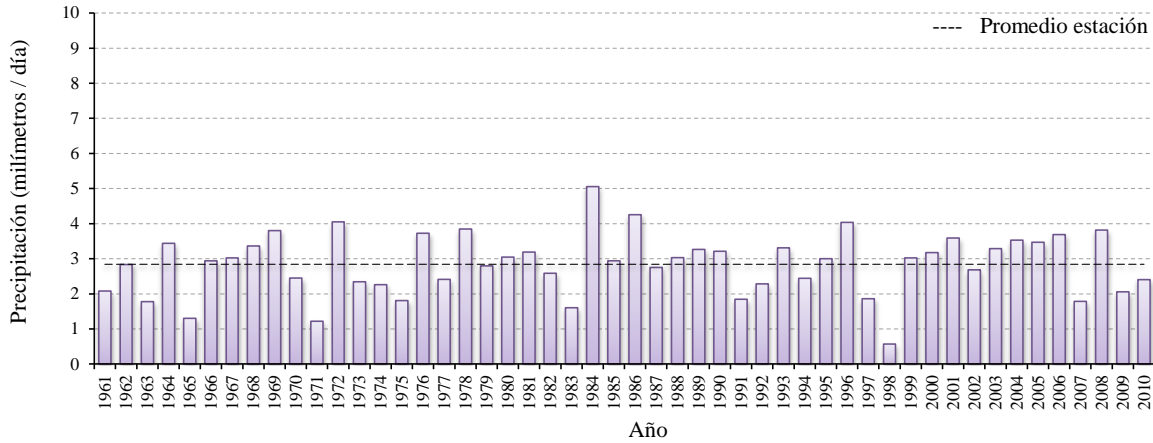
En el comportamiento de la precipitación estacional en el río Acaponeta, se observó que el régimen de precipitación fue heterogéneo con promedio mensual de 0.67 milímetros, el 45% de los datos presentaron valores por debajo del promedio, así mismo el 55% de los datos estuvieron ubicados en la media o sobre ella. Los registros fueron reproducibles, a pesar de no tener niveles altos que mostraran precipitaciones máximas. Los años que destacaron fueron 1961 (1.46 mm), 1997 (1.22 mm) y 2000 (1.41 mm), con 203% en promedio de precipitación por encima de la media (Figura 13a).



En comparación con el río Candelaria en primavera, el régimen de precipitación general fue homogéneo, con promedio mensual de 2.85 milímetros; con 75% de los registros semejantes a la media o por encima de ella. Se identificaron años con niveles altos de lluvia que sobrepasaron la media anual, como en 1984 (5.06 mm), el cual mostró una precipitación extraordinaria, alrededor de casi dos veces más por encima del promedio (178%) (Figura 13b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Primavera

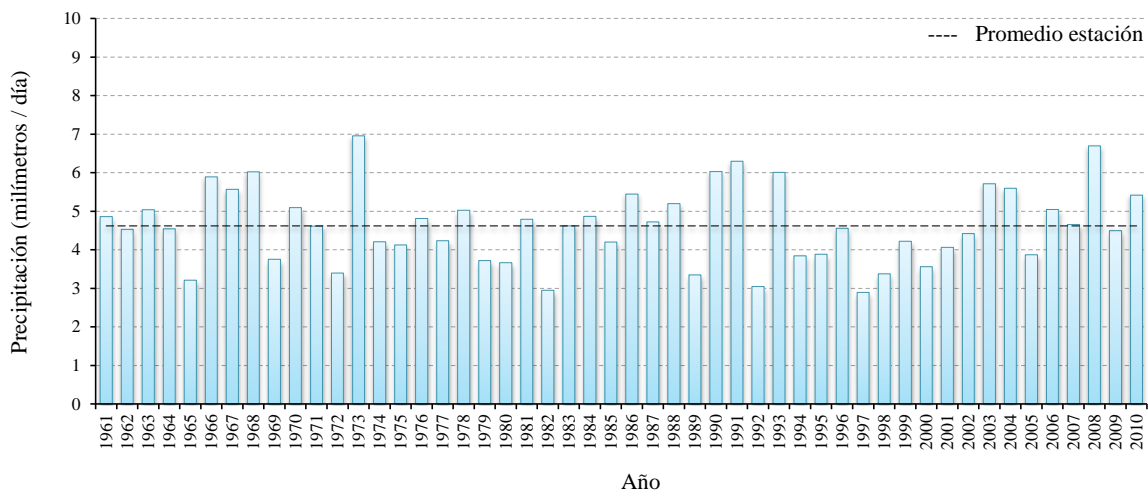
Figura 13b



En verano en el río Acaponeta se presentaron incrementos significativos en la precipitación; observándose un comportamiento homogéneo con un promedio mensual de 4.86 milímetros; alrededor de 80% de los datos de precipitación estuvieron cercanos al promedio. Se evidenciaron registros máximos en 1973 (6.96 mm), 1991 (6.30 mm) y 2008 (6.70 mm) (Figura 14a), con 137% promedio de lluvia por encima de la media; generalmente se presentó un comportamiento del 54% de niveles registrados dentro de lo normal.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Verano

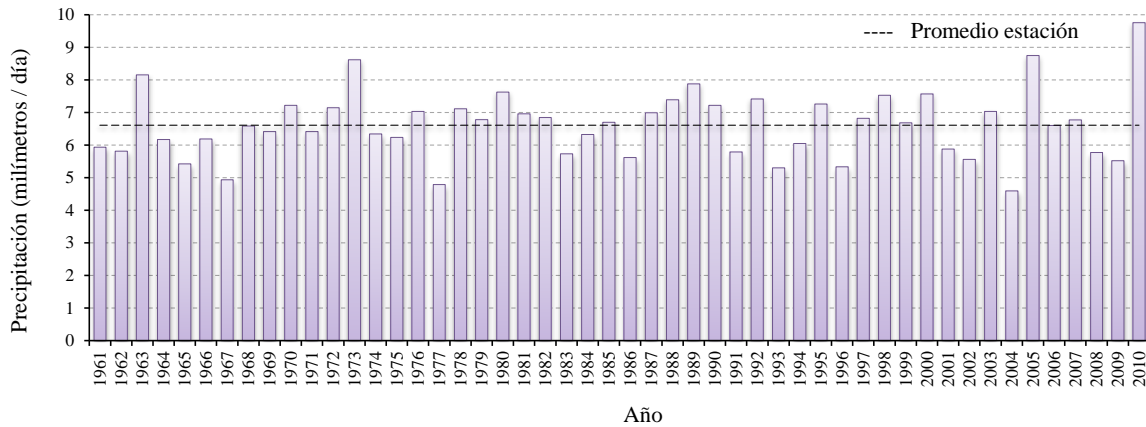
Figura 14a



En verano en el río Candelaria se incrementaron los niveles de precipitación con un promedio mensual de 6.61 milímetros, y tendencia homogénea; destacaron los años de 1963 (8.16 mm), 1973 (8.62 mm), 2005 (8.75 mm) y 2010 (9.75 mm), de éstos el último con 148% por encima del promedio (Figura 14b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Verano

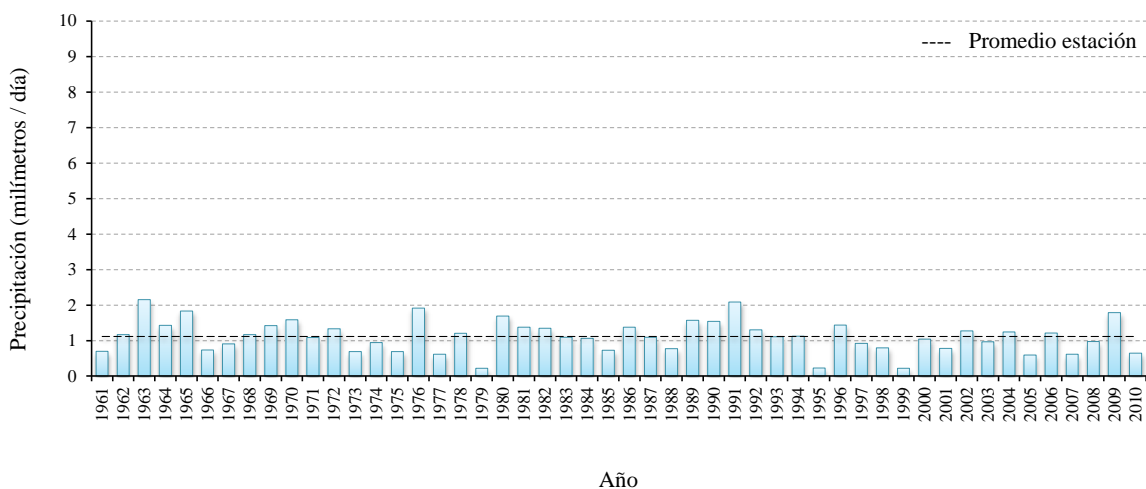
Figura 14b



En otoño en el río Acaponeta la precipitación disminuyó, con promedio mensual de 1.12 milímetros, su comportamiento fue homogéneo; aunque se observaron niveles máximos en 1963 (2.16 mm), 1976 (1.92 mm) y 1991 (2.09 mm), con 185% en promedio de lluvia por arriba de la media (Figura 15a).

Patrón de precipitación río Acaponeta, Otoño

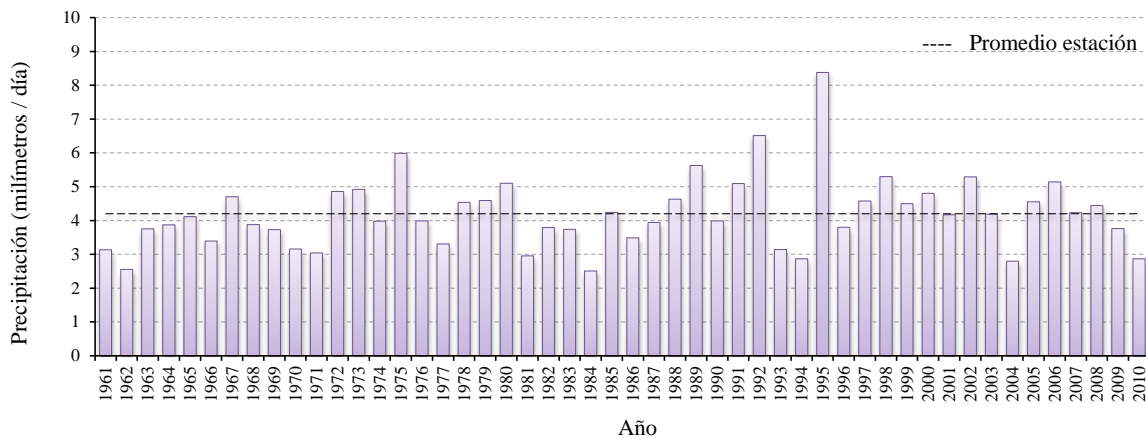
Figura 15a



Asimismo en el río Candelaria en otoño, se observó una disminución en la precipitación, el promedio mensual fue de 4.20 milímetros, aunque el decremento no fue tan evidente como en Acaponeta; sin embargo, fueron notorios máximos de precipitación en 1975 (5.99 mm), 1992 (6.51 mm) y 1995 (8.38 mm), éste último con un registro que sobrepasó en 200% la media (Figura 15b).

Patrón de precipitación río Candelaria, Otoño

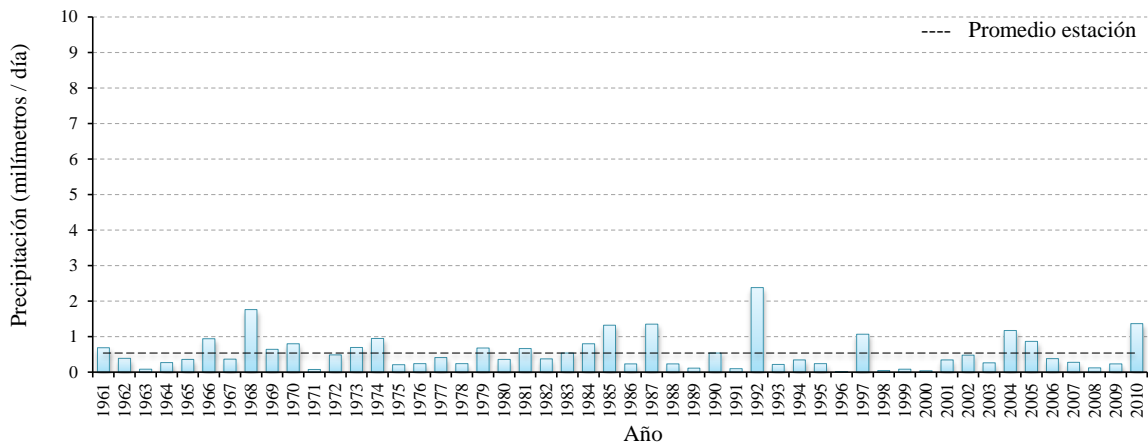
Figura 15b



Para el río Acaponeta, en invierno fue donde disminuyó marcadamente la precipitación, el promedio mensual fue de 0.54 milímetros, con un patrón de lluvia heterogéneo; destacando como niveles importantes los años de 1968 (1.76 mm), 1985 (1.32 mm), 1992 (2.38 mm) y 2010 (1.37 mm) (Figura 16a), en promedio con 316% de pluviosidad por encima de la media, cabe destacar el año de 1992 el cual la rebasó con 441%.

Patrón de precipitación río Acaponeta, Invierno

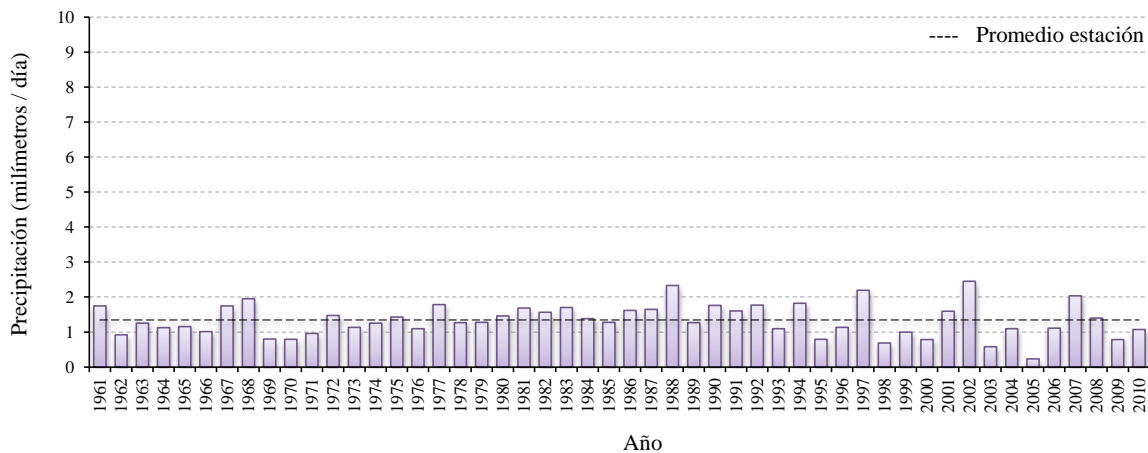
Figura 16a



En invierno en el río Candelaria se presentó una disminución considerable en la precipitación, el promedio mensual observado fue de 1.34 milímetros, con una tendencia homogénea; se observaron dos años con registros máximos, 1988 (2.34 mm) y 2002 (2.45 mm) (Figura 16b), en promedio con 179% de pluviosidad por arriba de la media.

Patrón de precipitación río Candelaria, Invierno

Figura 16b



TABLAS RELACIONADAS A LOS RESULTADOS

Tabla 1a Registro de precipitación según meses de lluvia y de secas en la cuenca del río Acaponeta, 1961-2010

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN SEGÚN MESES DE LLUVIA Y DE SECAS CUENCA DEL RÍO ACAPONETA												
MES/AÑO	1961	1963	1966	1967	1968	1969	1970	1972	1973	1974	1976	
MAYO	0.34	1.20	1.24	0.63	0.16	0.21	0.10	1.12	0.80	0.63	0.13	
JUNIO	4.57	2.78	3.02	3.15	1.34	1.20	3.86	2.74	2.77	0.78	4.47	
JULIO	7.37	6.55	4.45	5.06	7.15	5.22	4.13	3.44	5.80	4.26	7.39	
AGOSTO	4.27	4.97	7.78	7.96	4.32	2.38	4.81	3.43	9.49	4.71	2.70	
SEPTIEMBRE	2.95	6.04	3.94	2.56	7.73	3.72	7.78	3.54	4.49	5.78	4.57	
OCTUBRE	0.98	1.73	1.51	1.07	0.84	1.51	0.54	1.11	0.99	0.52	1.40	
LLUVIAS	3.41	3.88	3.66	3.41	3.59	2.37	3.54	2.56	4.06	2.78	3.44	
NOVIEMBRE	0.03	0.19	0.26	0.14	1.05	0.70	0.11	2.39	0.02	0.19	2.32	
DICIEMBRE	0.52	1.62	1.07	0.99	1.45	2.08	0.00	0.72	0.23	2.59	1.37	
ENERO	1.68	0.10	0.91	0.81	0.35	0.48	0.63	0.65	0.66	0.12	0.09	
FEBRERO	0.30	0.09	0.83	0.06	1.11	0.48	1.78	0.08	1.23	0.00	0.01	
MARZO	0.01	0.09	0.04	0.14	2.69	0.00	0.20	0.06	0.00	0.12	0.05	
ABRIL	0.33	0.31	0.67	0.05	0.21	0.02	0.01	0.03	0.08	0.14	0.28	
SECAS	0.48	0.40	0.63	0.36	1.14	0.63	0.46	0.65	0.37	0.53	0.69	
MES/AÑO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
MAYO	0.14	0.12	2.74	0.41	0.16	0.42	0.96	0.14	0.56	0.62	0.01	
JUNIO	4.18	1.08	1.03	5.23	3.78	3.27	1.59	3.91	0.34	1.68	1.27	
JULIO	4.04	4.34	3.55	7.56	3.75	5.60	5.41	8.18	3.00	8.05	9.34	
AGOSTO	4.89	2.54	5.94	3.71	3.48	3.38	6.67	5.06	4.95	6.73	4.92	
SEPTIEMBRE	3.29	1.70	5.03	2.14	3.13	5.94	3.63	2.66	2.53	5.04	5.23	
OCTUBRE	2.96	0.49	1.92	0.69	1.18	2.55	0.15	0.28	1.08	2.61	1.20	
LLUVIAS	3.25	1.71	3.37	3.29	2.58	3.53	3.07	3.37	2.08	4.12	3.66	
NOVIEMBRE	0.09	2.37	0.30	0.75	0.03	0.23	0.45	0.05	2.25	0.15	2.09	
DICIEMBRE	0.66	1.91	0.13	1.21	0.83	1.17	1.23	0.59	1.15	0.05	2.21	
ENERO	1.42	0.10	0.91	1.87	3.24	0.01	2.02	0.52	0.03	0.62	0.03	
FEBRERO	0.04	0.02	0.09	0.02	0.18	0.29	1.46	0.02	0.01	0.72	0.15	
MARZO	0.40	0.00	0.56	0.00	0.05	0.00	0.04	0.11	0.02	0.28	0.00	
ABRIL	1.00	0.08	0.04	0.07	0.13	0.34	0.09	0.19	0.13	0.04	0.00	
SECAS	0.60	0.75	0.34	0.65	0.74	0.34	0.88	0.25	0.60	0.31	0.75	
MES/AÑO	1992	1993	1996	1997	2000	2002	2004	2005	2007	2008	2009	2010
MAYO	0.88	0.16	0.33	1.00	0.90	0.74	0.48	0.03	0.30	0.56	1.21	0.44
JUNIO	0.76	4.34	2.67	2.71	5.32	1.98	3.03	0.31	5.31	2.93	3.64	2.51
JULIO	3.50	5.31	3.19	3.06	3.02	4.74	5.07	5.51	4.86	7.18	3.44	6.97
AGOSTO	3.87	3.35	6.62	2.73	3.69	5.41	6.36	4.42	3.77	7.56	4.07	4.17
SEPTIEMBRE	2.08	7.40	3.49	2.40	2.69	3.18	5.83	1.73	3.67	5.86	5.14	5.79
OCTUBRE	1.50	0.92	2.89	0.71	2.30	1.90	0.77	1.43	0.70	1.59	2.69	0.22
LLUVIAS	2.10	3.58	3.20	2.10	2.99	2.99	3.59	2.24	3.10	4.28	3.36	3.35
NOVIEMBRE	0.61	1.31	0.82	0.98	0.33	1.75	1.19	0.16	0.39	0.11	0.71	0.06
DICIEMBRE	1.29	0.00	0.14	0.27	0.10	0.02	0.03	0.07	0.10	0.06	1.02	0.02
ENERO	5.76	0.54	0.02	1.74	0.00	0.09	2.92	0.72	0.56	0.09	0.17	0.91
FEBRERO	0.76	0.03	0.01	0.80	0.00	1.39	0.31	1.79	0.20	0.20	0.10	3.18
MARZO	0.43	0.04	0.00	0.75	0.00	0.01	0.72	0.16	0.06	0.06	0.14	0.14
ABRIL	0.51	0.13	0.12	1.31	0.04	0.13	0.15	0.00	0.16	0.37	0.14	0.54
SECAS	1.56	0.34	0.19	0.97	0.08	0.56	0.89	0.48	0.25	0.15	0.38	0.81

Nota:

Corresponde a los años cuyos valores de precipitación fue por arriba del promedio mensual.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
MAYA 1.0, 1.1 y García, (1974).

Tabla 1b Registro de precipitación según meses de lluvia y de secas en la cuenca del río Candelaria, 1961-2010

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN SEGÚN MESES DE LLUVIA Y DE SECAS CUENCA DEL RÍO CANDELARIA										
MES/AÑO	1962	1963	1969	1972	1973	1975	1976	1977	1978	1980
MAYO	1.65	1.67	6.81	0.89	4.09	2.72	3.52	1.41	4.70	2.09
JUNIO	4.76	3.85	3.05	11.18	4.11	3.96	10.50	4.36	7.77	7.79
JULIO	5.12	5.91	5.73	8.66	6.53	6.34	5.12	5.06	5.21	7.51
AGOSTO	4.40	9.06	6.60	6.51	11.68	6.35	6.53	4.26	5.73	6.08
SEPTIEMBRE	8.83	13.99	10.18	7.98	7.80	9.14	6.29	6.66	9.92	11.37
OCTUBRE	3.72	2.63	4.62	4.86	7.10	9.69	3.09	3.46	6.46	4.53
LLUVIAS	4.75	6.18	6.17	6.68	6.89	6.37	5.84	4.20	6.63	6.56
ENERO	2.08	1.20	1.35	2.90	1.79	1.76	1.52	0.56	1.55	1.53
FEBRERO	0.15	1.00	0.41	1.25	1.23	1.43	1.02	2.68	1.13	1.41
MARZO	0.41	1.39	1.61	0.15	0.28	1.01	0.14	1.58	2.50	0.94
ABRIL	3.69	0.20	1.13	1.01	0.86	0.00	1.31	2.02	0.66	1.05
NOVIEMBRE	1.77	2.74	2.60	4.59	3.68	3.20	4.64	1.93	3.35	5.51
DICIEMBRE	0.13	1.64	0.32	2.95	2.12	0.82	4.26	3.15	1.63	2.32
SECAS	1.37	1.36	1.24	2.14	1.66	1.37	2.15	1.98	1.80	2.12
MES/AÑO	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1995
MAYO	11.55	2.31	6.18	1.19	1.60	3.29	2.44	2.36	1.05	1.49
JUNIO	4.25	6.83	8.74	8.71	9.52	6.23	7.45	4.53	8.45	7.09
JULIO	6.74	6.78	4.75	7.37	5.57	6.27	5.08	4.56	4.05	6.78
AGOSTO	5.83	5.18	6.37	7.18	7.38	7.31	7.26	4.91	8.10	6.89
SEPTIEMBRE	7.72	6.60	4.15	5.26	9.93	13.30	8.10	9.57	10.32	13.98
OCTUBRE	2.73	4.96	3.57	8.32	7.54	8.00	4.36	4.17	8.86	14.11
LLUVIAS	6.47	5.44	5.63	6.34	6.92	7.40	5.78	5.02	6.81	8.39
ENERO	1.97	1.10	3.83	0.86	4.47	1.36	1.89	1.96	3.03	0.82
FEBRERO	1.14	1.36	0.33	0.64	1.34	1.07	1.57	1.56	1.23	0.61
MARZO	0.73	1.31	0.48	2.58	0.69	0.66	2.01	0.07	0.52	0.50
ABRIL	0.18	2.80	0.30	0.76	0.57	2.36	2.22	0.08	1.41	3.33
NOVIEMBRE	2.52	3.45	4.81	1.86	2.96	2.52	3.30	4.68	5.54	1.57
DICIEMBRE	0.65	3.10	1.53	1.41	0.85	2.08	3.23	4.76	1.63	1.26
SECAS	1.20	2.18	1.88	1.35	1.81	1.67	2.37	2.18	2.23	1.35
MES/AÑO	1997	1998	2000	2001	2002	2004	2005	2007	2010	
MAYO	2.66	0.61	3.83	4.49	2.61	6.67	3.51	1.53	2.57	
JUNIO	4.56	3.58	7.27	7.74	6.18	2.96	11.78	4.14	9.28	
JULIO	5.75	8.30	3.91	6.72	4.31	5.36	6.13	3.62	8.05	
AGOSTO	7.19	8.00	10.29	5.72	6.73	3.39	8.98	10.40	9.51	
SEPTIEMBRE	6.58	6.11	10.29	5.06	15.32	6.11	8.94	7.36	9.22	
OCTUBRE	4.45	5.76	7.48	6.24	2.61	4.86	6.15	7.98	2.44	
LLUVIAS	5.20	5.39	7.18	6.00	6.29	4.89	7.58	5.84	6.85	
ENERO	1.72	1.16	1.00	0.63	2.01	0.84	0.32	2.82	1.66	
FEBRERO	3.47	0.49	0.56	3.00	4.15	2.08	0.13	2.47	1.07	
MARZO	0.90	0.14	0.31	0.27	1.26	1.27	0.12	0.82	0.57	
ABRIL	0.94	0.24	0.17	0.93	0.19	0.64	0.94	0.79	1.40	
NOVIEMBRE	6.24	6.49	3.02	2.34	1.17	1.64	3.01	2.10	2.63	
DICIEMBRE	2.25	1.58	1.18	2.80	1.81	0.40	1.51	0.65	0.53	
SECAS	2.59	1.68	1.04	1.66	1.77	1.14	1.00	1.61	1.31	

Nota:

Corresponde a los años cuyos valores de precipitación fue por arriba del promedio mensual.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
MAYA 1.0, 1.1 y García, (1974).

La variabilidad en la precipitación en condiciones estacionales en la cuenca del río Acaponeta mostró una distribución heterogénea en gran parte del año, con marcada estacionalidad. En enero los niveles observados fueron ligeramente mayores en comparación con febrero, marzo y abril donde la lluvia registrada fue imperceptible; en mayo y junio se observó un ligero incremento, presentándose en julio los niveles de precipitación máximos. En agosto se conservaron los niveles de lluvia cercanos a lo normal, disminuyendo ligeramente en septiembre; para octubre, noviembre y diciembre se evidenciaron nuevamente decrementos en la precipitación. Dado lo anterior se observó un comportamiento marcado entre épocas de lluvias y secas. Para confirmar este comportamiento la variabilidad estacional en la precipitación en la cuenca del río Acaponeta, mostró un comportamiento heterogéneo; en primavera se registró una pluviosidad notoria con valores cercanos a la media anual, para verano se observaron los niveles máximos de lluvia, disminuyendo nuevamente en otoño e invierno con registros perceptibles pero por debajo del promedio.

En la cuenca del río Candelaria, la variabilidad en la precipitación en condiciones normales mostró una distribución homogénea en los primeros cuatro meses del año, con ligera estacionalidad, registrándose niveles de pluviosidad por debajo de la media anual; mayo y junio mostraron ligeros incrementos, continuando con esta tendencia en julio y agosto, presentándose en septiembre los máximos de precipitación. A partir de octubre se observaron decrementos significativos, siendo en noviembre y diciembre donde se mostraron los niveles mínimos de precipitación. La variabilidad por estaciones, señaló un comportamiento ligeramente heterogéneo: en primavera la lluvia mostró valores cercanos o ligeramente por encima del promedio anual; para verano se evidenciaron los niveles de pluviosidad máxima, manteniéndose semejantes en otoño; en invierno se presentaron decrementos importantes en la precipitación.

Cabe señalar que tanto por mes (marzo) como por estación (invierno), para ambas cuencas correspondieron a los menores registros de precipitación; en el río Acaponeta llegó a niveles inferiores al 54% comparados con el río Candelaria, a pesar de que en este último también se observó la curva de pluviosidad anual pero menos marcada.

A partir del comportamiento de la precipitación en condiciones normales en la cuenca del río Acaponeta, se evidenciaron niveles de pluviosidad máxima, que en ciertas ocasiones

correspondieron con la presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios, como depresiones tropicales, tormentas tropicales o huracanes. Para la vertiente del Océano Pacífico, se identificaron en la cuenca del río Acaponeta en los 50 años analizados 23 ocurrencias entre depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes categoría 1 y 2 con trayectorias que fueron paralelas a la costa, y cuya presencia tuvo cierto grado de influencia en el incremento de la precipitación; observándose alguna asociación en siete años entre los aumentos de lluvia y la presencia de alguno de esos fenómenos.

Hernández (2001) señala que el periodo de ciclones tropicales para la vertiente del Océano Pacífico inicia desde mayo y terminan en la segunda quincena de noviembre con mayor afectación en septiembre, octubre y algunas veces en mayo; pero en el presente estudio la influencia de dichos fenómenos se hizo perceptible generalmente entre junio a noviembre, siendo de agosto a octubre cuando se evidenciaron los niveles de máxima pluviosidad. En esta cuenca, las tormentas tropicales influenciaron a la cuenca en ocho ocasiones; seis huracanes categoría 1; seis depresiones tropicales y tres huracanes categoría 2. La incidencia de estos fenómenos en el río, manifestó un comportamiento heterogéneo en pluviosidad; ya que en verano hubo correspondencia entre los incrementos en precipitación y la presencia de estos fenómenos ordinarios, incluso hasta otoño. Se destacó que en dos años se registraron incrementos significativos de lluvia, que no correspondieron a algún fenómeno meteorológico ordinario de los anteriores.

En la cuenca del río Candelaria, fueron más evidentes los niveles de pluviosidad máxima, los cuales mostraron mayor correspondencia con la presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios, como depresiones tropicales, tormentas tropicales o huracanes. Para el Golfo de México en el periodo de 50 años, en la cuenca del río Candelaria se identificaron 21 ocurrencias entre depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes categoría 1, 2, 4 y 5 con trayectorias que fueron paralelas a la costa, y cuya presencia tuvo cierto grado de influencia en el incremento de la precipitación; asociándose en seis años los aumentos de lluvia y la presencia de alguno de estos fenómenos.

La presencia de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes categoría 1, 2, 4 y 5 registrados por mes, manifestó un comportamiento heterogéneo en los niveles de precipitación en la cuenca del río Candelaria, con fuerte componente en las estaciones.

Hernández (2001) señala que el periodo de ciclones tropicales para la vertiente del Océano Atlántico inicia desde la segunda quincena de junio hasta noviembre, con mayor afectación en agosto y septiembre; en el presente estudio la influencia de dichos fenómenos se hizo perceptible de junio (con excepción de julio en algunos años) a noviembre; siendo de agosto a noviembre donde se evidenciaron los niveles de máxima pluviosidad. En el caso de este río, las depresiones tropicales influenciaron a la cuenca en siete ocasiones: siete tormentas tropicales; tres huracanes categoría 1; dos huracanes categoría 2; un huracán categoría 4 y un huracán categoría 5. La incidencia de estos fenómenos en el río por estaciones, manifestó un comportamiento heterogéneo; en primavera no se evidenció influencia de estos fenómenos en los incrementos de precipitación; sin embargo, los niveles máximos registrados correspondieron con las estaciones: en verano se observó cierta correspondencia entre los aumentos de lluvia y la presencia de dichos fenómenos, conservándose la misma tendencia en otoño, pero en invierno no hubo ninguna influencia, se registraron decrementos. Se evidenció un año donde se registró un incremento significativo de precipitación, sin embargo, éste no correspondió a algún fenómeno, por lo que pudo deberse a la influencia de un efecto de la variación del clima.

Cabe destacar que del análisis por mes como por estación, la precipitación influenciada por presencia de fenómenos meteorológicos ordinarios en el río Acaponeta mostró incrementos en los niveles del 170 al 300% comparado con el río Candelaria, donde se aumentó la precipitación con base en el promedio anual de 230 a 340%

En la cuenca del río Acaponeta; se evidenció pluviosidad máxima que se asoció con la presencia del fenómeno meteorológico extraordinario de El Niño. Sin embargo la variabilidad en la precipitación en condiciones de El Niño en la cuenca, no mostró una visible correlación por año, pero en particular en los meses de invierno se asociaron con mayores precipitaciones como lo ha observado Magaña (2004) en el noroeste del Pacífico. En el verano y otoño de ciertos años (agosto a noviembre) la influencia de El Niño provocó incrementos en la precipitación cercanos o por encima de la media anual; cabe señalar que la presencia de este evento puede tener amplia variación no solamente mensual sino interanual como se observó en enero de 1992; traducéndose en incrementos en aproximadamente dos veces más que la media anual; incluso la presencia de eventos máximos de El Niño

influyeron, de los 50 años, en siete ocasiones con aumentos de lluvia distribuidas en marzo, julio, agosto y noviembre.

En la cuenca del río Candelaria, se evidenciaron niveles de pluviosidad máxima que correspondieron a la presencia del fenómeno meteorológico extraordinario de El Niño en forma heterogénea por año, a pesar de que en ciertos meses correspondientes a primavera y otoño se pudo percibir cierta influencia. En el verano e invierno de ciertos años El Niño coincidió con incrementos en la precipitación por encima de la media anual; cabe señalar que la presencia de este evento puede tener amplia variación no solamente mensual sino interanual (NOAA, 2010) como se observó en mayo de 1969 y septiembre de 2002; traduciéndose en incrementos dos veces más que el promedio anual; incluso la presencia de eventos máximos de El Niño influyeron en 11 ocasiones con aumentos de lluvia distribuidas en mayo, junio, agosto septiembre y diciembre; contrariamente, se observó que para la cuenca de este río se evidenciaron decrementos significativos en los meses correspondientes al invierno en presencia de El Niño, como lo comentó Magaña (2004) para la vertiente del Océano Atlántico.

Cabe señalar que del análisis por mes como por estación, de la precipitación influenciada por presencia del fenómeno de El Niño en el río Acaponeta, mostró que en ciertos años específicos (1968 y 1992), hubo incrementos de hasta más del doble de la media anual, siendo en invierno donde se presentaron los máximos incrementos de lluvia; comparado con el río Candelaria, donde se observó que la influencia de este fenómeno provocó incrementos en las estaciones de primavera (1972) y otoño (1991 y 2002) y decrementos significativos en el invierno pero en forma heterogénea interanual.

En ciertos casos se observó que en un mismo año se presentaba tan intensamente El Niño que podía permanecer tres meses así como La Niña como lo ha registrado la NOAA (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). Este es el caso de la cuenca del río Acaponeta; donde se observaron niveles de pluviosidad máxima pero que correspondieron a la presencia del fenómeno meteorológico extraordinario de La Niña; incluso asociados heterogéneamente por año, en particular en los meses de verano y otoño. En estas estaciones de ciertos años (junio a septiembre) se observó la asociación de

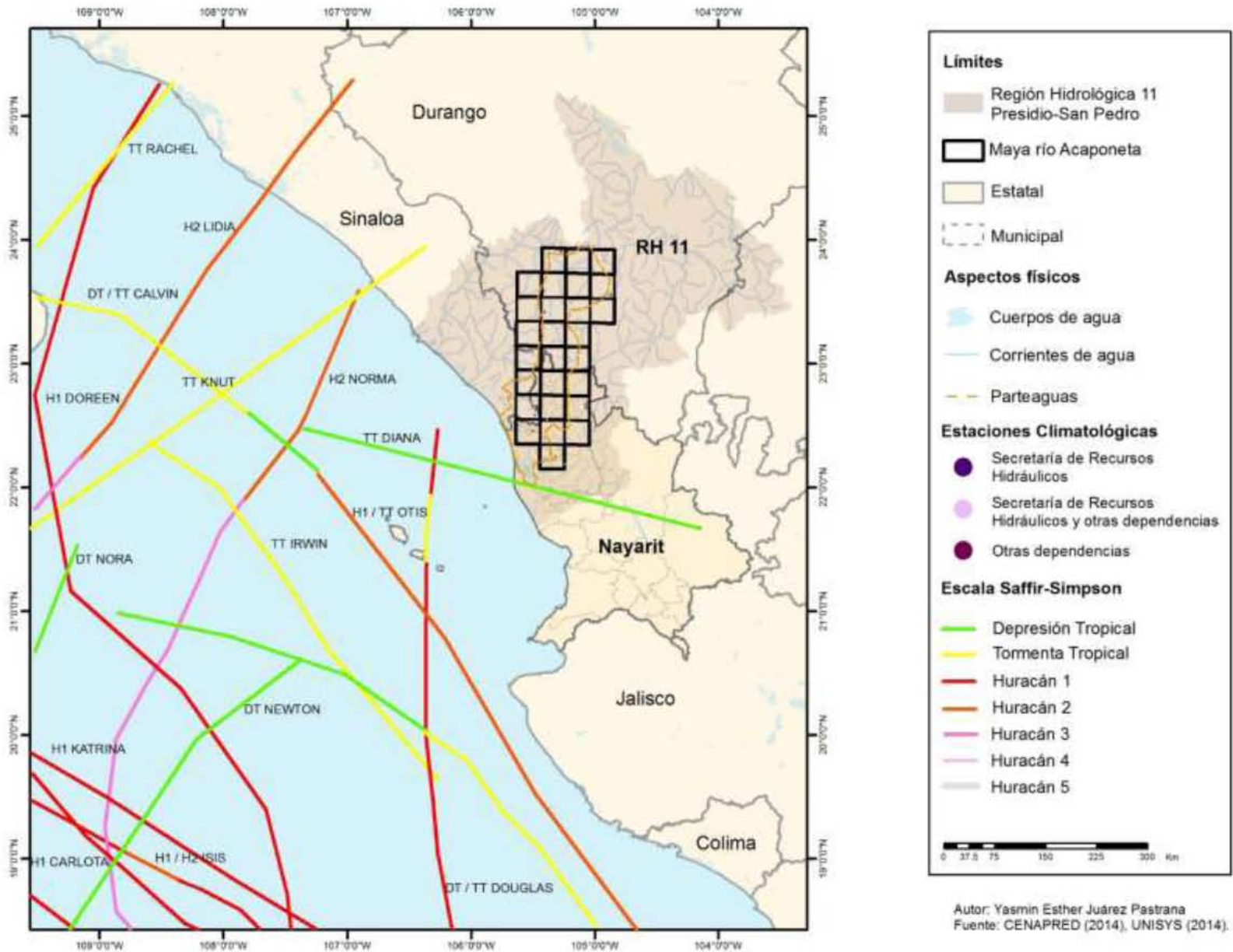
la presencia de La Niña que pudo provocar incrementos en la precipitación cercanos o ligeramente por encima de la media anual; cabe señalar que la presencia de este evento puede tener amplia variación no solamente mensual sino interanual como se observó en septiembre de 1970 y febrero de 2010, traducándose en incrementos en aproximadamente dos veces más que la media anual; incluso la presencia de eventos máximos de La Niña influyeron en dos ocasiones con aumentos de lluvia distribuidas en mayo y diciembre.

En la cuenca del río Candelaria, se evidenciaron niveles de pluviosidad máxima que mostraron cierta correspondencia con La Niña; en particular en los meses correspondientes a primavera y otoño. En el verano e invierno de ciertos años la influencia de La Niña provocó ligeros incrementos en la precipitación por encima del promedio anual; cabe señalar que la presencia de este evento puede tener amplia variación no solamente mensual sino interanual como se observó en abril de 1995; traducándose en incrementos dos veces más que el promedio anual; incluso la presencia de eventos máximos de La Niña influyeron en seis ocasiones con aumentos de lluvia en mayo, junio, agosto septiembre y octubre; de estos últimos como nivel máximo extraordinario de lluvia registrado en los 50 años como lo documentó Rosengaus (2002) en la vertiente del Océano Atlántico.

Cabe mencionar que del análisis por mes como por estación, de la precipitación influenciada por presencia del fenómeno de La Niña en el río Acaponeta, mostró que en ciertos años específicos hubo incrementos de hasta más del doble de la media anual, siendo en verano (1973 y 2008) y otoño (1970) donde se presentaron los máximos incrementos de lluvia, comparado con el río Candelaria, donde se observó que la influencia de este fenómeno se asoció con incrementos en primavera (1996) y otoño (1995) con mayor influencia en éste último.

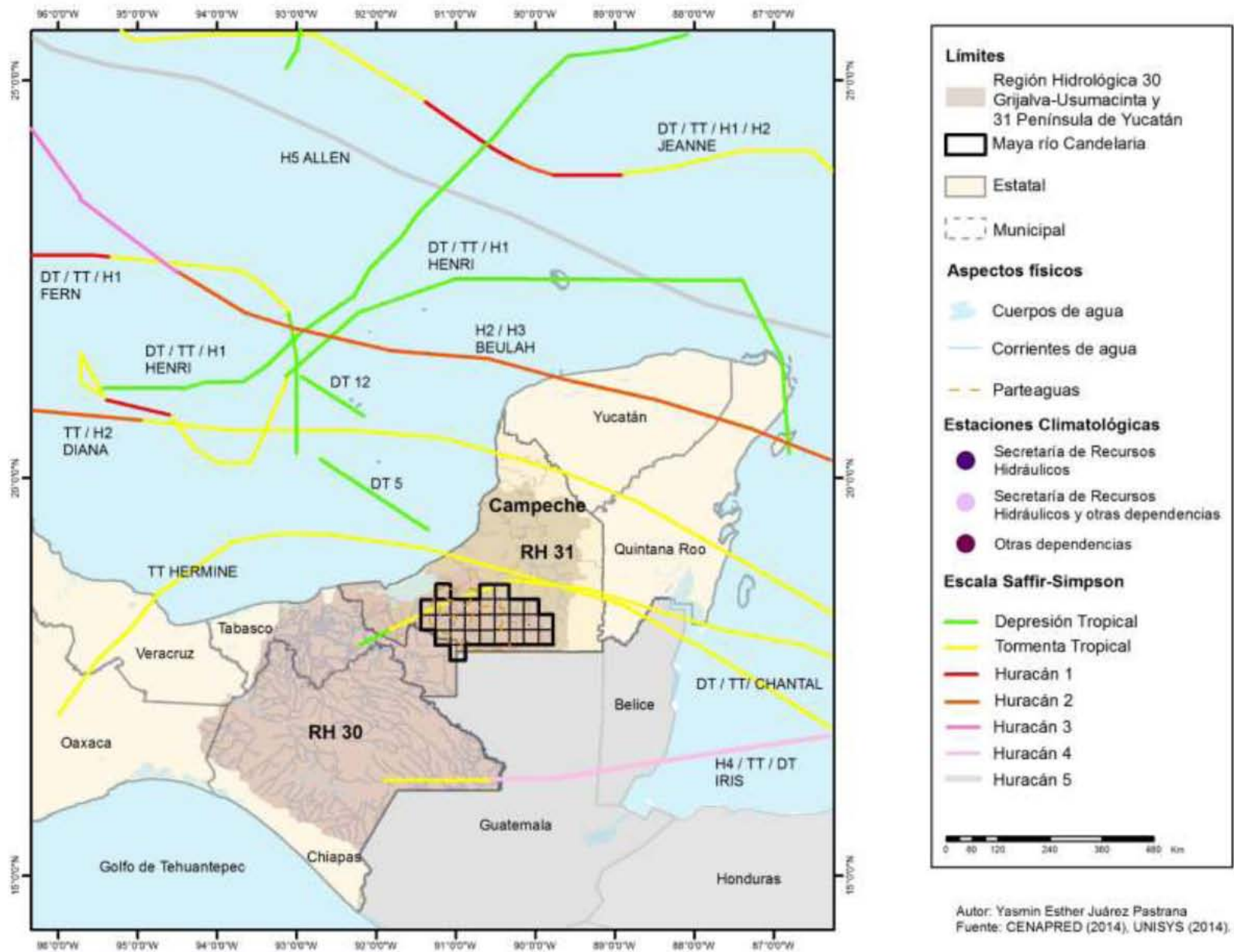
Influencia de ciclones tropicales y huracanes en la cuenca del río Acaponeta, 1961 - 2010

Mapa 3a



Influencia de ciclones tropicales y huracanes en la cuenca del río Candelaria, 1961 - 2010

Mapa 3b



TABLAS RELACIONADAS A LA DISCUSIÓN

Tabla 2a Registro de fenómenos meteorológicos ordinarios en la cuenca del río Acaponeta por categoría y año

AÑO	CATEGORIA							TOTAL DE INCIDENCIAS EN LA CUENCA DEL RÍO ACAPONETA
	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5	
1961	.	.	.	.	.	.	.	.
1962			04-oct					1
1967			25-jun					2
			31-ago-01-sep					
1979	.	.	.	.	.	.	.	.
1980	29-oct		09-ago	08-ago				3
1981	30-ago	29-ago	29-oct	12-oct				7
	21-sep	21-sep						
		29-30-oct						
1990	23-jun	23-jun	09-jul					5
		26-ago						
		02-oct						
1991		12-nov						1
1993	01-jul	08-jul		13-sep				4
	22-sep							
Total								23

Nota:

Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson: Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Los años en "cursivas" no cuentan con información, se consideraron para la tabla ya que tuvieron precipitación considerable, intensa o extraordinaria sin la presencia de algún fenómeno de tipo ordinario.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

CENAPRED y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

Tabla 2b Registro de fenómenos meteorológicos ordinarios en la cuenca del río Candelaria por categoría y año

AÑO	CATEGORIA							TOTAL DE INCIDENCIAS EN LA CUENCA DEL RÍO CANDELARIA
	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5	
1962	.	.	.	.	.	.	.	.
1967	01-02-oct	02-oct		17-18 sep				3
1979	16-sep	16-17-sep	17-18-sep					4
1980	15-16-nov	22-23-sep	11-nov	12-nov			07-08-ago	7
		10-11-nov	12-nov					
1981	27-ago							3
	17-18-jun							
1990		06-07-ago						1
2001	09-oct	09-oct				09-oct		5
	22-ago	21-ago						
Total								21

Nota:

Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson: Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Los años en "cursivas" no cuentan con información, se consideraron para la tabla ya que tuvieron precipitación considerable, intensa o extraordinaria sin la presencia de algún fenómeno de tipo ordinario.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

CENAPRED y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

Tabla 3 Registro de episodios del fenómeno de El Niño y La Niña según NOAA, 1960-2010

EPISODIOS DE FENÓMENO DE EL NIÑO Y LA NIÑA												
Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE ¹
1960	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
1961	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1962	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.5 ²	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.4	-0.6 ³	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3 ⁴	0	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.7	1.9	1.9	1.7
1966	1.4	1.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2
1967	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	1
1969	1.1	1.1	1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.8
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-1
1971	-1.2	-1.3	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.6	-0.3	0.1	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.6	-0.1	-0.5	-0.8	-1	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-2
1974	-1.9	-1.6	-1.2	-1	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.7
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-1	-1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1977	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1
1979	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	0	0	-0.1
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1982	-0.1	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	1	1.5	1.9	2.1	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.8	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1	0.7	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.2	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1	1.2
1995	1	0.8	0.6	0.3	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.7	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.3
1998	2.2	1.8	1.4	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5
1999	-1.5	-1.3	-1	-0.9	-0.9	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3
2003	1.1	0.8	0.4	0	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.8
2006	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1	1
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
2010	1.6	1.3	1	0.6	0.1	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5

Nota:

¹ Corresponde al promedio de tres meses consecutivos.

² Los números en color rojo corresponden a episodios de El Niño.

³ Los números en color azul corresponden a episodios de La Niña.

⁴ Los números en color negro no tienen influencia de algún fenómeno extraordinario.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season.

Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Tabla 4a Registro de tipo de precipitación por mes, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Acaponeta

MES	ACAPONETA								
	EL NIÑO			LA NIÑA			NORMAL		
	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA
ENERO	1977 1987	1997 2004	1992	1984	1985		1961 1979 1981		
FEBRERO	1987 1997 2002			1973 2005	2010				
MARZO	1983 1997 2004		1968	2001					
ABRIL	1966 1992	1997						1981	
MAYO	1963 1987 1992 1997	1966 1972		1964 2000 2006	2009	1983			
JUNIO	1977 1986 2007			1970 - 1971 1976 1984 - 1985 1988 1999 - 2000			1993	1961 1981	
JULIO	1963 1968 1973 1976	1988	1991	2008 2010	1984			1961 1990	
AGOSTO	1966 1978 1987 2002 2004		1973	1975 1983 1996 2008			1967 1979 1990		
SEPTIEMBRE	1963 1978 1983 1986 1991 2003 - 2004	1968		1964 1974 2008 2010	1970		1980 1990	1993	
OCTUBRE	1986 1994 2006	2009		1971 2000	1996		1990	1981	
NOVIEMBRE	1968 1997 2004	1972 2002	1976 1982		1989		1993	1991	
DICIEMBRE	1968 1976 1986 - 1987 2006 2009	1963 1965 1969	1982 1991- 1992	1984		1974	1962		

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season.

Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Tabla 4b Registro de tipo de precipitación por mes, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Candelaria

MES	CANDELARIA								
	EL NIÑO			LA NIÑA			NORMAL		
	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA
ENERO	1968 1972 1992 1994 2007	1986 1988					1967		
FEBRERO	1977 2007	1997 2002		2001			1981		
MARZO	1966 1969	1978 1987		1996			1990		
ABRIL	1977			1989 2008	1985 1995 - 1996		1967 1990	1962	
MAYO	1973 1978		1969 1986 2004		1964	1984			
JUNIO	1978 1986 - 1987 1988 1992		1972 2005	1964 2006 2008 2010		1976	1967 1981		
JULIO	1987 1995 2003	1972 1998		2010			1980		
AGOSTO	1963 1968 1982 1992 1994	2003 2005 2007	1973		2010	2000	1981		
SEPTIEMBRE	1969 1978 1982 1991 - 1992 2005		1963 1995 2002	1975 1988 2000 2008		1989		1979 1980	
OCTUBRE	1968 1978 1987 1992 2006			1973 1988 - 1989 1999 - 2000 2007 - 2008		1975 1995	1967		
NOVIEMBRE	1972 1976 1986 2003 2009	1991 - 1992 1997 - 1998		1964				1980	
DICIEMBRE	1972		1976 - 1977 1991	1964 2006	1985		2001	1990	

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season.

Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Tabla 5a Registro de tipo de precipitación por estaciones, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Acaponeta

ACAPONETA									
ESTACIÓN	EL NIÑO			LA NIÑA			NORMAL		
	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA
PRIMAVERA	1963 1972 1976 1983	1997		1984	2000			1961	
VERANO	1986 2003 2004	1966 1968 1991				1973 2008		1967 1990 1993	
OTOÑO		1963 1965 1991		1970 1996	1976 2009		1980		
INVIERNO	1966 1968 1987 1997 2004		1992	1974 1985		2010			

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season.

Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Tabla 5b Registro de tipo de precipitación por estaciones, con presencia de El Niño, La Niña y en año normal en la cuenca del río Candelaria

CANDELARIA									
ESTACIÓN	EL NIÑO			LA NIÑA			NORMAL		
	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA	CONSIDERABLE	INTENSA	EXTRAORDINARIA
PRIMAVERA	1968- 1969 1976 1978 1986	1972		1964 2001 2008	1996	1984			
VERANO		1963 2005			1973	2010			
OTOÑO	1972 1991 1998 2002	1992		1973 2006	1975 1989	1995	1967 1980		
INVIERNO	1968 1977 2007		1988 1997 2002				1961		

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season.

Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

CONCLUSIÓN

En conclusión, en las cuencas Acaponeta y Candelaria la estacionalidad normal, los fenómenos meteorológicos ordinarios (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes) y los extraordinarios (El Niño y La Niña), determinados en 50 años mostraron un patrón desigual en ambas cuencas.

El régimen de precipitación estacional y sequía de la cuenca del río Acaponeta fue más extremo anualmente, además con mayor influencia por fenómenos ordinarios (tormentas tropicales) traducidos en una máxima pluviosidad, en el caso de El Niño la influencia fue más evidente en invierno aunque no siempre se asoció con máximas precipitaciones.

En el caso de la cuenca del río Candelaria por su fuerte asociación con el patrón de los vientos alisios la precipitación atenuó la estacionalidad normal anual; el número de fenómenos meteorológicos ordinarios fue menor, cabe destacar que las máximas pluviosidades registradas para esta cuenca se registraron en verano, siendo septiembre con el mayor registro coincidiendo en ciertas ocasiones con La Niña y tormentas tropicales.

La variabilidad no solamente mensual sino inter e intra - anual de El Niño y La Niña sobre la precipitación en ambas cuencas hace más complicada la interpretación de su influencia, sin embargo fue más evidente en la cuenca del Acaponeta.

RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos permiten desarrollar algunas recomendaciones.

Elaborar un diagnóstico hidroclimático con bases de datos amplias, que permita determinar su tendencia a largo plazo para definir las estrategias de planeación futuras, que incluyan aspectos de conservación y manejo.

Estudios a largo plazo que incluyan las diferentes áreas y subdivisiones de la Geografía enfocadas a una planeación equilibrada entre la conservación del recurso hídrico y su manejo, para las diferentes actividades antropogénicas.

Con base en estudios interdisciplinarios e integrativos analizar los beneficios y perjuicios de los represamientos ante la variabilidad de los eventos meteorológicos ordinarios y extraordinarios; considerando en ello todas las subdivisiones de la Geografía.

Proponer programas de monitoreo de cuencas locales de aquellos parámetros que representen condiciones ambientales de cambio.

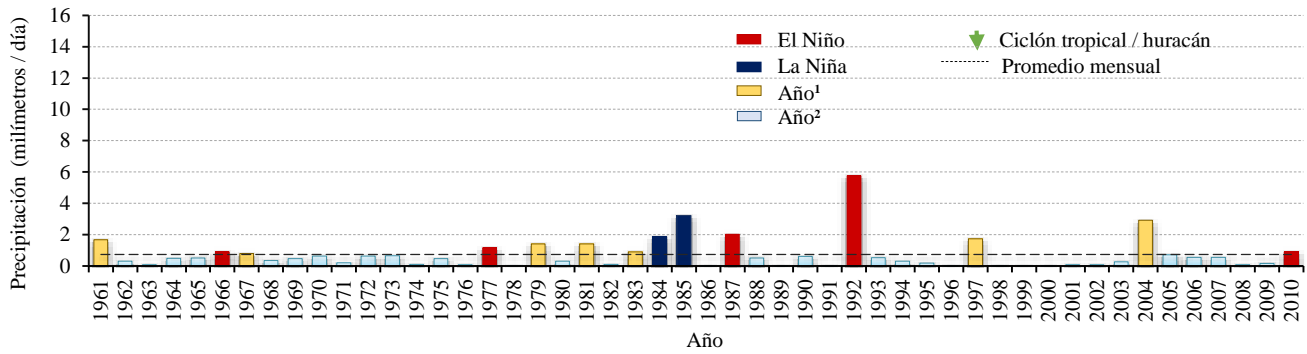
Debido a la gran variabilidad tanto en los fenómenos ordinarios (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes) así como su sinergismo heterogéneo con los fenómenos de El Niño y La Niña, es recomendable realizar estudios más detallados para discriminar la mayor influencia de alguno de ellos.

ANEXO DE FIGURAS

Registro de la variabilidad de la precipitación en las cuencas de los ríos Acaponeta (a) y Candelaria (b) por mes y tipo de fenómeno

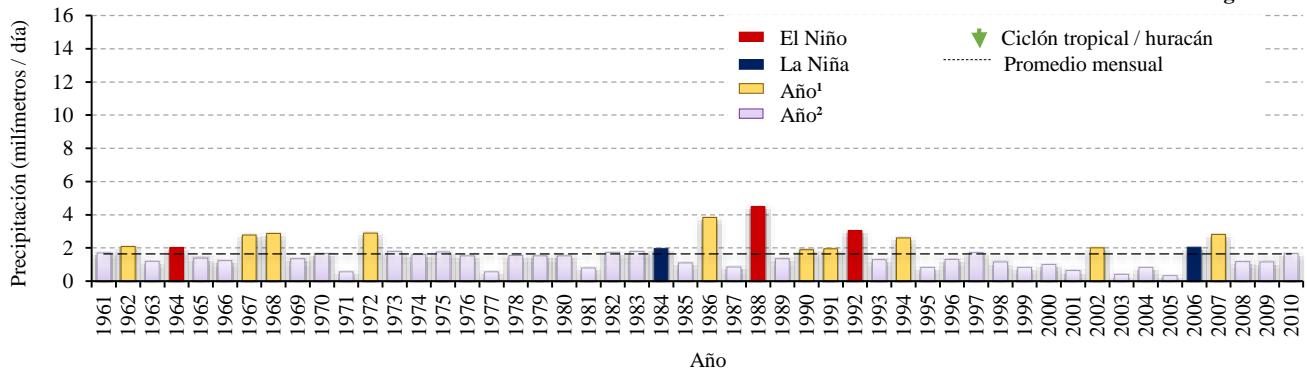
Patrón de precipitación río Acaponeta, Enero

Figura 17a



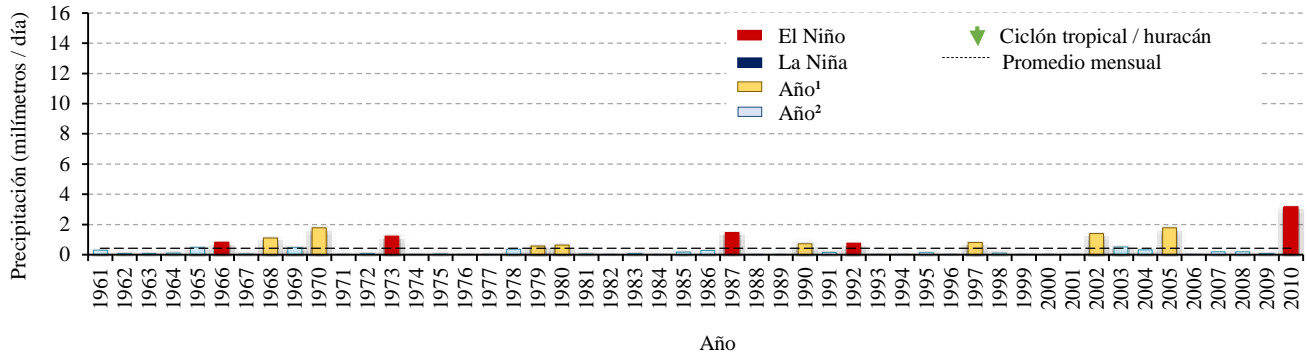
Patrón de precipitación río Candelaria, Enero

Figura 17b



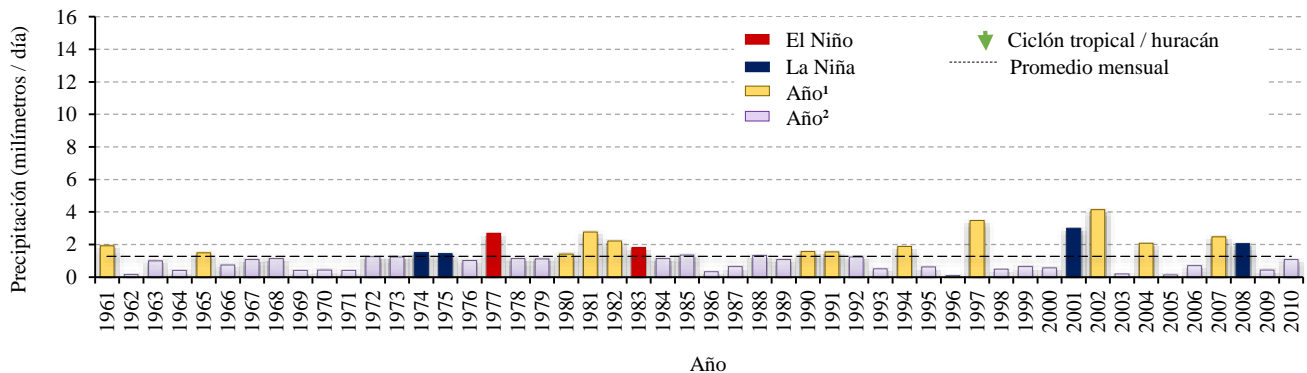
Patrón de precipitación río Acaponeta, Febrero

Figura 18a



Patrón de precipitación río Candelaria, Febrero

Figura 18b



Nota:

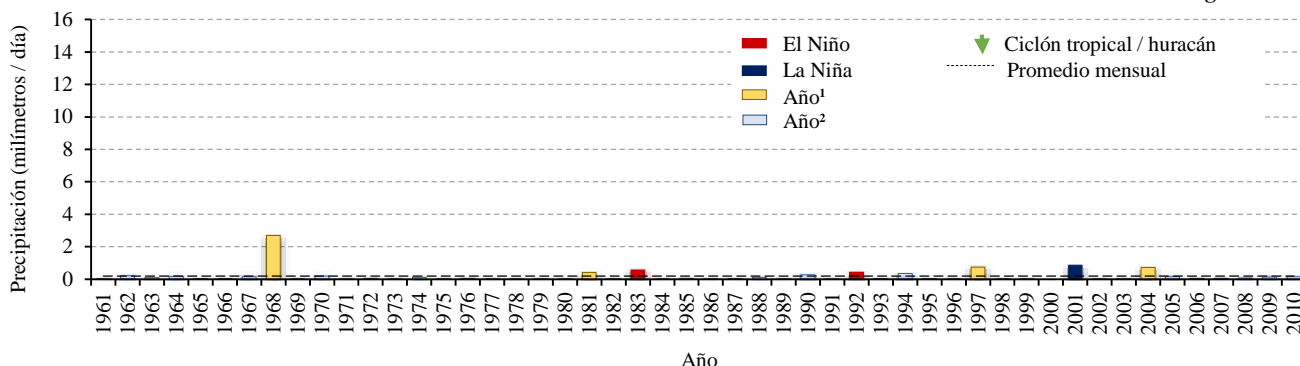
¹Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
²Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

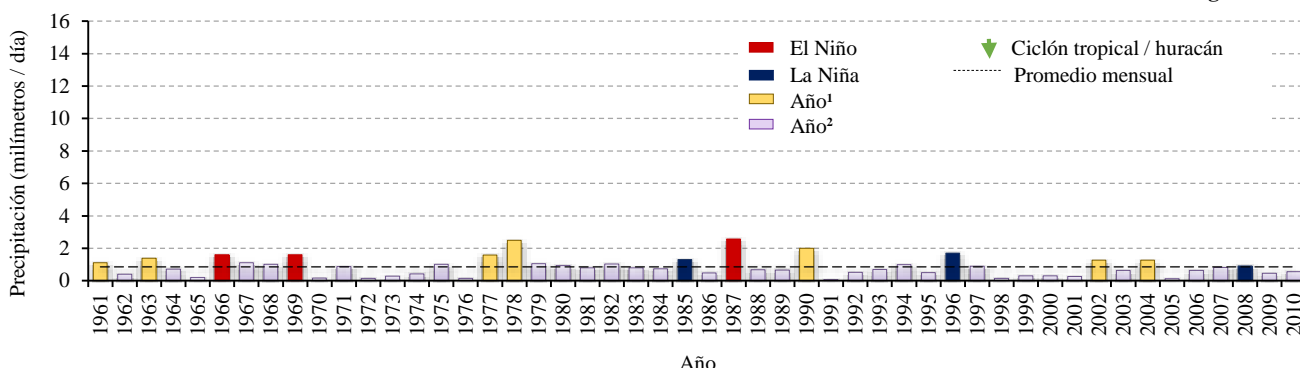
Patrón de precipitación río Acaponeta, Marzo

Figura 19a



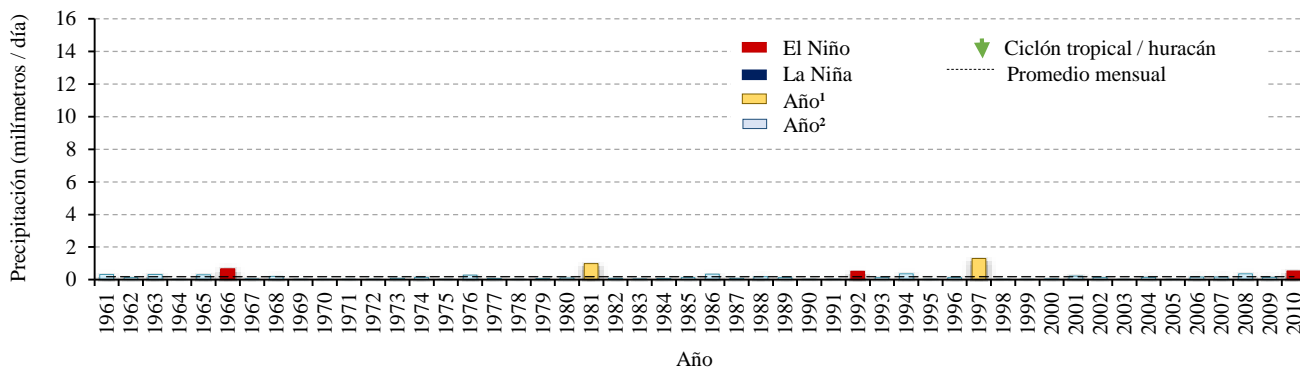
Patrón de precipitación río Candelaria, Marzo

Figura 19b



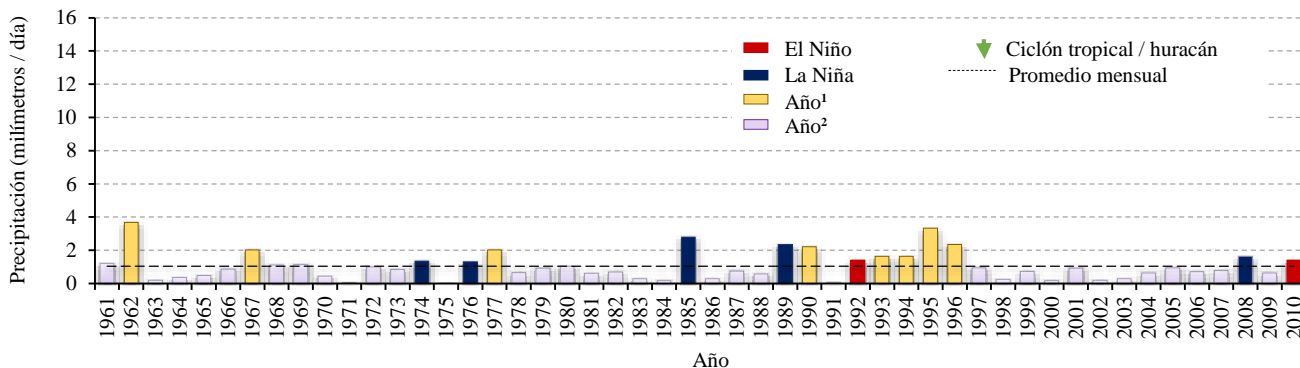
Patrón de precipitación río Acaponeta, Abril

Figura 20a



Patrón de precipitación río Candelaria, Abril

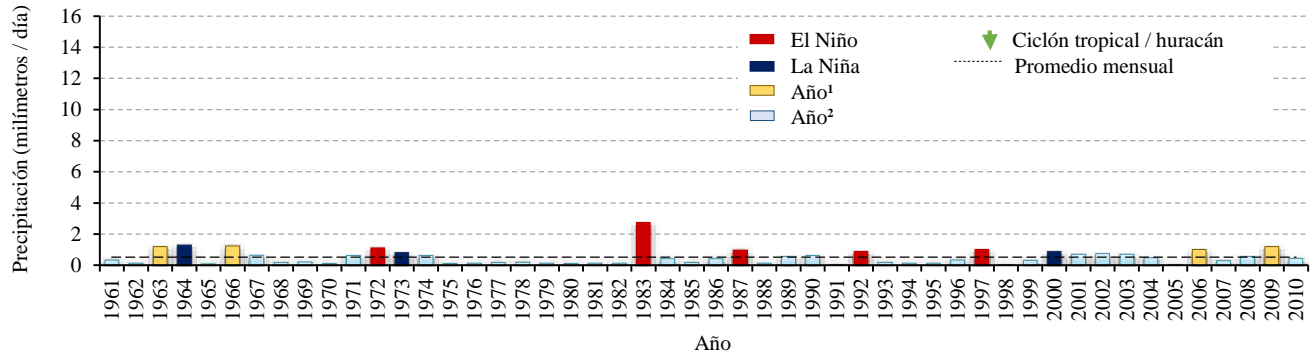
Figura 20b



Nota:
 ¹ Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
 ² Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).
 Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service, Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

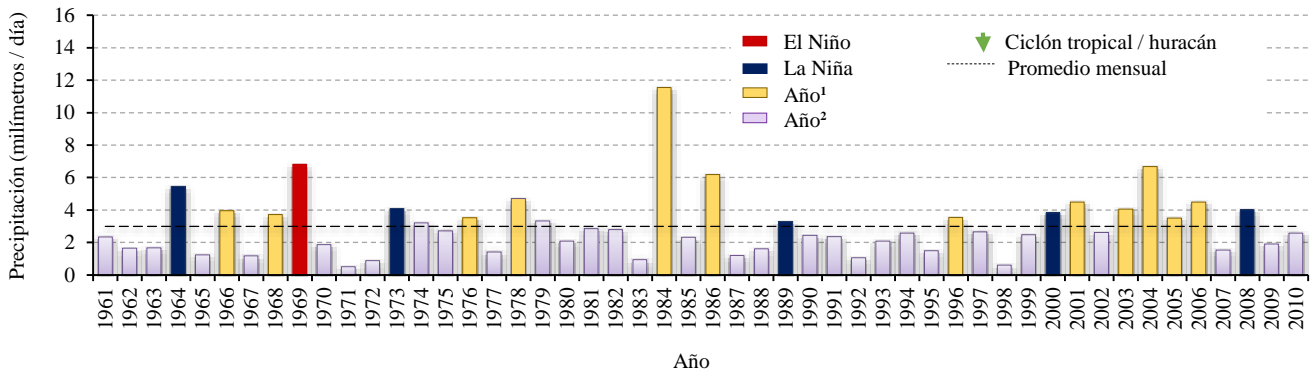
Patrón de precipitación río Acaponeta, Mayo

Figura 21a



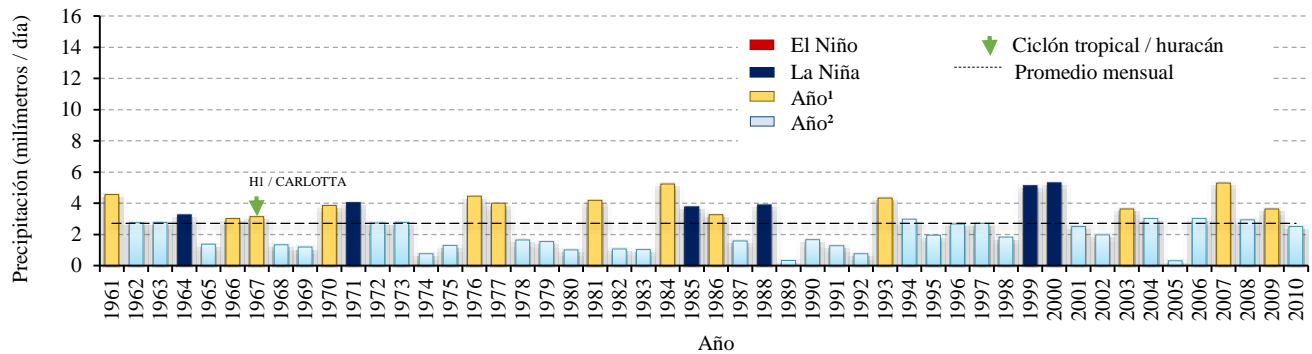
Patrón de precipitación río Candelaria, Mayo

Figura 21b



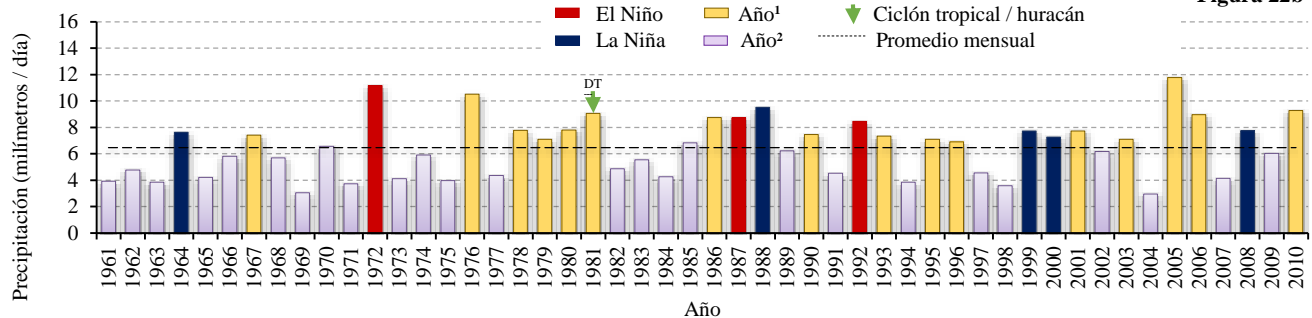
Patrón de precipitación río Acaponeta, Junio

Figura 22a



Patrón de precipitación río Candelaria, Junio

Figura 22b



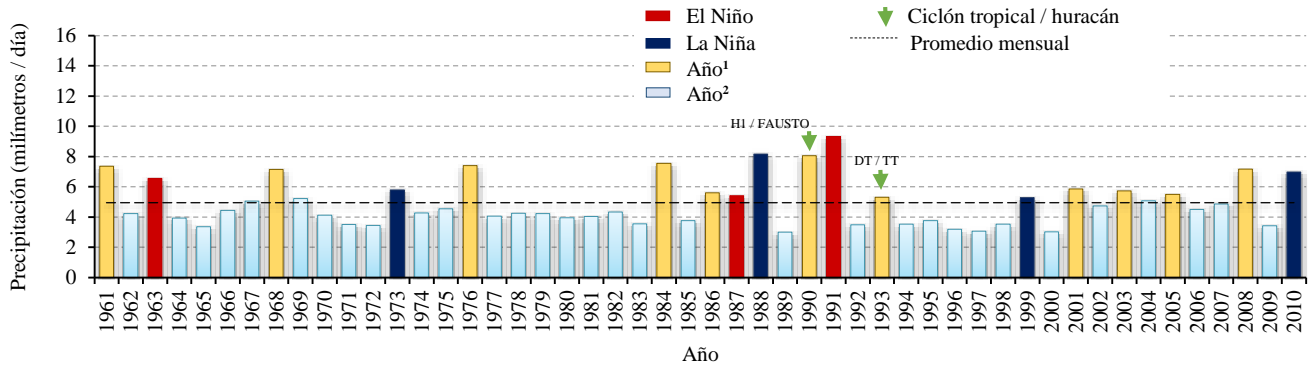
Nota:

¹Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
 ²Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

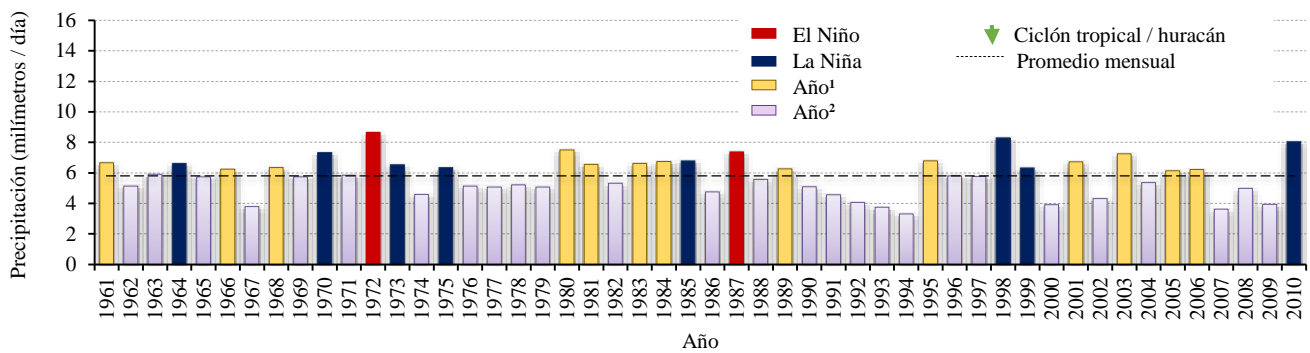
Patrón de precipitación río Acaponeta, Julio

Figura 23a



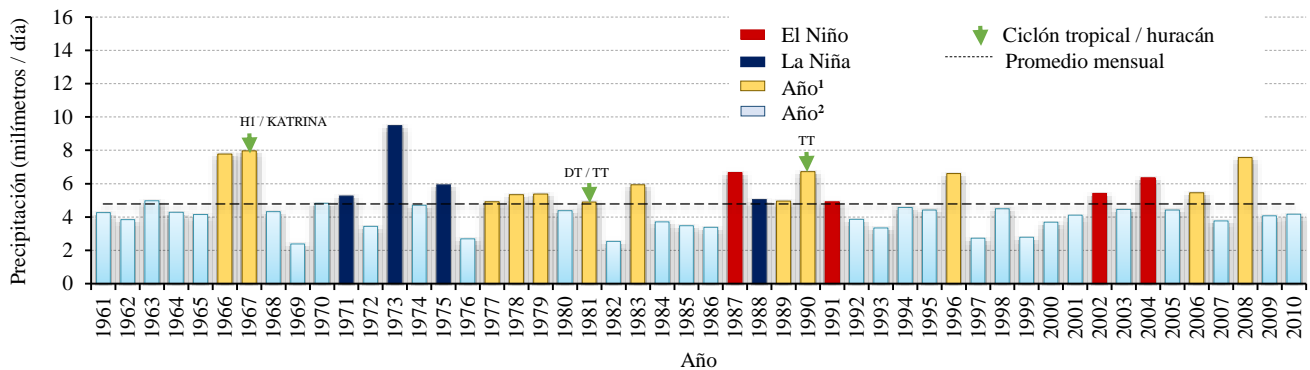
Patrón de precipitación río Candelaria, Julio

Figura 23b



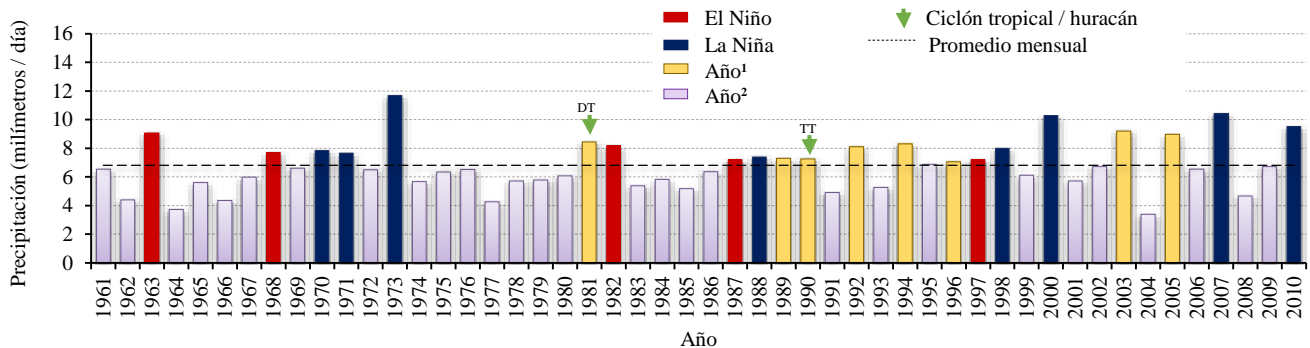
Patrón de precipitación río Acaponeta, Agosto

Figura 24a



Patrón de precipitación río Candelaria, Agosto

Figura 24b



Nota:

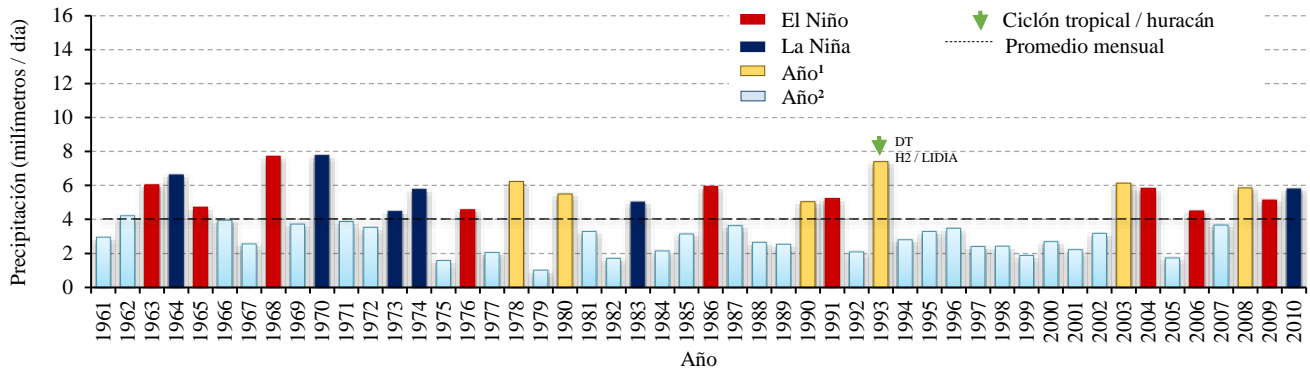
¹ Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
² Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

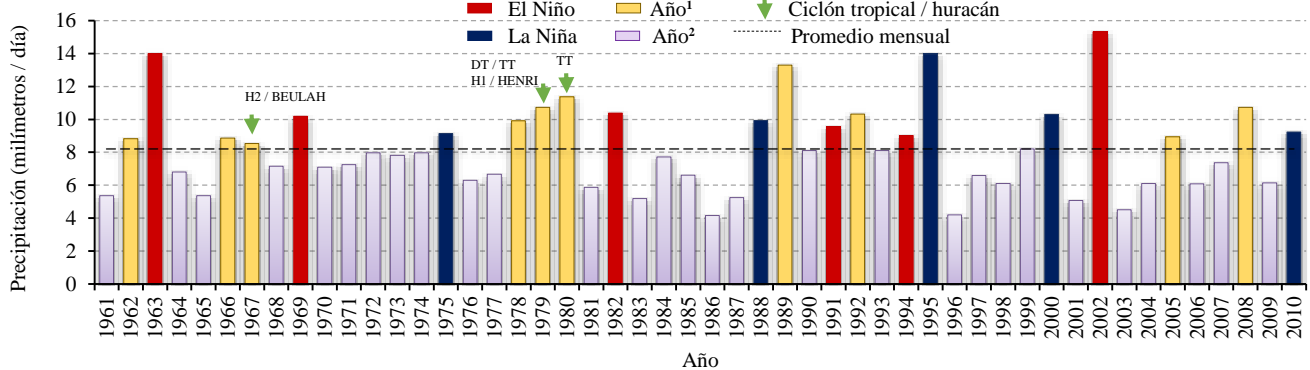
Patrón de precipitación río Acaponeta, Septiembre

Figura 25a



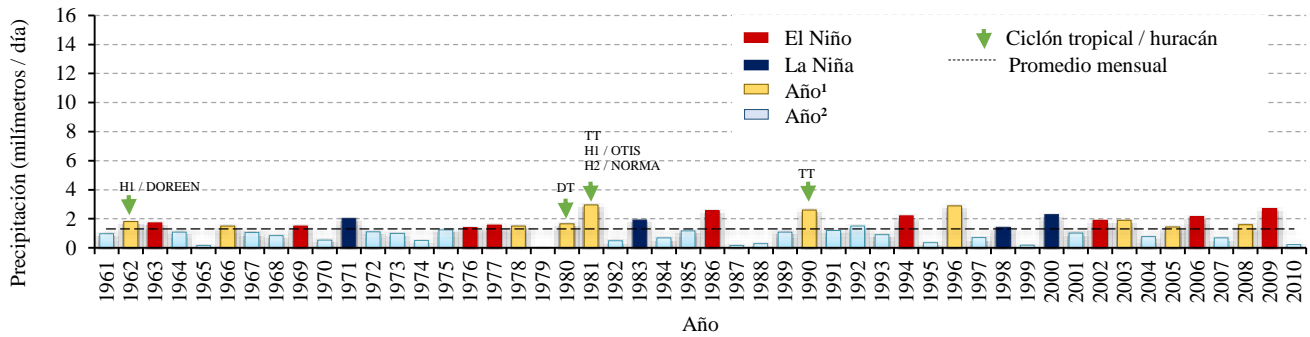
Patrón de precipitación río Candelaria, Septiembre

Figura 25b



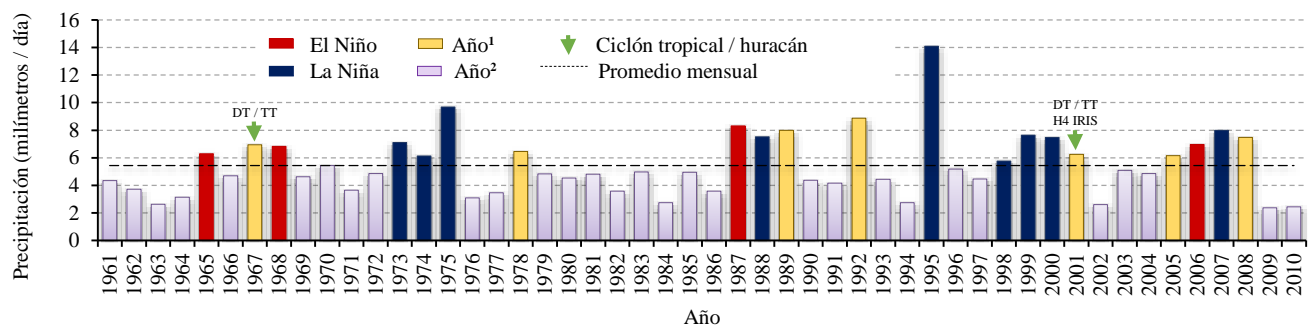
Patrón de precipitación río Acaponeta, Octubre

Figura 26a



Patrón de precipitación río Candelaria, Octubre

Figura 26b



Nota:

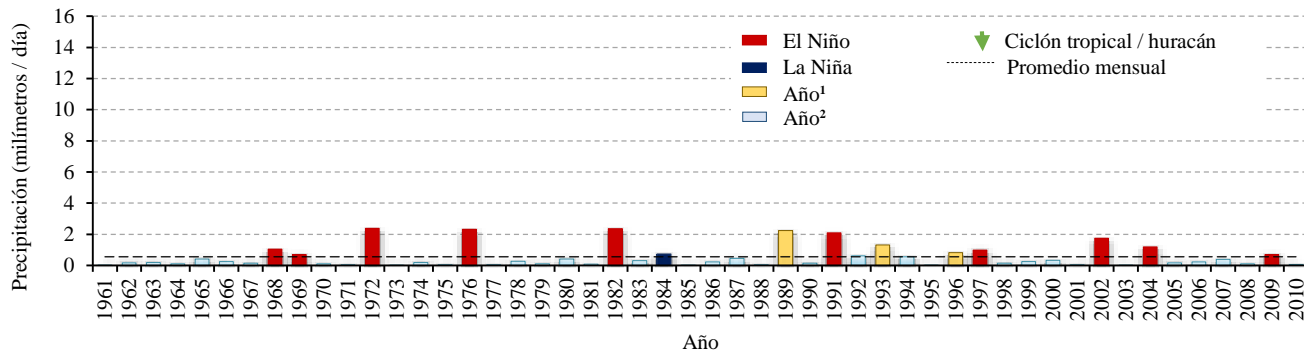
¹ Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
 ² Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

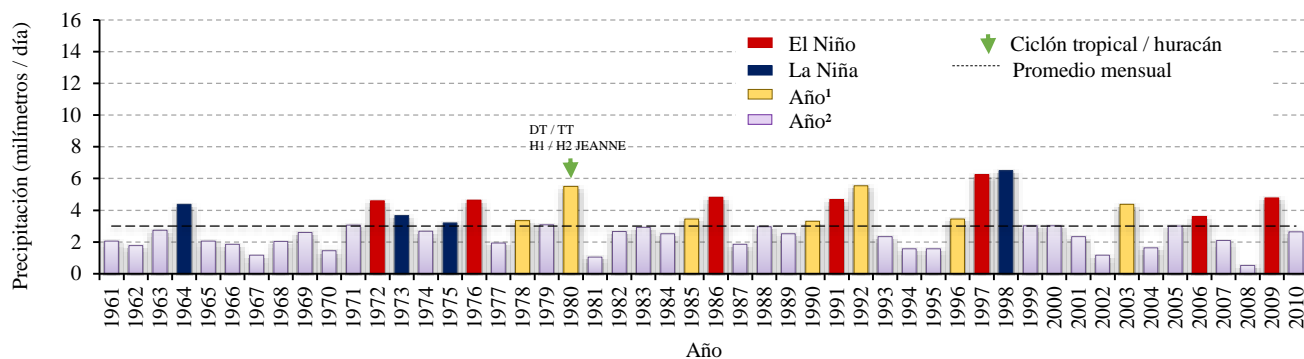
Patrón de precipitación río Acaponeta, Noviembre

Figura 27a



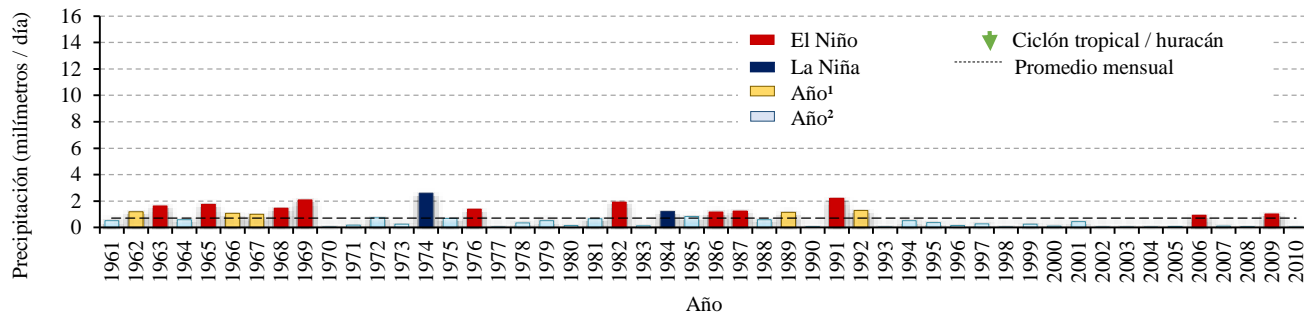
Patrón de precipitación río Candelaria, Noviembre

Figura 27b



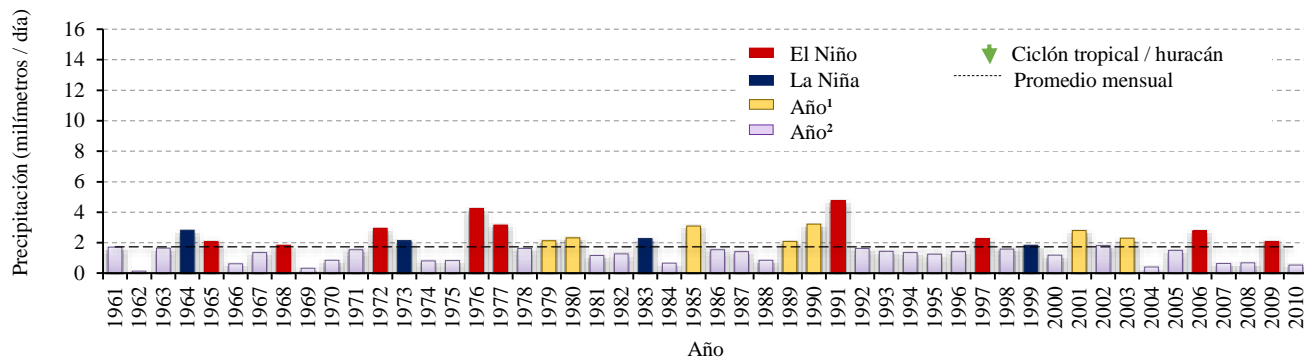
Patrón de precipitación río Acaponeta, Diciembre

Figura 28a



Patrón de precipitación río Candelaria, Diciembre

Figura 28b



Nota:

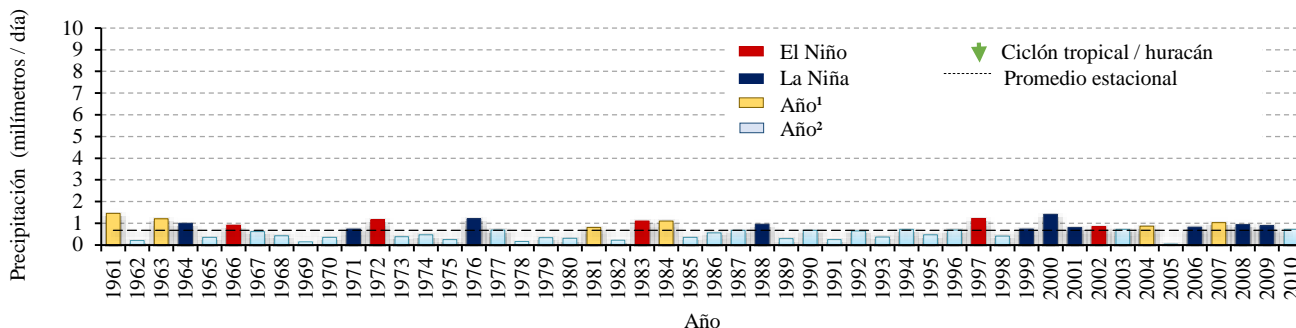
¹Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
²Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

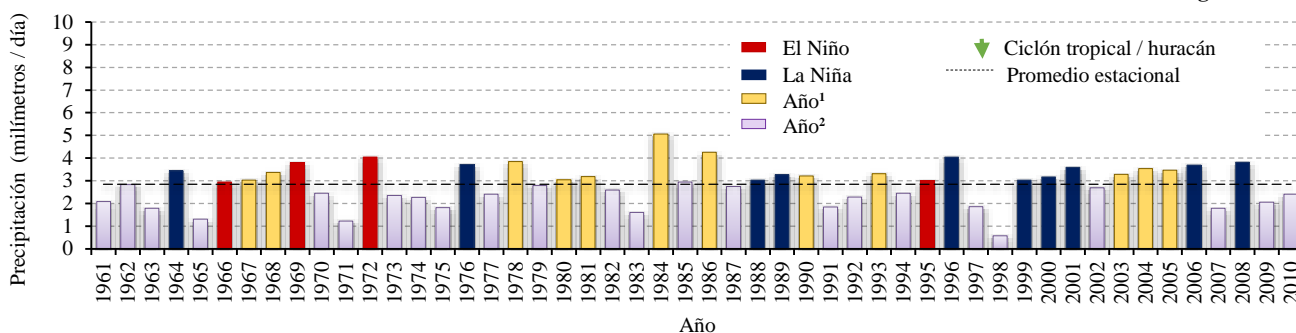
Patrón de precipitación río Acaponeta, Primavera

Figura 29a



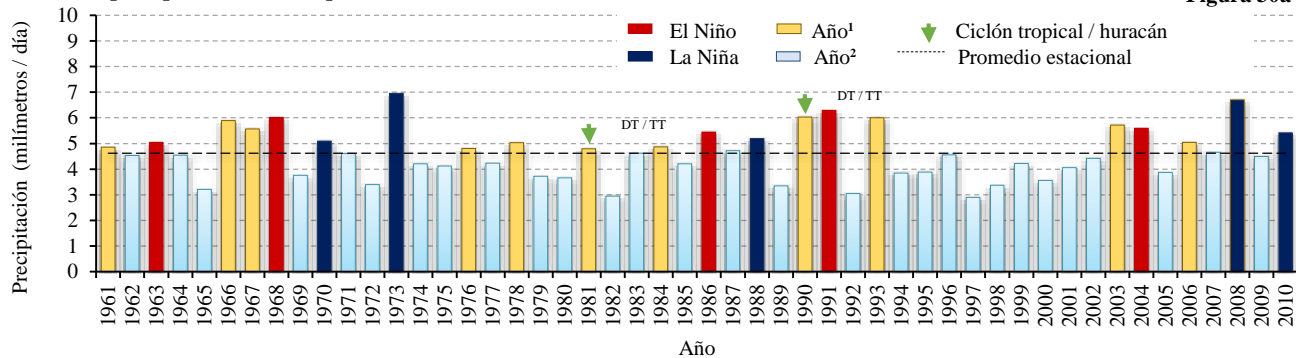
Patrón de precipitación río Candelaria, Primavera

Figura 29b



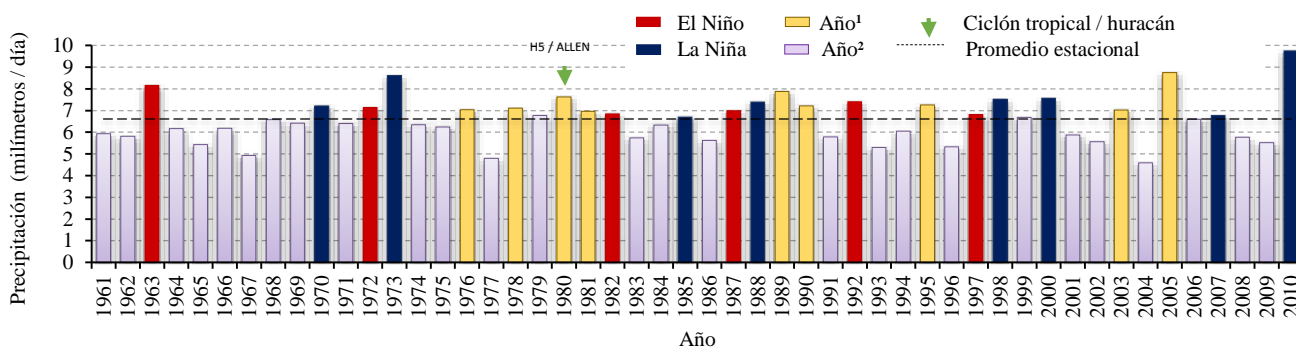
Patrón de precipitación río Acaponeta, Verano

Figura 30a



Patrón de precipitación río Candelaria, Verano

Figura 30b



Nota:

¹Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.

²Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.

Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:

Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:

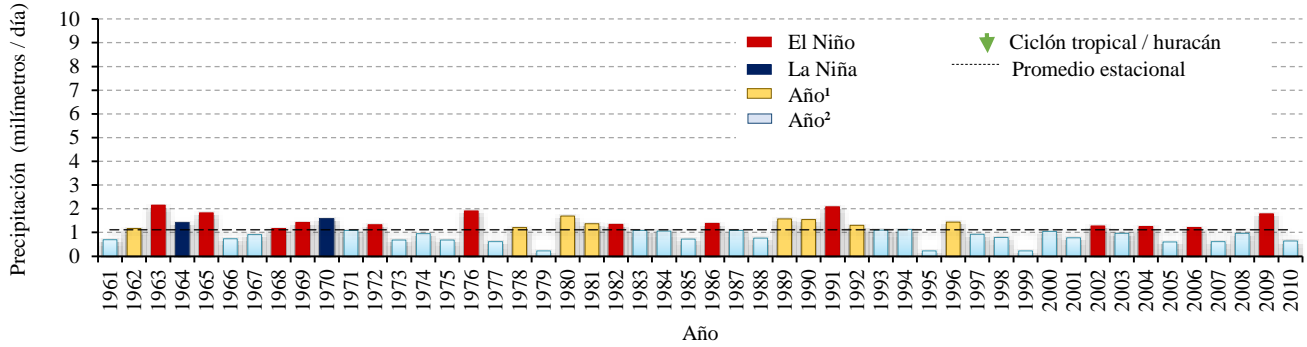
Elaboración propia con datos de:

CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible En: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

Registro de la variabilidad de la precipitación en las cuencas de los ríos Acaponeta (a) y Candelaria (b) por mes y tipo de fenómeno

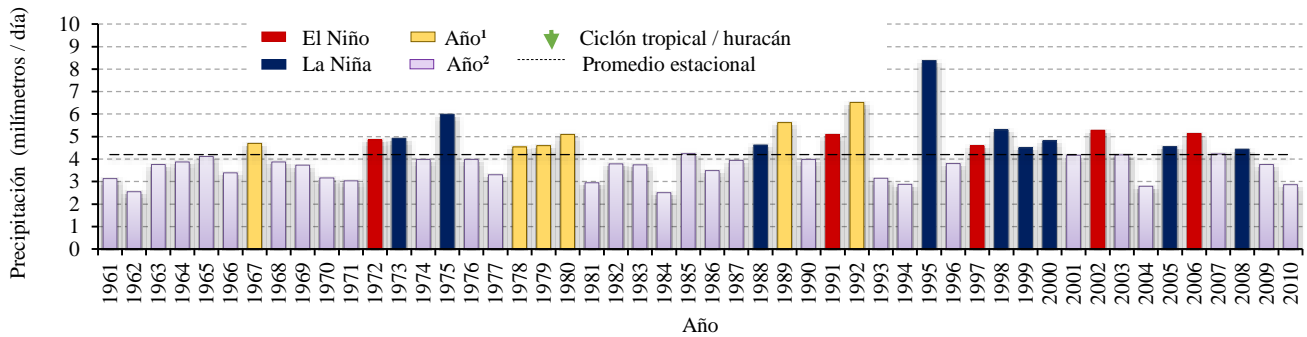
Patrón de precipitación río Acaponeta, Otoño

Figura 31a



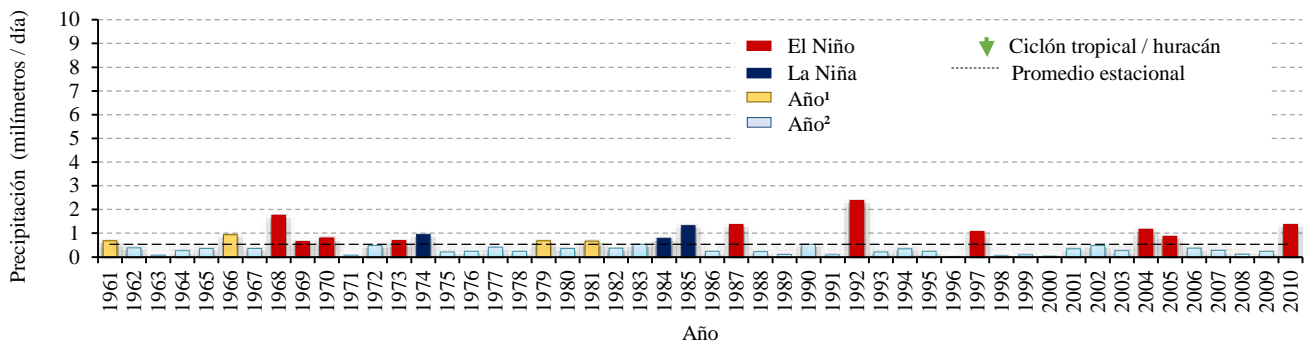
Patrón de precipitación río Candelaria, Otoño

Figura 31b



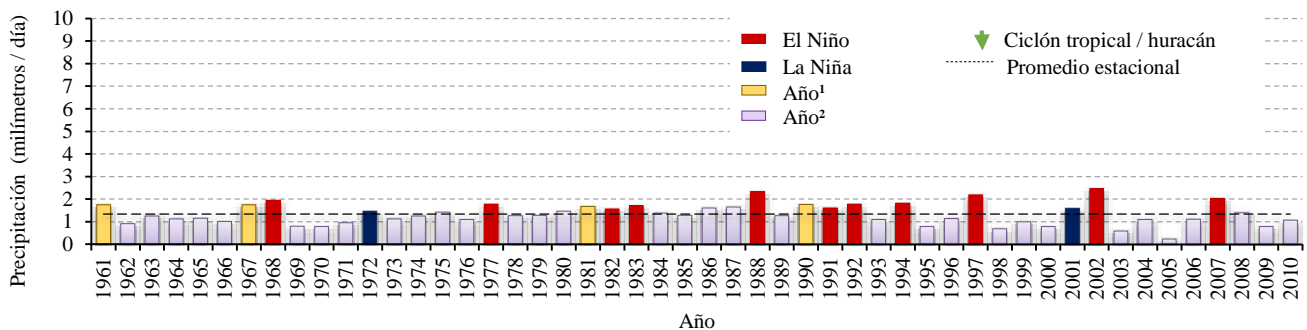
Patrón de precipitación río Acaponeta, Invierno

Figura 32a



Patrón de precipitación río Candelaria, Invierno

Figura 32b



Nota:
 ¹Corresponde a años con precipitaciones por encima de la media mensual con presencia de algún fenómeno ordinario.
 ²Corresponde a años con precipitaciones iguales o por debajo de la media mensual sin presencia de fenómenos ordinarios y extraordinarios.
 Las Categorías corresponden a la escala Saffir-Simpson:
 Depresión Tropical (DT), Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5).

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 CENAPRED. Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales; National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible En:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml; y UNISYS. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYLLÓN, T. (1996). *Elementos de meteorología y climatología*. Trillas. 1ª Edición. México.
- BASSOLS, A. (1980). *Geografía económica de México. Teoría, fenómenos generales, análisis regional*. Ed. Trillas, 4ª Edición. México. Páginas: 31-36, 65-69, 104-112, 118-126.
- CAMARERO, L., (Coord.). A., ALMAZÁN., J.M. ARRIBAS., B., MAÑAS., y A.F. VALEJO. (2013). *Estadística para la investigación social*. Editorial Alfaomega. México.
- CASAS, M.C. y M. ALARCÓN. (1999). *Meteorología y Clima*. Ediciones UPC. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, Barcelona. 1ª Edición. España.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). (2014). *Buscador de trayectorias de Ciclones Tropicales (versión preliminar)*. Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos. Base de datos de Trayectorias obtenida del Centro Nacional de Huracanes de Miami. Versión 2.0.0. México.
- DAVYDOVA, V. (2010). *Variabilidad climática y sus efectos sobre las cuencas de México En: Las cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. 1ª Edición. México. Páginas: 28 – 31.
- DE LA LANZA, G., J.L. CARBAJAL., S.A. SALINAS., y J.E. BARRIOS. (2012). *Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo*. Boletín del Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISSN 0188-4611, Número 78: 62 – 74.
- DE LA LANZA, G., S.A. HERNÁNDEZ., y J.L. CARBAJAL. (en preparación). *Caudales ecológicos de ríos aloctonos lejanos y cercanos del Golfo de México y Pacífico Mexicano*.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF). SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (2006). *Acuerdo por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las dos cuencas hidrológicas localizadas en el área geográfica denominada Río Candelaria, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas que comprende dicha área geográfica*. Diario Oficial de la Federación. México.
- ESCALONA, M.J. (1992). La planeación de los recursos naturales para la integración del medio rural. *En: El desarrollo Regional en México: Teoría y Práctica*. Coord: Bassols, A., Delgadillo, J., y Torres, F. Instituto de investigaciones económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Páginas: 169-174.
- GARCÍA, E. (1974). *Distribución de la precipitación en la República Mexicana*. Boletín del Instituto de Geografía. Editorial Dirección General de Publicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Número 5: 7 – 20.

GARCÍA, E. (1989). *Apuntes de Climatología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana. 6ª Edición. México.

GIL, A. y J. OLCINA. (1999). *Climatología Básica*. Editorial Ariel. Barcelona, España.

HERNÁNDEZ, M.E., (Coord.). E. AZPRA., G. CARRASCO., O. DELGADO., y F.J. VILLICAÑA. (2001). *Los Ciclones Tropicales de México. I.6.1. Colección Temas Selectos de Geografía de México*. Editorial Plaza y Valdés, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 1ª Edición. México.

HERNÁNDEZ, M.E., G. CARRASCO., y G. ALFARO. (2007). *Mitos y Realidades de la sequía en México I.6.3. Colección Temas Selectos de Geografía de México*. Instituto de Geografía, Coordinación de la Investigación Científica. 1ª Edición. México.

HOWARD, G. (1964). *Geografía Económica y Social*. Ed. Continental S.A. México. Páginas: 19-23, 41-42, 58-69, 123-134, 160-165, 21-254.

MAGAÑA, V., (Editor). (2004). *Los impactos del niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México. 229 p.

ROSENGAUS, M. (1996). *Explotación moderna de la base de datos climatológica nacional*. Memorias del XIV Congreso Nacional de Hidráulica, tomo I, ponencia 61, Acapulco, Guerrero. México.

ROSENGAUS, M. (2002). *Efectos destructivos de ciclones tropicales*. MAPFRE, S.A. 1ª Edición. Madrid, España.

VIDAL, R. (2005). *Las Regiones Climáticas de México I.2.2. Temas Selectos de Geografía de México*. Instituto de Geografía. UNAM. 1ª Edición. México.

VIERS, G. (1987). *Climatología*. Ediciones Oikos – Tau. S.A. Barcelona, España.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (2012). *Atlas digital del agua México 2012*. Sistema Nacional de Información del Agua. México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo09.html>.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (2012). *Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*. NMX-AA-159-SCFI-2012. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5269489&fecha=20/09/2012.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIOVIVERSIDAD DEL AGUA (CONABIO). COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (1998). *Cuencas Hidrológicas*. Escala 1:250000. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

FLORES, G. (2014). *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional. Edición CXXXIV*. Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: http://www.astroscu.unam.mx/IA/index.php?option=com_content&view=article&id=586&Itemid=245&lang=es.

GARCÍA, E., COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIOVIVERSIDAD DEL AGUA (CONABIO) (1998). Clasificación de Koppen, modificado por García. Escala 1:1000000. México.

GOOGLE EARTH. (2014) *Cuenca del río Acaponeta*.

GOOGLE EARTH. (2014) *Cuenca del río Candelaria*.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2006). *Anuario Estadístico de Nayarit. Mapas. Edición 2006*. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee06/info/nay/mapas.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2011). *Anuario Estadístico Campeche. Mapas. Edición 2011*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee11/info/cam/mapas.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acaponeta, Nayarit. Clave geoestadística 18001*. México. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.

Candelaria, Campeche. Clave geoestadística 04011. México. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2012). *Síntesis estadísticas municipales 2012. Acaponeta, Nayarit. Edición 2012. Formato electrónico.* México. 2014. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). (2012). *Síntesis estadísticas municipales 2012. Candelaria, Campeche. Edición 2012. Formato electrónico.* México. 2014. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2014). National Weather Service. Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season. Disponible en: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

UNISYS Weather. Archive. (2014). *Hurricane/Tropical Data.* Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

VIDAL, R. (1990). *Precipitación media anual. En: Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Volumen II. Escala 1: 4000000.* Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

APÉNDICE

TEMA II. PLANEACIÓN Y GESTIÓN DEL AGUA

Explotación moderna de la base de datos climatológica nacional

Michel Rasengaus M.

EXPLOTACIÓN MODERNA DE LA BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICA NACIONAL

Michel Rosengaus M.
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Tema II: Planeación y Gestión del Agua

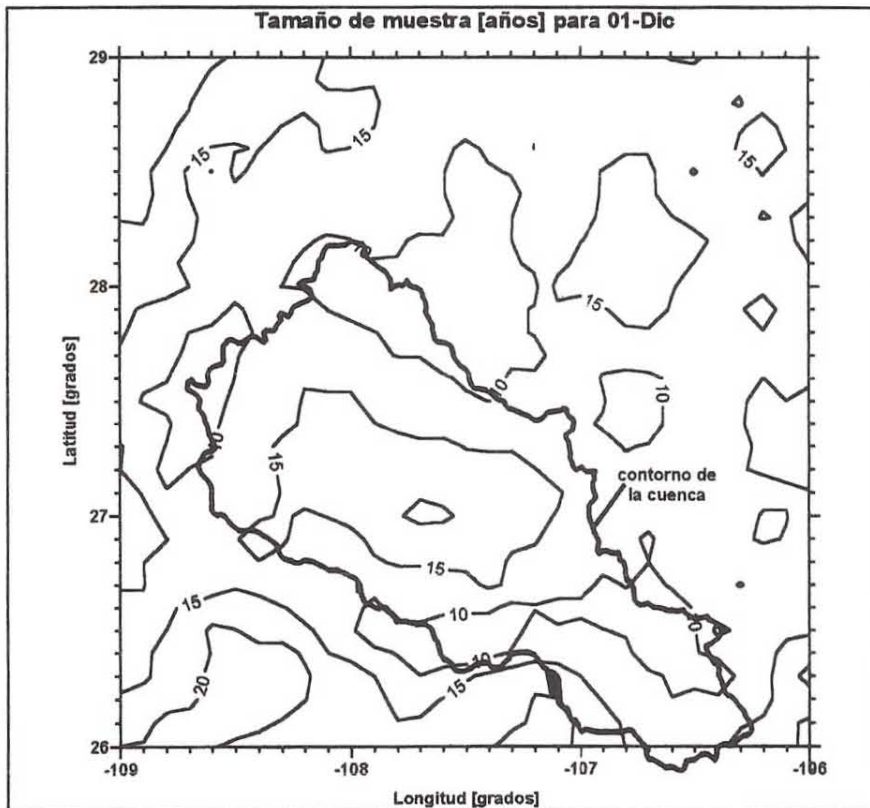
Resumen

Se presenta como ejemplo de explotación moderna de la base de datos climatológica nacional, el cálculo de las condiciones típicas y extremas de precipitación pluvial en la cuenca de la Presa Huites sobre el Río Fuerte durante la época invernal (diciembre a marzo). Se concluye que los registros históricos muestran un muy bajo riesgo de que un evento pusiera en peligro a la obra (aún en construcción a principios de 1995) en el caso de cerrarse el cauce durante esta época. La metodología aplicada permite hacer uso de todos los datos disponibles en la zona subsanando de alguna manera el déficit presente en nuestro medio de registros confiables de suficiente duración y densidad sobre el terreno.

Introducción

A finales de 1994, cuando la construcción del Proyecto Huites aún no se completaba, apareció la necesidad de evaluar la posibilidad de efectuar el cierre del cauce del Río Fuerte durante la temporada invernal 1994-95. Dada la relativamente reducida capacidad total del vaso ($2,908 \times 10^6 \text{ m}^3$) y la relativamente extensa área de captación de su cuenca (aprox. $26,450 \text{ km}^2$) se

planteaba la posibilidad de que un solo evento de lluvia invernal con lámina acumulada promedio del orden de 100 mm pusiera en peligro a la obra, aún incompleta, al rebasarse el nivel que inundaría la zona de construcción de la casa de máquinas. Dado que existían registros históricos puntuales que alcanzaban dicha lámina acumulada para eventos invernales en la zona, un estudio climatológico detallado se hacía necesario. Utilizando la base de datos climatológica nacional en forma digital (administrada por el Servicio Meteorológico Nacional,



usualmente a través de CLICOM) se emprendió dicho estudio a la máxima resolución temporal que los datos permiten para obtener estadísticas de precipitación pluvial diaria dentro y en los alrededores de la cuenca para el intervalo del 1° de diciembre al 31 de marzo. Se resume la metodología empleada así como resultados que ejemplifican el potencial de la explotación moderna de dicha base de datos.

Metodología

La metodología utilizada es la presentada con mayor detalle en Rosengaus(1995) orientada a la descripción (estadística) del campo de precipitación pluvial dentro de la cuenca día por día en el intervalo de interés. Dicha metodología no sacrifica ninguno de los datos disponibles para poder mantener registros de suficiente e igual duración en todas las estaciones de medición utilizadas en el análisis, pues esto llevaría a tener una muestra tan reducida (en años o en número de estaciones o en ambos) que simplemente no sería representativa. El método consiste esencialmente en:

- a) Extraer los datos de lluvia dentro de la ventana de interés ($105^{\circ}\text{W}<\text{longitud}<109.5^{\circ}\text{W}$, $24^{\circ}\text{N}<\text{latitud}<29.5^{\circ}\text{N}$), del orden de 331 estaciones climatológicas, durante el intervalo de tiempo máximo disponible en cada una de ellas. Para esto se utilizaron herramientas independientes a CLICOM similares a la descrita en Quintas(1995).
- b) Obtener estadísticas (tamaño de muestra, media, desviación estándar y máximo) para cada estación presente para cada uno de los días en el intervalo del 1°-dic al 31-mar. Por ejemplo, para el día 25-dic, se obtiene, las estadísticas puntuales a través de todos los días 25 de diciembre de cualquier año disponibles en la base de datos. El tamaño de muestra representa el número de años en los que el 25-dic tiene medición en la estación en cuestión.
- c) La interpolación de los valores de las estadísticas sobre una malla regular de nodos con $\Delta\text{long}=\Delta\text{lat}=0.1^{\circ}$ (aproximadamente 10 km) que cubren la ventana $106^{\circ}\text{W}<\text{longitud}<109^{\circ}\text{W}$, $26^{\circ}\text{N}<\text{latitud}<29^{\circ}\text{N}$, es decir se genera una serie de matrices de 31×31 valores (una por cada estadística) que representa el campo de precipitación en la zona. La interpolación de cada valor nodal se realiza entre las

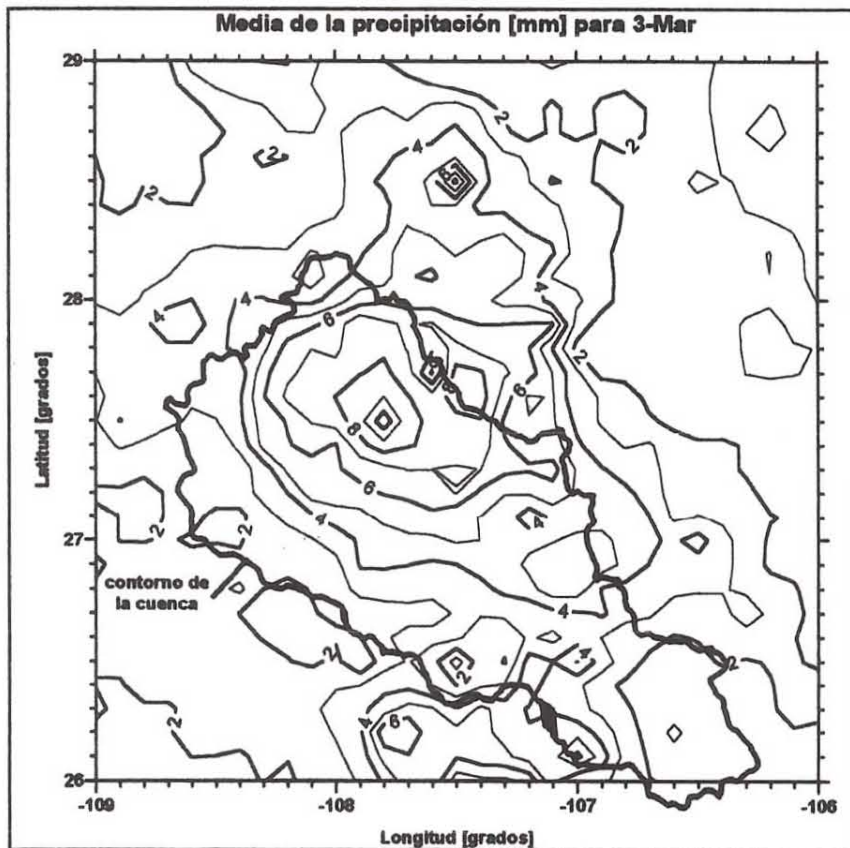


Figura 2

10 estaciones puntuales más cercanas, siempre que se encuentren en un radio menor a 0.5° (aprox. 50 km) del nodo en cuestión, pesando su influencia con el inverso de su distancia al nodo. El proceso se automatizó con el programa Surfer, Golden Software(1991). Observe que la ventana en (a) cubre mayor área que la de (c), o sea que los valores nodales se obtienen con las estaciones tanto internas como externas al dominio considerado.

- d) Para representar convenientemente la evolución de la precipitación a lo largo del intervalo de interés también se calculó el promedio sobre el área de la cuenca para la media, la media más la desviación estándar y la máxima, nuevamente utilizando el programa Surfer como herramienta (equivalente a una versión digital de la obtención de la media en la cuenca a través del método de las isoyetas, Aparicio(1994)). A continuación se presentan resultados en forma gráfica que clarifican el método utilizado.

Representatividad estadística

En la figura 1 se muestra un mapa de isolíneas de "igual número de años de muestra" para la zona de la cuenca de la Presa Huites. Esta es una

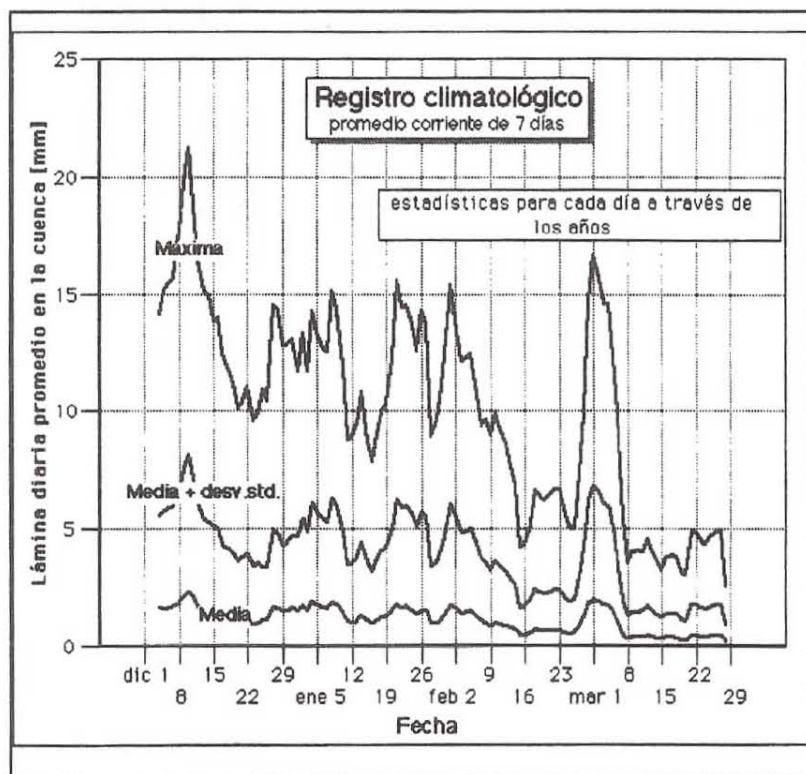


Figura 3

representación gráfica de la matriz de valores nodales y se obtiene con el mismo proceso de interpolación que el utilizado para las demás estadísticas. Aunque el mapa mostrado corresponde a un día en particular (1°-dic), la variación del tamaño de muestra entre días es prácticamente inapreciable. La importancia de una gráfica de este tipo es que indica qué tan representativos estadísticamente son los demás resultados obtenidos, o alternativamente, es un mapa de la distribución espacial de la confiabilidad. Como puede observarse, se tienen del orden de 10 a 20 años de datos en (o cerca de) la cuenca, aunque puntualmente algunas de las estaciones utilizadas

pueden tener mucho menos o mucho más años de registro.

Condiciones típicas

Las condiciones típicas de lluvia en la cuenca estarían representadas por la secuencia de mapas de isoyetas como el de la figura 2, misma que representa la lluvia promedio para el día 3-mar, que resultó ser uno de los más lluviosos del intervalo de interés. Observe que el método utilizado reduce sensiblemente los efectos negativos de alguna estación puntual particular que presentara

errores fuertes de exactitud o precisión, ya que los valores nodales representan un promedio pesado de muchas estaciones. Así pues, aunque en lo registros se encuentran eventos individuales y puntuales que rebasan la lámina de 100 mm considerada como crítica, el promedio a través de los años y suavizado por el algoritmo de interpolación se encuentra muy lejos de este valor, con valores de tan solo 0 a 15 mm por día. Para cada uno de estos mapas de isoyetas diarios se puede obtener el promedio sobre el total de la cuenca y graficar la evolución a lo largo del tiempo, tal y como se presenta en la figura 3. En ésta se presenta la variación de 1º-dic a 31-mar de la precipitación media en la cuenca, además de la precipitación media más la desviación estándar y la precipitación máxima registrada. En la figura 3 las trazas no representan estrictamente los valores diarios, sino promedios corrientes de siete días centrados en el día en cuestión, esto para suavizar la variación observada. La traza de la media muestra claramente que la lámina acumulada media en la cuenca permanece muy por debajo del nivel crítico durante toda la temporada invernal.

Condiciones desfavorables

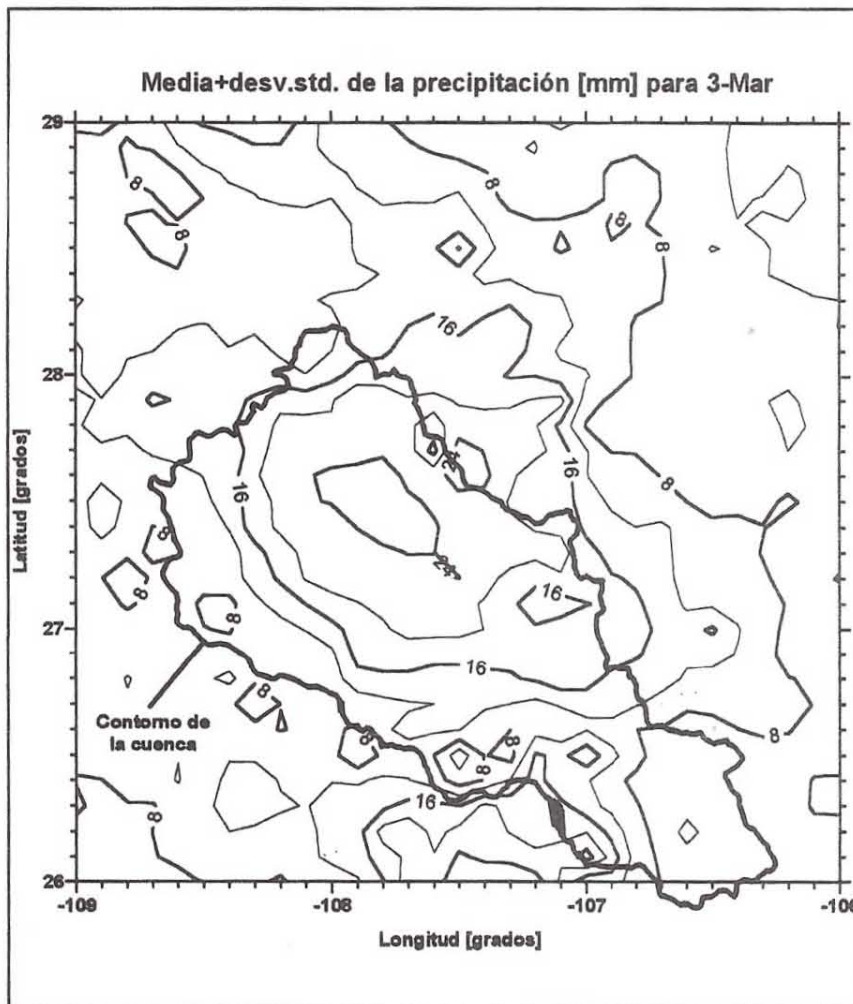


Figura 4

En forma similar a la figura 2, las figuras 4 y 5 muestran el mapa de isoyetas para el mismo día 3-mar pero para la media más la desviación estándar y la máxima registrada, respectivamente. Se puede considerar que para un 3-mar cualquiera, la precipitación plasmada en la figura 4 tendría tan solo un 16.5% de probabilidad de ser rebasado. Es importante hacer notar que los valores plasmados en la gráfica 5 en diferentes partes de la cuenca, no necesariamente ocurrieron en un mismo evento, estos son simplemente los valores máximos registrados (interpolados sobre la malla regular). Aún así se puede observar que las acumulaciones diarias en ambos casos son sensiblemente menores a los 100 mm, 5 a 25 mm en la figura 4 y 10 a 80 mm en la figura 5. La evolución en el tiempo de ambas

estadísticas se muestran en la figura 3. Aún sin la suavización del promedio corriente en siete días de la figura 3, la precipitación máxima registrada en el intervalo 1º-dic a 31-mar en forma promedio sobre la totalidad de la cuenca en un solo día es de 42 mm. Dado el número de años de registro se puede estimar que este valor tendría una probabilidad de ser rebasada no mayor al 5% o 10%. Claramente, la gran desviación estándar aparente, comparada al valor medio, indica que la muestra está dominada por eventos individuales muy intensos, pero aún así, en los años de registro, nunca se ha presentado un evento que pusiera en peligro a la obra. Obviamente, un tratamiento similar de la información diaria (no de sus estadísticas), para los días identificados como los más lluviosos (p.ej. 3-mar) caracterizaría a dichos eventos individuales importantes.

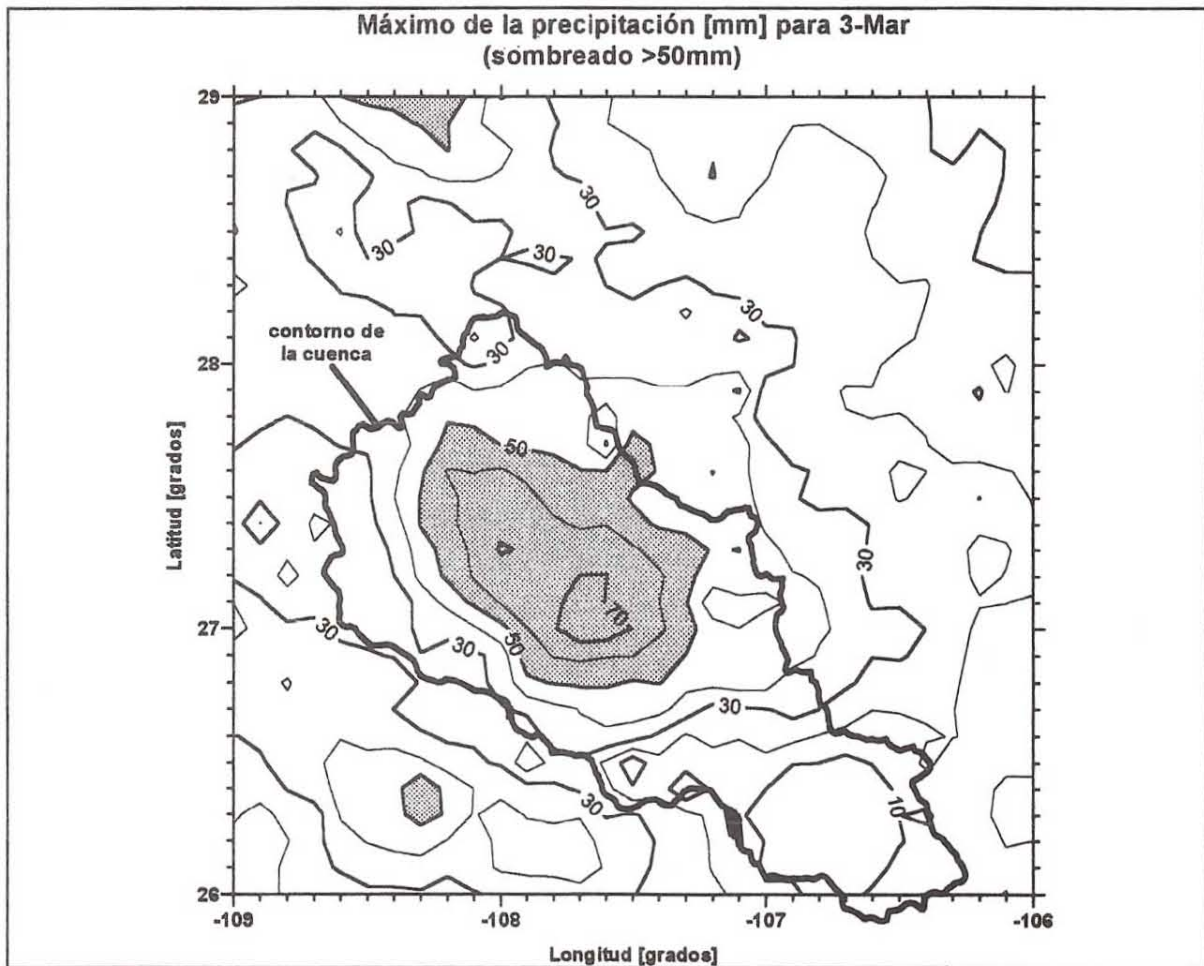


Figura 5

Sobre la aplicación de resultados

El tipo de tratamiento de los datos climatológicos ya disponibles en México en forma digital, que se ha ejemplificado con el caso de la época invernal en la Presa Huites, permite obtener respuestas rápidas a una multitud de cuestionamientos asociados con problemas de la Hidráulica. Modelos lluvia escurrimiento suficientemente sofisticados para considerar con cierto detalle

la distribución espacial de la lluvia en la cuenca pueden ser alimentados con muestras sintéticas realistas de las condiciones de lluvia dentro de la misma. Aún modelos simples de simulación de vasos, que consideran únicamente el valor medio de la precipitación en la cuenca, pueden beneficiarse al considerar entradas que representan mucho mejor que un registro puntual (o un pequeño grupo de registros puntuales) las condiciones reales en la zona de captación. Una vez calculados los valores nodales de las mallas regulares, incluso computadoras personales modestas pueden producir respuestas rápidas a preguntas como ¿cuál es el mapa de isoyetas acumuladas del 21-dic al 7-ene en condiciones típicas y extremas? pues requeriría simplemente de aritmética elemental entre las matrices de valores de las mallas regulares. Inclusive podría almacenarse la totalidad de la base de datos climatológica nacional en un formato de valores interpolados sobre mallas regulares día por día del registro (o sea aplicando sólo los pasos (a) y (c) de la metodología descrita), en un volumen total aún manejable por computadoras personales y con tiempos de respuesta a cuestionamientos como el anterior mucho menores que con el manejador CLICOM. Por supuesto que las otras variables disponibles en la base de datos climatológica nacional (temperatura, temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria, evaporación, estado del cielo, existencia de niebla, existencia de granizo y existencia de tormentas eléctricas) se pueden sujetar a un tratamiento similar, ver Rosengaus(1995).

En el caso específico presentado se concluye que, a pesar de existir registros puntuales con eventos por sobre los 100 mm de acumulación diaria, el análisis realizado muestra que el riesgo de ocurrencia de un evento que rebase en forma promedio en la cuenca a esta valor es sumamente bajo.

Conclusión

Se ha mostrado la aplicación práctica de la información contenida en la base de datos climatológica nacional (versión digital) a un problema típico de la ingeniería hidráulica. Dadas las condiciones de dicha base de datos en cuanto a continuidad y duración de registros ininterrumpidos en las estaciones de medición, es conveniente adoptar una metodología que permita la explotación de toda la información disponible, aún cuando esto represente una práctica no ortodoxa en climatología. La metodología en sí consiste en almacenar los datos originales (o estadísticas de los mismos) en forma de un campo interpolado sobre una malla regular, sin sacrificar la granularidad disponible en la información (un día), operando sobre estas mallas regulares (o matrices) una vez que la interrogante específica se encuentre planteada. No solo se logra con esto suficiente densidad espacial de estaciones para lograr representatividad y la síntesis de los muchos datos faltantes en la base, sino que se logran respuestas órdenes de magnitud más rápidas que con la interrogación a un manejador de bases de datos tradicional (como CLICOM/DataEase). Problemas como el presentado no pueden esperar por semanas para obtener soluciones prácticas. Bajo un esquema de este tipo, aún máquinas computadoras del tipo personal podrían responder a interrogantes del tipo planteado en el orden de minutos a horas.

Referencias

- Aparicio, M., J., *Fundamentos de hidrología de superficie*, Limusa-Noriega Editores, México, 1994.
- Golden Software Inc., *Surfer version 4 reference manual*, Golden, Colorado, EUA, 1991.
- Quintas, P., I., *Base de datos climatológica compactada y herramienta de búsqueda y extracción automática*, VII Congreso Nacional de Meteorología, OMMAC, Chapingo, México, octubre 1995.
- Rosengaus, M., M., *Una propuesta para el manejo eficiente de la información climatológica en México*, VII Congreso Nacional de Meteorología, OMMAC, Chapingo, México, octubre 1995.

En las montañas está la libertad.

Las fuentes de la degradación no llegan a las regiones puras del aire.

El mundo está bien en aquellos lugares donde el ser humano no alcanza a turbarlo con sus miserias...

Alejandro de Humboldt