

Las inundaciones de 2010 en Veracruz

Memoria social y medio físico

Adalberto Tejeda Martínez

Coordinador

V E R A C R U Z



Secretario de Educación
de Veracruz
Lic. Adolfo Mota Hernández

Director General del Consejo Veracruzano
de Ciencia y Tecnología
Dr. Víctor Manuel Alcaraz Romero

Responsable del Programa Editorial del
Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología
Lic. Claudia Díaz Rivera

Responsable del Programa de Apropiación
Social de la Ciencia del Consejo Veracruzano
de Ciencia y Tecnología
Lic. Heriberto Contreras Garibay

Rector de la Universidad Veracruzana
Dr. Raúl Arias Lovillo

Secretario Académico
de la Universidad Veracruzana
Dr. Porfirio Carrillo Castilla

Secretario de Administración y Finanzas
de la Universidad Veracruzana
Lic. Víctor Aguilar Pizarro

Director General de Investigaciones
de la Universidad Veracruzana
Dr. César Ignacio Beristáin Guevara

La edición de este libro se realizó gracias al apoyo del Fondo Mixto de Ciencia y Tecnología, integrado por el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el Conacyt, al proyecto 144382, Difusión de la Labor de los Investigadores Científicos y Tecnológicos en el Estado de Veracruz, mediante la colección de libros intitulada: La Ciencia en Veracruz.

Coordinadora general de la colección La Ciencia en Veracruz / Martha Poblett Miranda

Diseño editorial / Humberto Brera

Corrección de estilo / Ana María Carbonell León, Rosario Ponce Perea

Primera edición

D.R. © 2011. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores, y los derechos de publicación han sido legalmente aceptados y autorizados.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización expresa y por escrito de su legítimo titular de derechos.

ISBN Colección La Ciencia en Veracruz: 978-607-9090-00-5

ISBN Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico: 978-607-XXXX-XX-X

Impreso en México / Printed in Mexico

Contenido

PRÓLOGO: Crónica de la inundación	X
INTRODUCCIÓN: Apuntes corográficos de las inundaciones en Veracruz	X
MEMORIA	X
– Memorias del agua: Historia oral de las inundaciones de la cuenca del Papaloapan	X
– Los ciclones tropicales en el estado de Veracruz y sinopsis del huracán <i>Karl</i>	X
EL MEDIO FÍSICO	X
– Lluvias extremas en Veracruz en 2010 y su relación con la variabilidad natural del clima	X
– Esguerramiento generado por el huracán <i>Karl</i> : Una primera estimación	X
– Escenarios propiciatorios de las inundaciones en la zona costera de Veracruz: El caso de la cuenca del río Jamapa	X
– Variaciones del nivel estático registradas en la parte baja del río Coatzacoalcos y su relación con las precipitaciones intensas precursoras de inundaciones recurrentes	X
– La restauración ecológica como estrategia para la reducción del riesgo de desastre ante inundaciones. Estudio de caso: la cuenca del río Coatzacoalcos	X

Prólogo



Crónica de las inundación

Una contingencia ambiental como la ocurrida en 2010 —con una magnitud que llegó a afectar extensas zonas del estado de Veracruz— requiere relatos, anécdotas, descripciones de lo vivido y análisis de los fenómenos que la ocasionaron, de ahí la importancia de un libro que reúna tanto las experiencias de carácter social como los datos recopilados por los científicos comprometidos en su estudio y las conclusiones a las que se llegó después del examen del material obtenido. Entre las anécdotas se encuentran las referidas por los profesionistas de los medios de comunicación. Incluiré algunas de ellas en este prólogo para situar al lector de la obra que se me ha encargado presentar en un contexto humano que permita entender mejor la importancia del trabajo científico. Por ese motivo comenzaré narrando lo que sucedió el 20 de septiembre en la sala de juntas del periódico *Imagen*, donde todos los lunes los directores, los jefes de secciones y los responsables editoriales acuerdan la agenda informativa de la semana.

Ese lunes, al llegar a la cita acostumbrada, el director encontró sólo a algunos colaboradores en torno a la mesa. Tras los cordiales buenos días de rigor preguntó: “¿Qué hacen aquí?”, después de un prolongado silencio, incrédulo volvió a preguntar: “¿Qué hacen aquí?”. Sólo una voz contestó: “Venimos a la junta de los lunes”. El director entonces preguntó: “¿Qué, no están enterados?, nos golpeó un huracán categoría 3, casi 4. Tenemos miles de damnificados que hicieron todo por salvarse y perdieron sus bienes, producto de una vida de trabajo. La destrucción ha sido enorme. La probabilidad de que nos toque otro huracán en Veracruz es muy remota. El anterior ocurrió hace más de sesenta años. Los ojos de México y parte del mundo están en Veracruz buscando información, y ustedes, los periodistas, ¿vienen a una junta conmigo?, cuando lo ocurrido es una gran oportunidad periodística, un evento extraordinario, muy rico informativamente. No verlo así sería no tener oficio de reportero. Incluso, desde el punto de vista literario, las narraciones que se hagan bien pueden convertirse en un *best seller*, pues tienen todos los elementos para escribir algo así como “la crónica de una inundación anunciada”.

Los autores de este libro, participantes en un foro que se llevó a cabo para estudiar el fenómeno, hacen mención de esto en sus artículos, por mi parte, voy a enlistar los elementos presentes en la contingencia que ahora nos ocupa.

Factores del desastre

- La falta de desazolve de los ríos, que deben tener una profundidad de más de cinco metros en la bocana, y sólo tenían metro y medio.
- La deforestación del Pico de Orizaba, lo que conlleva a la degradación del suelo que causa el azolve de los ríos. La falta de vegetación que retenga el terreno y la humedad en la montaña. Aunque la deforestación trae consigo otros problemas.
- La construcción de viviendas en zonas inundables, con el permiso o la omisión de las autoridades municipales, estatales y federales, en contubernio con constructoras.
- Lluvias atípicas previas al huracán que ya habían saturado el suelo de agua, por lo que no había capacidad de absorción.
- Falta de una cultura de prevención.
- Falta de una cultura de limpieza y de compromiso social.
- Sistemas de drenaje obsoletos y en malas condiciones.
- La situación geográfica. Hacia dónde mandar el agua si vivimos a nivel del mar. Hay que entender que vivimos en zonas que alguna vez fueron ocupadas por el agua.
- Falta de atención de los mapas de riesgo y actualización de los mismos.
-

Buscar culpables fue una línea de investigación seguida por varios periodistas. Entrevistar a los sospechosos era muy tentador para los émulos de Truman Capote, y a sangre fría fueron señalados con dedos flamígeros, obviando que en Veracruz no pasa nada, porque al acusar a uno hay que acusar a todos en un intrincado teatro de complicidades. Pero ahí están los medios que con nombre y apellido los hicieron visibles, aunque sea por un momento.

Quién no recuerda la visita del presidente Felipe Calderón que, al recorrer Puente Moreno, achacó a la corrupción las autorizaciones para urbanizar en una zona inundable pero, ¿alguien sabe si el presidente hizo algo al respecto?

“Lo que sucedió fue algo anormal, un golpe de agua sin precedentes, pero si tengo alguna responsabilidad me pongo a la orden de las autoridades”, aseguró el director general de la empresa Casas Puente Moreno, Luis Barquín Gómez.

El empresario dijo que cuando esa área se inundó en 2005 debido al golpe del huracán *Stand* se tomaron las medidas necesarias para salvaguardar a los ciudadanos.

Sin embargo, en 2010 se produjo de nuevo una inundación porque sucedió un fenómeno fuera de lo normal, no previsto por nadie, que ocasionó una tragedia que nadie pudo evitar.

“No sabemos qué pasó —explicó el empresario que sobrevolaba la zona—, nosotros estuvimos monitoreando. Todo iba muy bien después del paso del huracán (*Karl*). A pesar de la lluvia que cayó localmente, no se presentaron problemas. Después se empezó a inundar Arboledas San Ramón, pero aguantamos toda la noche, secos, sin agua. A la una de la tarde de ayer (sábado) fue cuando llegó una avenida de agua impresionante”, que venía del río Jamapa y del Cotaxtla.

Ahora bien, continúo con mi “crónica”, la llamo así no sólo porque dicho título aparece en la novela de García Márquez, sino también porque, si vemos cómo orientaron sus relatos varios compañeros, el método que usaron fue el de recopilar datos y testimonios que, de alguna manera, ayudaron a entender el porqué de lo inevitable del suceso, así como los perfiles humanos y psicológicos de todas las personas responsables, por acción u omisión, de algunas de las cosas sucedidas en ese funesto acontecimiento.

Déjenme presentarles algunos textos.

Narración de Rodrigo Barranco

A las 11:00 de la noche del viernes 17 de septiembre, el sonido de la campana de la capilla de El Salmoral rompió el silencio que imperaba para alertar a la población sobre la venida de un golpe de agua.

La mayoría de los dos mil pobladores de ese ejido, perteneciente al municipio de La Antigua, ya estaban dormidos. El pueblo estaba en penumbras. Los vientos que trajo el huracán *Karl* tiraron decenas de árboles y postes de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), lo que obligó a los vecinos a terminar sus actividades temprano.

A María Elena, que no sabe nadar, las ganas de vivir le dieron fuerzas para salir de su casa dando grandes brincos en el agua con su nieta de 13 años abrazada a su espalda. “Sentí una piedra en los pies y me subí y ya pude salir a flote, me di cuenta después que era el lavadero de cemento de mi vecina en lo que estaba parada”, recordó.

Así, en ese espacio estuvo por varios minutos hasta que su hijo, Leonel Blanco Campos, nadó desde el techo de una casa adjunta para rescatarla. Sin embargo, la corriente le jugó una mala pasada al muchacho, pues casi los tira y, aunque se salvaron de morir, Leonel acabó con una varilla enterrada en el pie derecho.

“Cuando amaneció, abajo no se veía nada de lo que era mi calle y las casas. Pura agua, señor, El Salmoral parecía un mar gigante”, refirió.

Ya cerca del mediodía del sábado 18 de septiembre, el agua descendió y lograron salir caminando con el líquido hasta la cintura. Tenían que irse pues ya no había comida.

Entre los hombres se turnaban para cargar a Leonel, quien ya no aguantaba el dolor de su pie lastimado.

La mayoría de los habitantes de El Salmoral lograron ponerse a salvo pero perdieron todas sus pertenencias y algunos sufren todavía las consecuencias de ese fin de semana. “A mi hijo le iban a cortar su pie en el albergue porque no había medicinas. Ni en Veracruz había vacuna contra el tétano. Por fortuna lo salvamos y ya va a empezar a trabajar”, contó Elena.

Voluntarios y pobladores del ejido El Salmoral decidieron organizarse para limpiar casas y escuelas de la comunidad, pues las cuadrillas del gobierno no llegaron.

A pesar de que en diferentes ocasiones trabajadores de salud pasaron por el lugar para echar cal y prometieron regresar a realizar las labores de limpieza, no lo hicieron.

Los ciudadanos, al ver que el apoyo no llegaba, decidieron limpiar ellos mismos los tres planteles educativos que hay en ese sitio, ayudados por decenas de voluntarios que vinieron desde la ciudad de Veracruz.

Con el título “Los ninis”, María Paula escribió en “Historias ahogadas” el siguiente relato que también me parece muy elocuente y descriptivo:

Doña Juanita dio vuelta a la esquina cuando unos uniformados la interceptaron poquito antes del anochecer, trató de pasar entre ellos pero éstos, al ver las bolsas de despensas con logos de la Cruz Roja, la detuvieron.

Tenía cuatro días llegando temprano al albergue para damnificados de Tlacotalpan, en donde tomaba los alimentos que voluntarias, algunas de ellas hijas de la Perla del Papaloapan, Patrimonio de la Humanidad, servían a los huéspedes cuenqueños ahí refugiados. Con sus 49 muy gastados años, doña Juanita desayunaba y comía, después se formaba para pedir una despensa y llevarla a casa, la cual se encontraba en una zona alta del puerto, humilde sí, pero sin daño alguno.

En el interior de su hogar permanecían sus hijos de 17, 18 y 19 años, ejemplo claro de jóvenes “ninis” que no habían terminado sus estudios y que de vez en cuando aportaban dinero, cuyo origen era mejor no saber. Ellos no hicieron mucho cuando vieron que su progenitora era llevada a los separos junto con seis despensas más, encontradas en el interior de su casa. Dicen que una vecina envidiosa la denunció.

Pero las inundaciones también dejan suelo fértil para que la sociedad civil tome las riendas y se organice, como ocurrió en el temblor de 1985 en el Distrito Federal. Yo fui testigo de cómo miembros del ejército, de buena imagen en ese

entonces, se pusieron a mi disposición para rescatar de los derrumbes a las víctimas del sismo.

Lo mismo sucedió en Veracruz, donde muchos salieron a rescatar en lanchas, a llevar ropa y víveres, a lavar casas y muebles.

En una nota aparece el siguiente comentario:

“Lo peor que hay en una tragedia es la indiferencia de los seres humanos para ayudar al prójimo”, opinó Carol Chaman Comotto, rescatista peruana y miembro del equipo de auxilio mexicano Los Topos, quien continúa diciendo: “He ido a Indonesia, Haití y Chile. Lo más feo es la indiferencia de las personas, eso es lo más feo. Ver que en la humanidad la gente ha perdido el sentir de la compasión”.

Narración de Heladio Castro

Inundación en el Floresta

En el fraccionamiento Laguna Real estaba la señora Teresa Jiménez, habitante de Puente Moreno, quien acudió a refugiarse a casa de su hija porque el agua cubrió por completo su vivienda; ella platicó que como al medio día les dijeron que era necesario evacuar el lugar.

Todo Puente Moreno quedó cubierto por el río Jamapa y su hijo se quedó en la casa, en el departamento de la parte alta, con el permiso de la vecina, porque sólo estaban sacando niños y mujeres. Ella manifestó su preocupación por las pérdidas: “El agua subió hasta el techo, ya está cubierta mi casa, yo ya perdí todo, todo Puente Moreno está inundado”.

Mucho se discutirá si se pudo haber evitado. La experiencia en distintos lugares del país y del mundo muestra que la única voz autorizada en la búsqueda de una solución para las inundaciones ha sido siempre la proveniente de las ciencias básicas e ingenieriles, dejando fuera de la discusión a todos aquellos actores expuestos a estos fenómenos. Tengo entendido que la Universidad Veracruzana tiene suficientes trabajos al respecto, que la autoridad y la sociedad deberían escuchar y aprovechar.

De acuerdo a distintas investigaciones realizadas, la tendencia predominante en la historia es la simplificación del problema, se abordan sólo los componentes naturales, sin considerar el impacto que estos fenómenos tienen sobre las personas. Cada grupo social, a partir de la diversidad cultural existente, los niveles socioeconómicos, el género y la edad, y también a partir de las experiencias y memorias propias, construye una percepción sobre los riesgos que podría enfrentar. Estas percepciones tendrían que tomarse en cuenta en la planificación y la gestión de los riesgos.

El gobernador Fidel Herrera advirtió con días de anticipación tanto los efectos del huracán, la zona de impacto, como las inundaciones. Recuerdo haberlo escuchado decir que Tlacotalpan se inundaría, muchos días antes de que esto ocurriera. Por ese motivo intentó buscar que el vaciado de las presas se redujera. Sería una falta no reconocer las acciones de gobierno del estado en torno a la protección civil. Si bien hubo diferencias con el ejecutivo en torno al número de víctimas, el gobernador decía que no las había. Lo cierto es que habrá que reconocer las acciones preventivas y de reacción antes y después de los eventos.

Imagínelo negando los muertos y los medios mostrando la foto de él en los velorios, y posteriormente entregando reconocimiento a esos héroes que perdieron la vida salvando a sus semejantes. **La frase es ambigua. No se entiende si el autor intenta mostrar que eso no pudo haber sucedido en virtud de las acciones que señala fueron tomadas por el gobernador. Pero si eso es lo que pretende debe extraer una conclusión y no sólo poner un ejemplo hipotético qué, así como está, se queda en un simple comentario.**

Por otra parte, los otros comentarios que aparecen en la primera parte de esta página no quedan bien ubicados, pues a pesar de que se encuentran insertos en el listado que se venía haciendo de las diversas crónicas salidas en los periódicos, no se relacionan con ellas. Parecen haber surgido solamente en el curso de lo que supongo fue una exposición oral, siendo motivadas por alguna asociación colateral y por ello, en lo que sigue, se continua con la presentación de otras crónicas más sin tomar en cuenta lo que obviamente fue una digresión, pero que podría haberse aprovechado, por ello sugiero que

pasen al final del texto en un marco que con los antecedentes proporcionados les de un sentido más completo.

Narración de Víctor Hugo Cisneros

Habitantes del fraccionamiento Puente Moreno que se encuentran albergados en el Centro de Convenciones de Boca del Río acusaron de negligencia a todas las autoridades, debido a que los primeros indicios de inundación se presentaron desde el viernes en la noche.

Los damnificados acusaron que tanto el ayuntamiento de Medellín de Bravo como el gobierno de Veracruz no se coordinaron y vinieron a avisar que había que evacuar quince minutos antes de que el agua llegara a las viviendas.

“Venía de la calle, entré ya con el agua al cuello por la Millennium agarrándome de todas las rejas y caminando de puntitas, pues no dejaban entrar, eso fue como a las 12:30. Cuando avisaron, ya los niños que traemos estaban corriendo con el agua casi en el cuello y por nada se nos ahogan”, comentó Ruth López.

Afirmó que en el fraccionamiento vecino, Arboleda San Ramón, el agua ya había subido un metro una noche antes, por lo que hubiera sido ese momento el más propicio para empezar a sacar los documentos personales y algunos objetos de valor.

“Los soldados y los marinos no nos sacaron, lo hicieron civiles en lanchas, sin luz y sin agua. Mi hija compró la casa hace cuatro años, venía de México, ella trabajó en el gobierno federal, se jubiló y se vino, pero con esto vamos a tratar de vender, ya que fue una experiencia horrible, haga de cuenta como el *Titanic*”, relató María Isabel Alfonso.

Como un rugido

“Escuché como un rugido, y que se me viene encima un montón de agua”, recuerda María del Socorro Rodríguez Guillén, quien señala que ante la avalancha hídrica no pudo rescatar nada.

Lo perdió todo la mañana del sábado 18. Se encontraba en su domicilio en El Tejar, municipio de Medellín de Bravo, cuando de repente se les vino un mundo de agua. Nadie les avisó. Los dejaron a su suerte.

“Eran como las 10:30 de la mañana cuando algo empezó a sonar allá en la lejanía.” Cuando lograron entender lo que pasaba, ya era tarde.

Una vecina les dijo que ya venía el arroyo. Pero ya no les quedaba mucho tiempo. Sólo escucharon venir a la gigantesca bestia de agua.

“Sí, se oyó aghh aghh. Y como un rugido. Y cuando vimos, en menos de diez minutos se llenó la casa de agua. Subió como dos metros en menos de una hora porque venía muy duro.”

Socorro no recuerda otra avenida del río Jamapa similar a la que vivió el sábado. “Nunca en la vida. Tenemos 21 años viviendo ahí y nunca había pasado eso. Por sorpresa nos cayó todo.”

A la pregunta de si habían tenido tiempo de salvar algo de sus pertenencias, responde: “Nada. Nada más sacar los papeles de importancia. No sacamos nada, todo se nos perdió, no nos quedó nada, nada, nada”.

No tenían animales de granja. Su compañía era un pajarito. Perdieron sus pocos enseres, que habían adquirido con muchos sacrificios: televisión, refrigerador, muebles, licuadora, alacena, ropero, camas, estéreo. “Todo se perdió”.

Su hija es el único sostén. Pero ahora ambas están albergadas en el Auditorio Benito Juárez, del DIF estatal.

En helicóptero

Esteban Rodríguez vivió una experiencia similar. Originario también de El Tejar, no supo cómo, pero cuando se dio cuenta ya tenía el agua encima.

Él afirma que el agua les llegó como a las 3:00 de la tarde y que sí les advirtieron. “Nos avisaron que tuviéramos mucho cuidado. Ora sí, que no arriesgáramos a nuestra familia”. A la pregunta: ¿qué tanto tardó en subir el agua?, él contestó: “Fue en cuestión de segundos, porque se salió un arroyo y empezó a salir el río también, de lado y lado”.

Sacó a su mujer y sus hijos. Les dio tiempo de sacar sus papeles, que sostenía firmemente dentro de un morral mientras hacían cola en el albergue del Auditorio Benito Juárez. “Nos dijeron que subiéramos al helicóptero para que nos trajeran al World Trade Center. Ya no podían pasar los camiones.”

Esta es una nota de Silverio Quevedo titulada “Sin ayuda”

Los afectados denunciaron abandono total de parte de las autoridades locales pues éstas nunca atendieron el llamado de auxilio de los habitantes, quienes no han recibido ningún tipo de apoyo de despensas, ropa o colchonetas de parte del municipio que encabeza Rubén Darío Lagunes Rodríguez.

La señora María del Pilar Cárdenas Murillo dijo que del ayuntamiento medellinense no recibieron nada de ayuda, ni comida, ni agua, hubo negligencia, pues fueron los elementos de la Armada los que encabezaron la evacuación, ya que ni siquiera el ejército hizo lo propio. “Salimos en chalupas porque el presidente municipal no dio ayuda para nada, el nivel del agua subió tanto que cubrió las camas, los roperos, las teles.”

Narración de Rodrigo Barranco Déctor

Desde temprano, cientos de colonos se arremolinaron en la entrada de la colonia El Cascajal, en Ciudad Cardel, para esperar a la primera dama del país, Margarita Zavala de Calderón.

Sin embargo se quedaron esperando, pues la esposa del presidente nunca llegó para recorrer las zonas afectadas que permanecían bajo el lodo. Únicamente sobrevoló la región en un helicóptero Puma de la Armada de México, pero no caminó por las calles sucias y malolientes, tal y como lo esperaban los vecinos.

Lo que sí hizo Zavala fue llevar a una cuadrilla de actores de telenovelas de Televisa al albergue ubicado sólo a dos cuerdas de la primera calle destrozada.

En colonias como El Cascajal, Valente López y San Pancho, de Cardel, el panorama es desolador, la ayuda no llega y la que cae es a cuenta gotas, a tal grado que los colonos tuvieron que salir a la autopista.

La creciente llegaba a unos quince metros de su casa. Ahora fue más fuerte el huracán.

Recordó que sus padres y abuelos le platicaron que el 28 de septiembre de 1928 se registró un huracán en esa zona, y otro el 10 de octubre de 1950, pero uno como el *Karl* no se había visto nunca.

Aunque en 1999 hubo un norte demasiado fuerte, el de ahora superó todas las marcas, todos los registros.

Contó que cuando iban en aumento las rachas de vientos violentos amarró en dos ocasiones las láminas, pero cuando las rachas empezaron a tener más intensidad, los vecinos lo ayudaron a salir y luego, después de dos bocanadas que él vio cómo cimbraron su hogar, éste sucumbió. Salió con su gata de nombre *Peluchina* y con su perro, al que le llama *Chayote*, porque su dueño original es una persona a la que le apodan *El Chayotero*. Unos sobrinos le tuvieron que dejar unos zapatos y ahora uno de sus hijos le trajo dinero para construir una nueva casa.

A sus 77 años, que cumplió el pasado primero de enero, tiene fe en que todo se va resolver, en que va recuperar la tranquilidad, aunque acepta que en las noches se despierta con mucha ansiedad y tiene la sensación de que el río se desborda. Don Martín Jesús Villa perdió su casa, pero está alegre de que su gata *Peluchina* y su perro *Chayote* hayan sobrevivido.

Creo que esta voz de los veracruzanos, las crónicas narradas deben quedar en la memoria social, pues muestran vívidamente, mejor que todo, lo que significaron las inundaciones de 2010. Sólo a partir de lo contado por ellos se puede imaginar el nivel que alcanzó el agua, los efectos que causó, la atención que recibieron los ciudadanos y la solidaridad que les mostraron sus coterráneos.

Debemos recordar que el entorno conocido brinda a las personas la sensación de seguridad, de amparo. Así como nos conmovemos frente a las imágenes que

muestran desastres o catástrofes, la velocidad con que las olvidamos acompaña el ritmo con que los medios masivos las presentan.

Los políticos saben que la mejor manera de enterrar un escándalo es haciendo público otro, de esta manera se logra enterrar sus equivocaciones; pero en el caso de las inundaciones, también es cierto que al bajar el nivel de las aguas, en el lodazal aparece la podredumbre política que acompañó al desastre. El aprovechamiento de la desgracia para buscar ganancias económicas, políticas y electorales.



OJO. Quizá aquí extendiéndolos, poniendo lo bueno y lo malo de las acciones llevadas a cabo por los funcionarios, tanto negligentes como responsables de sus deberes, podrían caer los comentarios de la página 8.

Además de esas voces, saludo que las de los científicos, las de los estudiosos de estas contingencias queden en el libro que ahora se pone en las manos de los lectores.

Pablo Robles Barajas
Director de Imagen del Golfo

INTRODUCCIÓN

Apuntes corográficos de las inundaciones de Veracruz

**FALTA COLOCAR FOTO
EN ESTA PÁGINA**

COROGRAFÍA BÁSICA

En torno a las inundaciones que año con año se presentan en el estado de Veracruz hay que hacer una serie de consideraciones además de las contenidas en los capítulos de este libro. Así, en esta introducción se abordarán cuestiones como la compleja geografía de la entidad, su variabilidad climática, que no ha sido estudiada lo suficiente, la confusión existente entre esta variabilidad y el cambio climático, las cifras básicas de las inundaciones 2010, así como algunas recomendaciones para enfrentar el fenómeno.

A pesar de que existe el riesgo de ser reiterativo, conviene recordar que el estado de Veracruz (México) es una franja de continente orientado de nornoroeste a sursureste en la vertiente del Golfo de México, con una superficie de 72 815 km², 745 km de litorales y 7.6 millones de habitantes. Su anchura oscila entre los 46 y los 156 km. En el centro-oeste del estado se encuentra el Pico de Orizaba (5 747 m de altitud), que forma parte del sistema montañoso que atraviesa México de oeste a este, alrededor del paralelo 19° norte: el Eje Volcánico Transversal. En el 27% del territorio por arriba de los 200 m de altitud (cuadro 1) se encuentran los ascensos abruptos del centro del estado hasta alcanzar la cima del Pico de Orizaba (5 750 msnm), y otros macizos montañosos en los Tuxtlas, al sur, y en la Huasteca, al norte.



■ Mapa 1.
El estado de Veracruz con sus principales ríos y asentamientos humanos
Fuente: FALTA

El estado es atravesado por varios ríos (mapa 1), entre los que destacan, en el norte, el Pánuco, el Tuxpan, el Cazones, el Tecolutla y el Nautla; en el centro se encuentran el Actopan, La Antigua y el Jamapa; y en el sur, el Papaloapan y el Coatzacoalcos. Los ríos de la entidad transportan, en conjunto, el 25% de las aguas superficiales que cruzan por México. El estado cuenta también con lagunas importantes, como la de Tamiahua (880 km², en la costa norte), la laguna deltaica de Alvarado (62 km², centro-sur) y la de agua dulce de Catemaco (75 km², en la costa sur).

Su ubicación entre los 17° y 23° de latitud norte, ligeramente al sur del trópico de Cáncer, sus 745 km de costas frente al Golfo de México y su relieve continental —formado por una planicie costera al norte y otra al sur con el centro escarpado con altitudes del nivel del mar hasta los 5 200 m en menos de 200 km de anchura (cuadro 1)— lo exponen recurrentemente a hidrometeoros desastrosos. En el semestre centrado en el invierno los frentes fríos azotan con vientos superiores a los 70 km/h durante 35 días al año, en promedio, provocando descensos de temperatura superiores a 10 °C en 24 horas; y en el verano el aire tropical, a veces en forma de perturbación o ciclón, origina inundaciones en las partes bajas y deslaves en las sierras. Las precipitaciones anuales van, en promedio, de más de 3 000 mm (litros/m²) en la región de los Tuxtlas, a menos de 700 mm en el centro del estado, en la frontera con el estado de Puebla (Ruiz-Barradas *et al.*, 2010).

CUADRO 1

Porcentajes de área correspondientes a distintos intervalos de altitud para el estado de Veracruz

Altitud (m)	Área (km ²)	Porcentaje
0 a 200	52 827	72.5
201 a 1 000	13 092	18.0
1 001 a 2 000	4 988	6.9
2 001 a 3 000	1 748	2.4
Mayor a 3 000	160	0.2

Fuente: Ruiz-Barrados *et al.*, 2010.

Los años 1999, 2005 y 2010 fueron particularmente severos en inundaciones. En octubre de 1999 una depresión tropical, asociada al paso de un frente polar, produjo 200 000 damnificados, 12 000 viviendas averiadas, 20 cortes carreteros,

y dejó 200 muertos. En 2005 afectaron al estado cuatro tormentas tropicales, con 1.5 millones de damnificados, 130 000 viviendas dañadas y 170 cortes carreteros, pero no ocurrió pérdida de vidas humanas. La diferencia en decesos se debió a que en 2005 ya había un incipiente sistema de alerta meteorológica. El libro *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz* (Tejeda-Martínez y Welsh-Rodríguez, 2006) refiere, en veinte capítulos, aspectos arqueológicos, mitológicos, meteorológicos, hidrológicos, económicos, sociales y políticos, además de plantear escenarios futuros de las inundaciones en este territorio. No obstante, salvo esfuerzos aislados como ese libro y el presente, en la entidad no se han realizado estudios ni se han organizado de forma sistemática las bases de datos sobre inundaciones y, por tanto, las acciones siguen siendo empíricas y poco sustentadas en información.

El año 2010 en varios aspectos superó a los precedentes de 1999 y 2005. Por ejemplo, la ciudad de Tlacotalpan (18.62° N, 95.66° W y 10 msnm) —en la ribera del río Papaloapan y considerada patrimonio cultural de la humanidad por su arquitectura tradicional del siglo XIX— estuvo anegada en dos ocasiones: la primera del 28 de agosto al 21 de septiembre y la segunda del 28 de septiembre al 4 de octubre, respectivamente con 2.70 y 4 m sobre el nivel medio del río. Dos huracanes, *Karl* (17 y 18 de septiembre) y *Matew* (25 y 26 del mismo mes), causaron inundaciones en diversos puntos del estado y pérdidas por 5 000 millones de dólares —el presupuesto del gobierno del estado es de aproximadamente 7 000 millones de dólares anuales— y 20 muertos, pero en todo el estado y para la temporada de lluvias 2010 se acumularon 130 decesos.

En resumen, el crecimiento demográfico —el estado pasó de 6.3 millones de habitantes en 1990 a 7.6 millones en 2010—, los asentamientos humanos en zonas inundables y la carencia de una política efectiva en materia de prevención de desastres que privilegie la atención de emergencias sobre la prevención hacen de este territorio un laboratorio involuntario de riesgos, potenciados por el desconocimiento de los patrones de circulación atmosférica a mesoescala y las teleconexiones como principales causantes de la variabilidad climática, a lo que hay que agregar el cambio climático global.

¿Es posible, entonces, plantearse un estado sin inundaciones para las próximas décadas? Desde luego que la respuesta es no. En parte por las condiciones geográficas del estado, pero también por sus niveles de desarrollo social: los dos extremos de la escala económica, colonos pobres y empresarios inmobiliarios, suelen recurrir a la invasión de tierras inundables.

Conocida en el medio académico, casi nadie toma en cuenta la más sencilla fórmula de la estimación del riesgo como el producto del peligro (probabilidad de que ocurra un fenómeno extremo), multiplicado por la vulnerabilidad y por el valor (UNESCO, 1972). Es decir, que un terreno pantanoso, humedal donde se depositan los torrentes pluviales, mientras no tenga seres ni bienes valiosos tampoco existe riesgo; pero si el valor deja de ser nulo y se le multiplica por la vulnerabilidad y el peligro, de por sí altos, el riesgo puede traducirse en catástrofe.

La vulnerabilidad se puede disminuir con obras de infraestructura, con información y educación adecuada a la población, los constructores y los funcionarios; también con ordenamientos territo-

riales que se cumplan en los hechos, pues comúnmente las decisiones sobre los asentamientos humanos se contaminan de intereses económicos y demagogia electoral.

El peligro o amenaza se puede cuantificar e incluso anticipar, lo que llevaría a reducir la vulnerabilidad. Para conseguirlo se requiere un sistema de alerta temprana. Pero el peligro o amenaza también se puede atenuar, si la pavimentación tierras arriba se hace con resumideros de agua pluvial para evitar que ésta llegue a los asentamientos bajos; si se reforesta tierras arriba para que los escurrimientos sean más lentos, y conservando o recuperando zonas de manglar y de humedales, por ejemplo.

Un sistema de alerta temprana parte de un conjunto de ecuaciones que ya están desarrolladas, pero que deben ser puestas en un modelo computacional, con la información de la topografía y del uso del suelo, de los caudales y los valores meteorológicos observados en el pasado; se tiene que probar una o dos temporadas para calibrarlo, y nunca hay que dejar de mejorarlo. Se completa ese sistema con medidas preventivas y de auxilio que deben tenerse dispuestas en protocolos claros. El modelo de prevención o pronóstico por sí solo no es suficiente; tampoco los protocolos de auxilio. Confiar ciegamente en el pronóstico constituye un enfoque tecnócrata y parcial; prescindir de ellos y sólo actuar ante la tragedia es una visión conformista y resignada.

Negri y otros (2005) proponen para la prevención ante huracanes, que los resultados obtenidos de los modelos de trayectorias e intensidad de huracanes sean la entrada del modelo local de pronóstico de lluvias y vientos, y que esto, a su vez,

alimente un sistema de prevención de avenidas y remoción de terreno. Un ejemplo de desarrollos potenciales, que no se lleva a la práctica, son los estudios sobre las inundaciones del río Tecolutla: el de Pereyra (1993) y el de Garnica-Peña y Alcántara-Ayala (2004).

En un sistema de alerta temprana son muy útiles los pronósticos a mediano plazo, sin embargo, debe reconocerse que todavía hay vacíos importantes en el conocimiento de la variabilidad climática en el estado. Por ello se discuten algunos elementos de ésta en la siguiente sección.

La variabilidad climática del estado de Veracruz

Además de la complejidad propia de la orografía, México enfrenta la derivada de los múltiples sistemas de circulación atmosférica que lo afectan. La lista elaborada por Klaus (1977) sigue siendo válida: *a)* la migración anual de la zona intertropical de convergencia, sobre todo para la costa pacífica del país, pero con repercusiones en el sur del estado de Veracruz; *b)* la posición e intensidad de los sistemas semipermanentes de alta presión del Atlántico y del Pacífico; *c)* la intensidad y frecuencias del flujo y las ondas del este; *d)* la intensidad y frecuencia de tormentas tropicales del Atlántico y del Pacífico oriental; *e)* el flujo y las ondas del oeste extratropicales, y *e)* los flujos convectivos, frecuentemente forzados por la orografía. Sobre ellos juegan un papel importante las teleconexiones atmosféricas y su asociación con la variabilidad climática local, tema revisado por Torres-Alavez y otros (2010) y Tejeda-Martínez y otros (2011) que se sintetiza

más adelante,* a partir de las metodologías desarrolladas por el Grupo de Expertos en Índices de Detección de Cambio Climático (ETCCDI, Alexander *et al.*, 2006; Brunet *et al.*, 2008), con base en la prueba de Homogeneidad Normal Estándar (Alexandersson y Moberg, 1997; Wang y Yang, 2007), así como la concentración temporal de la precipitación con el índice de Gini (Martín-Vide, 2004).

La variabilidad de la precipitación en México está, en buena medida, modulada por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (Seager *et al.*, 2009). En la fase positiva del fenómeno de El Niño se observan condiciones húmedas durante el invierno en todo el territorio mexicano, mientras que durante el verano las condiciones son secas en el norte y prevalecen húmedas en el sur. Según Magaña y otros (1998), las lluvias de invierno se intensifican durante El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen en la parte sur. Los inviernos con presencia de El Niño son más fríos en casi todo el país y los veranos en las mismas condiciones son más cálidos.

Torres-Alavez y otros (2010) no encontraron correlaciones importantes entre la precipitación y los índices de oscilaciones. Lo único destacable fue que la precipitación acumulada mensual alcanzó su máxima correlación (0.14) con diez meses de desfase previos de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

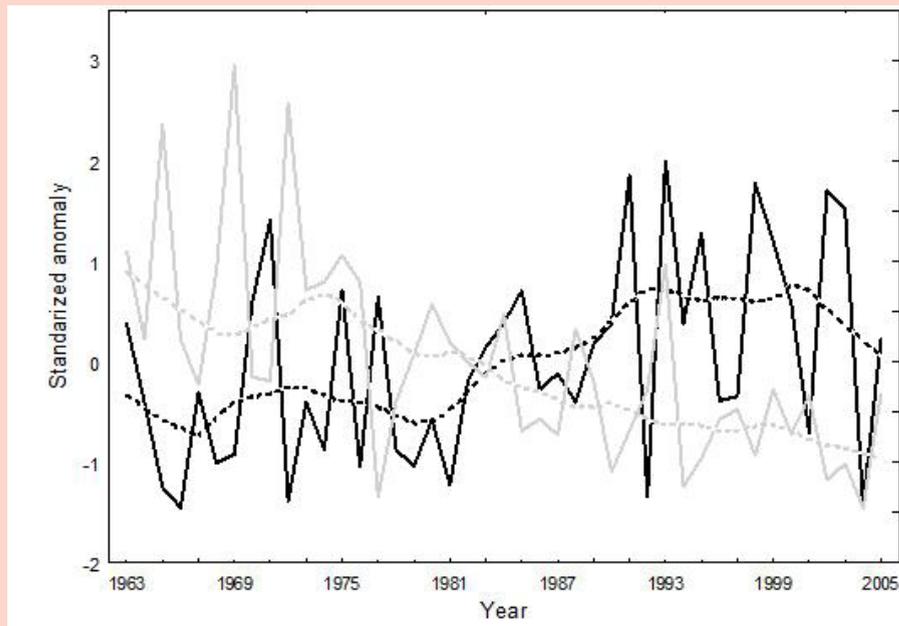
* Para analizar las teleconexiones entre oscilaciones atmosféricas y la variabilidad local de la precipitación se utilizaron los índices de la PDO (Oscilación Decadal del Pacífico) disponibles en la Universidad de Washington (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>); los datos de temperatura superficial del mar interpoladas óptimamente por Reynolds y el índice de la Oscilación del Atlántico Norte se obtuvo de la Unidad de Investigación del Clima del Reino Unido (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>). Los índices de El Niño fueron obtenidos del Centro Hadley, también del Reino Unido a través del Centro Británico de Datos Atmosféricos (<http://badc.nerc.ac.uk/data/hadist/>). Se eligió un periodo en común para todos los datos entre enero 1950 y diciembre 2001.

Los mismos autores, al analizar las relaciones con El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) encontraron que los años en que se presenta El Niño son más secos que aquellos en que se presentan condiciones de La Niña, con 0.05 de significancia estadística. La sequía de medio verano, o canícula, es la disminución relativa de la precipitación que ocurre a mitad de la época de lluvias, calculada su intensidad como el déficit en porcentaje de precipitación relativa a un periodo ideal con un solo máximo de lluvias (Mosiño y García, 1966). Se encontró que aproximadamente un 16% puede explicarse como función de las variaciones en la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), mientras un 9% se explica en función de la ENOS.

Al correlacionar el índice de la sequía intraestival con la media anual de los índices de las oscilaciones se concluye que El Niño 3.4 y la NAO de las Azores son los más altamente correlacionados con valores de 0.31 y 0.4, respectivamente (la varianza explicada es del 9% y 16%, respectivamente). En el caso de la PDO y la Oscilación del Atlántico (AO) la correlación es imperceptible.

Para la temperatura máxima, el cambio en la tendencia lineal es de 1.3 °C en la década de 1996-2005, mientras que la temperatura mínima presenta un cambio de 0.4 en el mismo periodo. En el caso de los índices de días frescos, días cálidos y noches frías, los resultados concuerdan con lo encontrado por Vázquez-Aguirre y otros (2008).

Ni en la precipitación total anual ni en la lluvia intensa se observaron cambios significativos para la región, pero sí en la distribución temporal de la lluvia, en la que el número de días húmedos consecutivos se reduce, mientras que las rachas secas muestran un ligero aumento (gráfica 1).

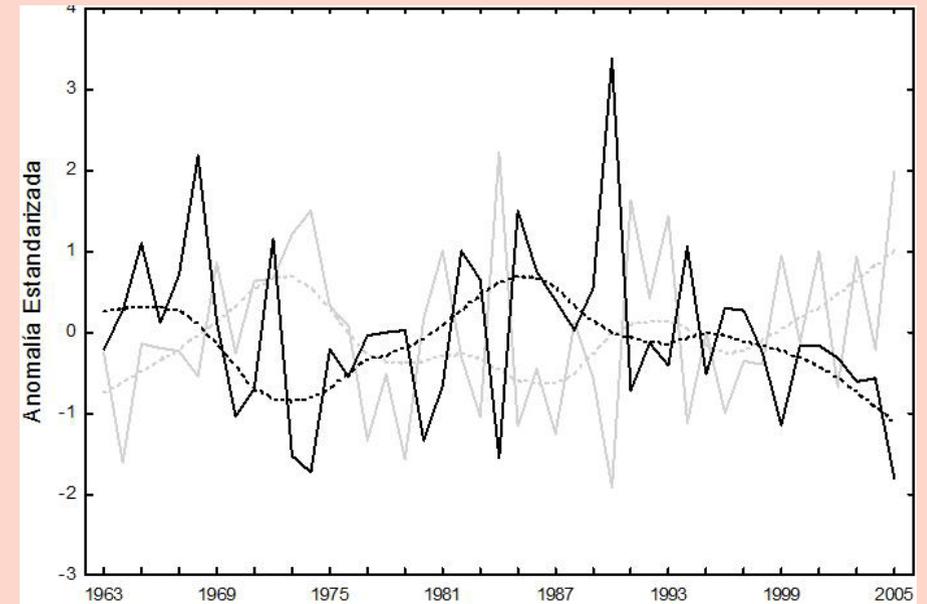


■ **Gráfica 1.**
Anomalia estandarizada de los días húmedos consecutivos (línea gris continua) y días secos consecutivos (línea negra continua), ambas suavizadas con un lowess (líneas punteadas respectivas)
Fuente: Ruiz-Barrados *et al.*, 2010.

El índice simple de intensidad diaria (SDII) resultó con tendencia cero, debido a que tanto la precipitación y el número de días con precipitación disminuyen, mientras que el índice de Gini mostró una ligera tendencia negativa (gráfica 2).

En suma, la variabilidad de la precipitación en el estado de Veracruz está modulada de manera importante por el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur, pero no al grado de poderse usar esa oscilación para pronóstico a mediano plazo de lluvias o sequías extremas. Sólo puede afirmarse que durante los años de El Niño prevalecen condiciones más secas que en los años de La Niña. La influencia de la PDO se presenta con un desfase temporal de 10 meses, pero es muy pequeña con relación a la influencia de la ENOS. Por su parte, las oscilaciones AO y NAO, no muestran un impacto significativo en el clima de la región.

Asimismo, los índices de cambio climático analizados corroboran la evidencia de tendencia a



■ **Gráfica 2.**
Anomalia estandarizada del SDII (línea gris continua) y del índice de Gini (línea negra continua), ambas suavizadas con un lowess (líneas punteadas respectivas)
Fuente: Ruiz-Barrados *et al.*, 2010.

condiciones más cálidas en años recientes, aumento en la frecuencia de días calurosos y disminución de los días frescos. En la precipitación no se perciben cambios significativos ni en la escala anual ni en la ocurrencia de episodios extremos, pero se nota un aumento en la concentración temporal de esta variable en la mayor parte del estado, lo que podría asociarse a un incremento de las inundaciones año con año.

Cambio climático sí o no: falso dilema

De la sección anterior se concluye que es imprudente atribuirle al cambio climático cualquier evento meteorológico extremo, sobre en todo en un contexto de amplia variabilidad climática. No obstante, si no somos capaces de enfrentar los embates meteorológicos presentes, menos lo seremos de adaptarnos al cambio climático (Bicknell *et al.*,

2009), pues el riesgo futuro habrá de incrementarse exponencialmente, debido a que los asentamientos humanos en zonas inundables incrementan su vulnerabilidad, por ejemplo, el incremento de la amenaza meteorológica toda vez que el cambio climático incrementa la incertidumbre en los pronósticos (IPCC **¿QUÉ SIGNIFICA?**, 2007). Además, es importante señalar que en el estado de Veracruz parece que la precipitación tiende a concentrarse en un periodo menor.

Cabe destacar que las inundaciones de 2010 no necesariamente fueron producto del cambio climático: la variabilidad natural del clima junto con asentamientos en zonas vulnerables son suficientes para causar desastres, como se vio claramente con los daños que provocó el *Katrina* sobre Nueva Orleans en 2005 (Pielke *et al.*, 2005; Anthes *et al.*, 2006).

Anthes y otros (2006) consideran que el calentamiento global puede generar huracanes más intensos pero que, por ejemplo, atribuirle a este fenómeno la cuantiosa temporada de tormentas tropicales que tuvo lugar en 2005 en el Atlántico es incorrecto, como también lo es negar tajantemente que exista alguna relación.

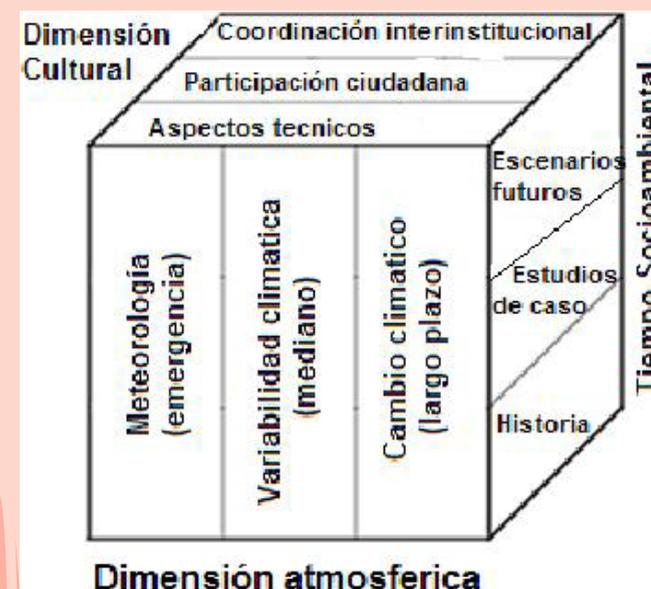
Por su parte Pielke y otros (2005) no estiman que haya evidencias de conexión entre los incrementos de gases de efecto invernadero y los huracanes categorías 3, 4 y 5 que se han vuelto más frecuentes recientemente, pero alertan en que sólo por el crecimiento poblacional y de los asentamientos humanos los niveles de riesgo por hidrometeoros se incrementarán más de cuarenta veces a lo largo de la primera mitad de este siglo.

Por otra parte, a pesar de su carácter global, el cambio climático tiene rasgos locales. Los escena-

rios futuros de incrementos térmicos de 1 a 5 °C en cien años, las disminuciones en algunas regiones —o incremento en otras— de la precipitación hasta en un 50%, y una elevación del nivel de mar de casi un metro, no pueden interpolarse a escalas estatales o municipales de manera automática. Tampoco lo podemos hacer con los impactos en las actividades económicas, la biodiversidad o la salud. Son imprescindibles los ejercicios de prospectiva local y sectorizada.

Como ya se dijo, las polémicas en torno a si tal o cual anomalía —una inundación, una onda de calor, o una sequía— es producto del cambio climático o no, no tienen sentido práctico. Es más, se pretende que esa peculiaridad sirva para validar o refutar la existencia de dicho cambio. Más bien, la complejidad del comportamiento atmosférico debería llevarnos a tratar de entender sus diversas escalas de tiempo, de la jerarquización cultural y de la organización social, como lo indica el esquema 1.

Este cuadro se va a rehacer porque su calidad no es la apropiada



Esquema 1. Coordenadas fundamentales en las dimensiones atmosférica, socioambiental y cultural, de los hidrometeoros
Fuente: ????????

Desde un punto de vista netamente atmosférico (eje X en el esquema 1) es necesaria la comprensión de al menos tres tiempos: 1) el meteorológico, que permita la realización de pronósticos a corto plazo; 2) la variabilidad climática para el plazo medio (meses), y 3) la generación de escenarios de cambio climático con décadas de antelación. Por su parte, en el eje Z, del tiempo socioambiental, se requiere de una revisión histórica de los desastres y las proyecciones futuras (escenarios), y relacionarlos con el estudio de casos especiales, como por ejemplo de los años de sequía, de inundación o de inviernos o veranos muy rigurosos.

Lo que podría llamarse la dimensión cultural (eje Y en el esquema 1), debe partir de un conocimiento técnico sólido de los aspectos atmosféricos (meteorológicos, de mediano plazo y climáticos), así como de la historia socioambiental, los casos más importantes y las proyecciones futuras. Pero de nada servirá ese conocimiento si no existe una coordinación interinstitucional, la que no se dará sin una sociedad altamente participativa que fuerce a actuar a aquellos que toman las de decisiones.

Es decir, que lo abstracto del concepto, su ambigüedad en términos del lenguaje común, y la complejidad de las diversas dimensiones presentes al momento de abordar el problema (esquema 1) hacen que fuera de los sectores académicos, sociales y oficiales relacionados con el medio ambiente, haya una nebulosa que opaca o impide la discusión informada en torno al cambio climático. Por tanto, la prevención de desastres de origen meteorológico se contamina con la discusión ociosa de si el cambio climático los rige o no.

Sumario periodístico 2010 y avance 2011

La recopilación de notas periodísticas** relacionadas con las inundaciones sucedidas durante 2010 en el estado de Veracruz permitió elaborar un inventario aproximado de daños producidos por el paso del huracán *Karl* y la tormenta tropical *Mathew*.

Los municipios afectados de las regiones centro y sur del estado de Veracruz fueron 94; en 86 de ellos se concentraron los daños, resultaron siniestradas 1 400 localidades y 140 000 casas dañadas; además hubo un millón de afectados de manera directa y 3 250 000 de manera indirecta.

Las inundaciones mantuvieron a Tlacotalpan por más de quince días bajo el agua. En la zona conurbada Veracruz-Boca del Río se inundaron las colonias La Pochota, La Laguna, Floresta, Predio I, II, III y IV, Laguna Real y Rosa Borunda. Los más afectados fueron los poblados de Cardel, Úrsulo Galván, Medellín, Cotaxtla, La Antigua, toda la población de San Pancho y Paso de Ovejas. En este último municipio desapareció literalmente la colonia Río Medio, inundada por un golpe de agua.

El inventario de daños fue impactante: postes caídos, piedras y troncos empujados por las corrientes de agua, serias fallas de energía eléctrica, y más de 200 000 árboles afectados.

No se obtuvieron datos ni siquiera aproximados de la cantidad de animales arrastrados por las corrientes. Los ríos Jamapa y Cotaxtla desembocaron en el mar llevando en sus caudales además de tron-

** Publicadas en medios impresos y electrónicos *Diario de Xalapa, Tabasco Hoy, Noticias México, Imagen de Veracruz, Diario Notisur, La Jornada, Notiver, Tiempo, Imparcial Huatusco, Dossierpolítico, Excelsior, Analítica, El Universal, AVC Noticias, Alcalorpolítico, Notimex, El Golfo, Mareainformativa.com* y *La crónica de Hoy*, del 18 al 24 de septiembre de 2010; y en *La Jornada Veracruz, Diario AZ y Milenio El Portal*, del 20 de junio al 20 de julio de 2011.

cos y basura, cuerpos de animales: reses muertas, cerdos, culebras y hasta un venado en las playas de Villa del Mar y el acuario de Veracruz. En Chachalacas, un criadero de avestruces sucumbió y las aves espantadas se dispersaron en la playa.

Asimismo, causaron expectación los 400 cocodrilos de la especie *Crocodylus moreletii* que escaparon de la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA) El Colibrí, en el municipio de La Antigua.

Según datos de las Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca, la producción pesquera tuvo una merma de 35%; 1 300 000 hectáreas de diversos cultivos fueron afectadas, y alrededor de cinco por ciento del total del cultivo de diversas siembras resultó con daños, principalmente maíz, sorgo de grano, caña de azúcar, cítricos y pasto. Los productores de flores calcularon que un millón de plantas se echaron a perder.

Un censo de empresas realizado por la Confederación Patronal de la República Mexicana registró que 2 700 socios de Veracruz, Boca del Río y Medellín resultaron afectados. Sin embargo, lograron que Nacional Financiera (Nafin) apoyara a las empresas siniestradas con mil millones de pesos y que, además, recibieran beneficios fiscales, como la exención de pagos provisionales al Impuesto Sobre la Renta (ISR) y el Impuesto Empresarial Tasa única (IETU). En un corte de caja en la primera quincena de octubre, el gobierno estatal calculó que los daños en total ascendieron a 60 000 millones de pesos.

En 2011 las inundaciones iniciaron el 30 de junio, en el norte del estado, con la llegada, a la al-

tura de Tamiagua, de la tormenta tropical Arlene. En 58 municipios de aquella zona se suspendieron las labores académicas el jueves 30 y el viernes 1 de julio. Cerca de 20 000 personas se refugiaron en albergues; alrededor de 500 casas habitación quedaron afectadas en su estructura, de las cuales un 10%, aproximadamente, fueron destruidas. Pero los efectos se extendieron hasta el centro del estado, pues en la zona conurbada de Xalapa no se tomaron precauciones: se registraron 16 inundaciones con un saldo de dos fallecidos: en la colonia Plan de Ayala y en el fraccionamiento La Ciénega. Son dos ejemplos de patrones de asentamientos humanos: en el primero, la pobreza orilla a la población a asentarse donde puede; en el segundo, los fraccionamientos florecen en zonas inundables —¡ni más ni menos que en una ciénega!— al amparo y contubernio de las autoridades.

Hacia mediados de julio las ondas tropicales 8 y 9 desbordaron el río Cazones. Al momento de escribir esta Introducción todavía estaban por venir los meses más lluviosos en la vertiente del Golfo de México: septiembre y octubre.

AQUÍ PODRÍA INCLUIRSE UN ÁLBUM DE FOTOS CON ESCENAS DE LAS INUNDACIONES Y SUS INCIDENTES

Sobre este libro

El 22 y 23 de noviembre de 2010 la Universidad Veracruzana realizó en su campus de Boca del Río un foro sobre las recién ocurridas inundaciones en el estado de Veracruz, principalmente a causa del paso de los huracanes *Karl*, que tocó tierra el 17 de septiembre, y *Mathew*, que en calidad de tormenta tropical entró al estado el 27 de septiembre. De ese foro se derivaron una serie de textos académicos que se compilan en este libro; 21 reflexiones propositivas agrupadas en cinco secciones: La memoria, El medio físico, La biósfera, Escenarios y herramientas, y Vulnerabilidad y adaptación.

Sagrario Cruz y Cristina Alvarado recuperan la memoria de las inundaciones en Tlacotalpan y Cosamaloapan, a través de la historia oral y de otras fuentes, trabajo que se complementa con el prólogo al libro escrito por el periodista Pablo Robles Barajas, basado en la conferencia que impartió dentro del foro. Por su parte, Antonio Luna y Daniela Rivera repasan los huracanes que han afectado al estado desde mediados del siglo XIX, para, finalmente, detenerse a describir con detalle al huracán *Karl*. De esta manera, brindan el contexto histórico para asomarse al medio físico de las inundaciones. Alfredo Ruiz-Barradas abunda sobre las causas de variabilidad climática esbozadas al inicio de esta Introducción, y adelanta conclusiones de un trabajo sumamente riguroso. Revisada la componente atmosférica y su relación con el océano, los escurrimientos superficiales de las precipitaciones generadas por *Karl* son estimadas en una primera aproximación por Domitilo Pereyra y sus colaboradores. Por su parte Juan Pérez-Quezadas y equipo analizan la variación del nivel estáti-

co del agua subterránea en relación a la presencia de fenómenos hidrometeorológicos intensos, precursores de inundaciones, en la parte baja de la cuenca del río Coatzacoalcos. Cierran esta sección Leonardo Ortiz-Lozano y Javier Bello-Pineda al plantear que la ocurrencia de desastres obedece, en gran medida, a la presencia de escenarios propiciatorios, tanto ambientales como sociales.

La tercera parte se ocupa de la biósfera en tres ensayos: el de Samaria Armenta Montero y sus colaboradores se refiere al río Coatzacoalcos y propone la restauración ecológica como estrategia para la reducción del riesgo ante inundaciones; en concordancia argumentan Carlos Ávila Bello y coautores sobre la subcuenca del río Huazuntlán en el sur del estado. Completa esta sección un estudio preliminar de Virgilio Arenas y otros autores sobre los efectos en el Sistema Arrecifal Veracruzano de los objetos arrastrados por los escurrimientos pluviales de *Karl*.

La cuarta sección tiene que ver con las herramientas de aplicación práctica y los escenarios futuros. Así, Ana Cecilia Travieso realiza un análisis de riesgos de inundaciones en la cuenca del río Nautla mediante un modelo presión-estado-impacto-respuesta; Eduardo Robelo presenta una propuesta de evaluación de pronósticos meteorológicos en el estado, y Ana Gabriela Moguel propone un modelo de estimación del riesgo de inundaciones en colonias de Xalapa —ambos en coautoría con el que suscribe estas líneas—. Beatriz Palma y coautores actualizaron el trabajo de Jáuregui y Zitácuaro (1995) de las envolventes de probabilidad empírica de impactos de tormentas tropicales en cuatro puertos del Golfo de México: Coatzacoalcos, Veracruz, Tuxpan y Tampico. Práctica-

mente el mismo equipo de trabajo presenta unos escenarios climáticos para los años 2030 y 2050, herramienta fundamental para cualquier ejercicio de prospección futura en la previsión de inundaciones.

Finalmente, se agrupan cinco trabajos sobre vulnerabilidad y adaptación a las inundaciones. Rey Acosta y Katia Romero, con un fuerte sustrato de análisis económico, plantean estrategias de sustentabilidad para el municipio de Cotaxtla. Eduardo Ramírez y otros proponen, para las costas de Veracruz-Boca del Río, la manera de estimar la vulnerabilidad. Verónica Valadez y sus colaboradores se ocupan de la reducción de la vulnerabilidad de la producción de tilapia por inundaciones, lo que abre camino hacia los temas de adaptación tocados desde distintas perspectivas por Iris Neri y colaboradores, en cuanto al abastecimiento de agua y albergues en caso de inundaciones (y de terremotos); Antonio Hernández Beltrán y su equipo, abordan el tema de la salud veterinaria en el bajo Papaloapan en condiciones de inundación; Francisco Bermúdez y Griselda García fundamentan la necesidad de atención psicosocial en casos de desastres. Para terminar, Carlos Welsh y coautores comentan sobre la capacidad adaptativa del estado ante inundaciones.

Comentarios finales

Las inundaciones del año 2010 dejan algunas lecciones claras:

1. Los pronósticos meteorológicos en general son eficaces, pero se requiere que las dependencias oficialmente encargadas de ellos —Comi-

sión Nacional del Agua, del gobierno federal, y Centro de Estudios del Clima, del gobierno del estado— incrementen el número de sus integrantes y mejoren sus bases tecnológicas. Particularmente es importante dotar a Veracruz de una red hidrometeorológica suficiente y habilitar modelos de mesoescala.

2. Por su parte, los pronósticos de avenidas y crecientes de ríos no son suficientemente precisos, ya que no se cuenta con redes observacionales en tiempo real ni con modelos computacionales adecuados a las cuencas afectadas, ambas cuestiones tecnológicamente posibles y factibles. Un Manual para el Control de Inundaciones (Comisión Nacional del Agua, 2011) recomienda que los expertos en modelación hidrometeorológica deben ser capaces de interpretar los resultados y transmitirlos con claridad a los tomadores de decisiones y a la población, y la evaluación autocrítica debe ser permanente. Puntualiza, además, sobre la información que debe estar disponible para enfrentar una inundación: características de las áreas de vivienda o zonas productivas, inundaciones registradas en el pasado, infraestructura hidráulica, datos hidrológicos y climáticos, ubicación de las vías de comunicación, delimitación de cauces y áreas federales, fisiografía regional, proyectos de obras de protección, directorios y programación de seguridad de presas.
3. Si a lo mencionado en los dos puntos anteriores se añaden programas de ordenamiento territorial que se apliquen sin la blandura que le imprimen la politiquería y la corrupción, se podrá si no abatir, cuando menos evitar que crezca el número de víctimas en posteriores contingencias.

4. En materia de prevención de riesgos no basta con los órganos gubernamentales tradicionales. Se deben constituir consejos de expertos y consejos ciudadanos que venzan las inercias burocráticas. Las instituciones de investigación y otras, tienen grupos de trabajo en materia de prevención y evaluación de riesgos, que hace falta se coordinen, quizás en un consejo científico o técnico que sirva de plataforma de conocimiento y tecnología para los gobiernos. Los consejos ciudadanos, por su parte, deben dar voz a asociaciones de damnificados y grupos ambientalista, entre otros.
5. Por otra parte, debe reflexionarse sobre el hecho de que al igual que otras ciudades costeras en el mundo amenazadas por el aumento del nivel del mar, es urgente tomar medidas para aumentar la resiliencia*** de la población y la infraestructura en las zonas en peligro, desde el manejo de seguros financieros hasta la adecuación de la normatividad de la construcción de vivienda a los nuevos cambios en el clima y a los eventos meteorológicos extremos. La modernización de los sistemas hidráulicos en estas ciudades es imperante. Cualquier cantidad de presupuesto destinada a estas adecuaciones, reducirá los montos pagados. Por ejemplo, por las compañías aseguradoras en Cancún con el huracán *Gilberto*, 1 200 millones de dólares en 1988 y 1781 millones de dólares con el huracán *Wilma* en 2005 (AMIS, **¿Qué SIGNIFICA?** 2005).

*** Se prefiere la voz *resiliencia* en vez de *resiliencia* en concordancia con el *Manual para el Control de Inundaciones* (Comisión Nacional del Agua, 2011).

Como se ha mencionado, no es realista pensar un futuro de Veracruz sin inundaciones, pero habrá que aminorar sus efectos con acciones de prevención, como las que ya se han mencionado, así como también con cambios de concepción respecto al fenómeno. Recientemente está resurgiendo una visión más o menos aceptada en el pasado: la conveniencia de convivir con la inundación en vez de querer combatirla o evitarla a ultranza. Debe considerarse la necesidad de asumir la realidad de una región; convivir con la naturaleza y prepararse para la adversidad; conocer los cuerpos de agua antes de satanizarlos, y fomentar la construcción de viviendas lacustres (Comisión Nacional del Agua, 2011).

Desde luego este libro no agota el tema, pero da elementos para que la sociedad civil, los tomadores de decisiones y los académicos definan o depuren líneas de trabajo. Se demuestra, en todo caso, que hay conocimiento diverso y complementario para abordar las inundaciones y paulatinamente disminuir sus efectos, para lo cual previamente se tiene que armar el cubo de Rubik planteado en el esquema 1.

Agradecimientos

A Ivonne García Martínez y Elisa Tejeda Zacarías por la recopilación hemerográfica, y a Gloria Cuevas Gullaumin por sus atinadas sugerencias.

M

E

M

O

R

I

A

MEMORIAS DEL AGUA

Historia oral de las inundaciones de la cuenca del Papaloapan

Cristina Alvarado Ronquillo
Sagrario Cruz Carretero

INTRODUCCIÓN

Dicen que el agua tiene memoria, que por eso inunda zonas habitadas por los hombres en lo que antes eran lechos de ríos o lagunas. También las aguas generan memorias en la gente, a veces recuerdos dolorosos que el tiempo no alcanza a menguar. Este trabajo reconstruye la historia oral de varias generaciones de habitantes de Tlacotalpan y Cosamaloapan, Veracruz; urbes importantes de la cuenca del Papaloapan que sufrieron las inundaciones más catastróficas del siglo XX ocurridas en los años de 1931, 1933, 1944 y 1969. Los informantes refirieron las ya mencionadas como las más perjudiciales del siglo XX, aunque las inundaciones se han dado en otros años.* Mis abuelos

* 1501, 1552, 1580, 1714, 1787, 1831, 1840, 1860, 1867, 1875, 1888, 1901, 1903, 1912, 1921, 1922, 1927, 1929, 1931, 1933, 1935, 1941, 1944, 1945, 1947, 1950, 1969, 1991 (Arriola Molina 1991: 467; Ferat de Zamacona, 1975: 23).

■ Falta pie
Tlacotalpan inundado
Fuente: ???????



Del momento de la inundación del 18 de Agosto del año 1969. Octubre del 2011. Tlacotalpan, Veracruz



emigraron de Cosamaloapan por la inundación de 1931 hacia San Juan Evangelista. Desde niña oí a la abuela narrar la travesía de su éxodo en medio de lagartos que al sonido de la lancha se metían espantados (Enríquez, 2010: 183). No entendí, ni tuve empatía por el dolor que pasó la familia hasta que ocurrió la inundación de 2010, cuando cada uno de los que ahora vivimos en Veracruz fuimos damnificados o dolientes. Estos eventos catastróficos detonaron el interés por la realización de este trabajo.

La historia oral

La historia oral se define como una metodología utilizada para preservar el conocimiento de los eventos históricos tal como fueron percibidos por los participantes. Es una metodología creadora o productora de fuentes para el estudio de cómo los individuos (actores, sujetos, protagonistas, observadores) perciben y son afectados por los diferentes procesos históricos de su tiempo. A través de la entrevista directa, técnica de investigación primordial en la factura de la historia oral, se pueden obtener testimonios que retroalimentan al entrevistador y al entrevistado. Aunque el investigador es quien se supone guía, ordena y conduce la entrevista para la construcción de un discurso testimonial, el entrevistado muchas veces redirecciona el curso de la entrevista al aportar nuevos elementos, percepciones y acentuar aspectos que modifican de continuo las preguntas que originalmente se había propuesto hacer el entrevistador (Collado, 1994: 13).

Aunque originalmente la historia oral surgió de la reconstrucción testimonial de las élites y de los

líderes, actualmente es una metodología que permite dar voz a los sin voz y que se enfoca, en su mayoría, a trabajar con las clases subalternas. La historia oral reconstruye el hecho histórico no documentado en registros oficiales escritos; permite, además, relacionar la práctica científica desligada muchas veces de su entorno y de los sujetos sociales con que interactúa; aporta nuevos cuerpos de evidencias mediante la construcción de archivos orales; privilegia una aproximación cualitativa, muchas veces desdeñada, en el proceso del conocimiento histórico y socioantropológico; permite la interacción transdisciplinaria en el procesamiento de los datos; y vincula a los actores históricos con los medios sociales, institucionales, de registro, estudio y difusión de la historia (Aceves, 1995: 33 y 34).

La subjetividad de los testimonios producidos por la historia oral ha sido una de las principales críticas y cuestionamientos que se han hecho desde la historia corporativa y ortodoxa (Collado, 1994: 30) y, en general, desde el cuantitativismo y positivismo en las ciencias sociales. El testimonio, el relato, la narración, el recuerdo, la memoria, el olvido y la vivencia están clasificados como elementos subjetivos de difícil manejo científico (Aceves, 1995: 10) por ser evidencia de una experiencia mediada por el tiempo, la cultura y la reflexión *post factum* (Necoechea, 2005: 15).

En la recopilación de la historia oral se involucran todos los sentidos: es perceptiva, es emotiva, es inasible porque no la podemos aprehender en su totalidad y el resultado queda únicamente evidenciado en una grabadora o en un registro de video, y precisamente por eso es subjetiva. Pero, a pesar de esta subjetividad, la historia oral se sujeta a prácticas metodológicas estrictas en cuanto al planteamiento

to del problema de investigación; a una “heurística específica”; sigue esquemas y procesos de crítica de las fuentes; y finalmente realiza el proceso del análisis/síntesis con un enfoque hermenéutico (Aceves, 1995: 35), trascendiendo la visión anecdótica, nostálgica o romántica de la crónica.

En este documento se presentan los resultados de la reconstrucción histórica de las inundaciones más catastróficas del siglo XX a través de la historia oral, complementada con fuentes escritas. No obstante las críticas ya mencionadas a esta forma de hacer historia, se muestra una recopilación de testimonios que reconstruyen lo vivido antes, durante y después de estas catástrofes en dos de las urbes más importantes de la cuenca del Papaloapan.

Además, se trata la temática analizada por la antropología de los desastres. Bajo esta óptica de análisis histórico-antropológico se han realizado trabajos de investigación sobre sequías, crisis agrícolas y ganaderas, terremotos, heladas, nevadas,

■ Inundación de 2010.
Tlacotalpan
Foto: Silvio Linda



granizadas, plagas, huracanes e inundaciones. La antropología del desastre, no sólo provee de análisis histórico cualitativo, como en este caso de historia oral, sino que también analiza materiales que son de utilidad para especialistas de otros campos como la climatología, meteorología, ecología, ingeniería hidráulica, agronomía y de diferentes dependencias gubernamentales para la toma de decisiones (Oliver-Smith, 1996: 303).

Metodología

La metodología utilizada es similar a la seguida en los proyectos de los archivos de la palabra (acervos de recopilación de historia oral) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y de la Universidad Iberoamericana (UIA). Se realizaron entrevistas directas a informantes clave, es decir, a aquellas personas que pudieran brindar información detallada debido a su experiencia o conocimiento sobre las inundaciones, que tuvieran lucidez mental para recordar y capacidad física para dar testimonio de lo vivido. Los informantes seleccionados habitan en las urbes referidas y vivieron las inundaciones en los años antes mencionados, siendo niños (entre 3 y 12 años), adolescentes (entre 13 y 18 años) y adultos (entre 18 y 40 años). Cada grupo de edad percibió la catástrofe de manera distinta dando testimonios y recuento de eventos distintos y en ocasiones contrastantes. Hemos agrupado los testimonios de ambas localidades en el orden cronológico de las catástrofes, hilando los testimonios con el contexto histórico de la época. Se ha respetado también el anonimato de los informantes mencionando sólo el nombre de pila.



■ Vista de Cosamaloapan sin fecha
Foto: Autor desconocido

Las entrevistas exploraron tres ejes temáticos:

1. ¿Cómo era su vida antes de la inundación?
2. ¿Qué recuerda de la inundación? ¿Cómo vivió la inundación?
3. ¿Qué hicieron después de la inundación para salir adelante y cómo cambió su vida?

Complementariamente se hizo una recopilación de material fotográfico de la época proveniente de colecciones particulares y públicas, así como de material bibliográfico y hemerográfico que ilustra el contexto histórico de la época.

Inundación de 1931

En 1931 el mundo era testigo de la gestación del fascismo en Europa con el ascenso de Hitler al poder en Alemania y de Mussolini en Italia. China



■ Vista de Cosamaloapan
Foto: Autor desconocido

lanzó un reto militar a Japón por haber invadido Manchuria (*Excélsior*, 6 de diciembre 1931, año XV, t. VI, núm. 5360, f. 2). En España se sostenía la pugna entre anarquistas y republicanos contra conservadores (*El Dictamen*, 19 de febrero de 1931, año XXXIII, núm. 8295, f. 1). Gandhi libraba una lucha contra el dominio inglés en la India. Francia e Italia competían por el dominio naval militar en el Mediterráneo y se anunciaba un posible conflicto bélico. México entraba a la modernidad anunciando que ya no se usarían más los trenes pues se prefería usar camiones para la carga (*Op. cit.*, **¿A CUÁL DE LAS OBRAS CITADAS ANTERIORMENTE SE REFIERE?** f. 4). El tipo de cambio era de \$2.18 pesos por dólar. Se anunciaba una oleada de braceros mexicanos repatriados por Estados Unidos (*Ibid.*, ¿? sin foja).

En el periódico del puerto de Veracruz se publicaban las entradas diarias de barcos, vapores, pailebots (goletas pequeñas) y canoas. Se podía hacer el recorrido entre Nueva York, Veracruz y La Ha-



■
Cosamaloapan.
Inundación de 1938
Foto: Autor desconocido

bana en tan sólo 11 días en vapores rápidos de la compañía NY & Cuba Mail Steamship Company (*El Dictamen*, 9 de febrero de 1931, año XXXIII, núm. 8285, f. 5). Adalberto Tejeda, quien era gobernador del estado de Veracruz, encabezaba un gobierno de tendencia socialista con clara defensa del campesinado y proletariado y en pugna abierta con la Iglesia católica abanderada por Monseñor Rafael Guízar y Valencia (*El Gladiador*, Xalapa, 26 de julio de 1931, año 3, época II, núm. 115, f. 1).

Se proyectaban las películas de Chaplin y las primeras del cine sonoro. María Conesa y Agustín Lara se presentaban en teatros de la Ciudad de México. La televisión se anunciaba como un gran invento por venir (*Excelsior*, 6 de diciembre de 1931, año XV, t. VI, núm. 5360 fs. 7 y 8).

Pascual Ortiz Rubio, quien era presidente de México, mostró una incapacidad para gobernar bajo el dominio de Plutarco Elías Calles, y renunció a la presidencia un año más tarde. La economía de México aún resentía la crisis de 1929 que

había afectado el mercado estadounidense (*Tiempo de México*, febrero de 1930 a septiembre de 1932, segunda época. núm. 9, fs. 1 y 2).

El ambiente de tensión religiosa en el estado de Veracruz, la falta de medios de comunicación y la carencia de energía eléctrica hicieron que los habitantes de Cosamaloapan pasaran tres meses bajo el agua, pues cuando todavía no habían logrado desaguar los terrenos llegaba otra nueva inundación (Arriola, 1991: 84), causando sufrimiento y pobreza generalizada sin recibir ayuda pronta por parte del gobierno. Es interesante observar que en el informe del gobernador en turno, Adalberto Tejeda, no se hace ninguna referencia a la catástrofe de las inundación o a la necesidad de ayudar a los damnificados, pero sí se enfatiza en la tensa relación entre la Iglesia y el Estado (Blázquez, 1986: 6272).

Cosamaloapan 1931

En este contexto histórico, en la cuenca del Papaloapan ocurrió la inundación de septiembre de 1931. Algunos informantes refirieron que a la inundación la precedió un huracán que hizo llover juiles y pepescas, peces del Papaloapan que presagiaban algo malo.

Don Héctor C. nació el 27 de julio de 1927, tenía cuatro años de edad cuando sucedió la inundación de 1931 y narra: “Recuerdo que había un tablón amarrado a un poste de la casa y empezó a flotar, quise subirme como si fuera una balsa pero se volteó y me estaba ahogando... y los gritos hicieron correr a mi mamá para sacarme y me dio una pela... por eso me quedó tan grabado el recuerdo...”. Esta inundación hizo que su familia emigra-

ra de Cosamaloapan a San Juan Evangelista. Sus padres eran maestros de primaria y los encargados de proveer con una pequeña planta de energía eléctrica a Cosamaloapan, pero con la inundación ya no podían hacerlo. Decidieron buscar un lugar seco para reasentarse; pusieron lo que lograron salvar de la casa en un chalán tirado por un bote de motor en el que viajaron sus padres, sus hermanos, de seis y dos años, y su hermanita de tan sólo ocho meses de edad, además de dos perros. Al llegar a Tlacotalpan atracaron para reabastecerse de combustible y los perros salieron corriendo asustados por el ruido del motor de la lancha. Héctor empezó a llorar porque pensó que se quedaría sin sus mascotas, pero después de un rato de búsqueda los recuperaron y Héctor siguió tranquilo su viaje.

Tlacotalpan 1931

Don Gustavo F. nació en 1917, tenía 14 años cuando sucedió la inundación de 1931. Narra que ésta

■
Cosamaloapan
sin fecha

Foto: Autor desconocido



duró cuatro meses y que, aunque la mayor parte de las casas no se mojaron, el agua subió inundando las calles y algunas partes bajas de Tlacotalpan, por lo que las personas no podían ir a trabajar al campo. No fue tan profunda, pero sí demorada:

Subía uno los muebles donde podía, en tapices de madera y todo, las casas sólo se inundaron en la parte más baja, como en esta zona, como 20 o 30 cm, es la inundación que le digo que duró cuatro meses. El centro no se inundó, sí había comercio, esa contó sólo por lo demorada, no fue de las que causara destrozos, no hubo falta de alimento, las embarcaciones de Alvarado para acá traían comida, venta, el comercio no se perjudicó gran cosa.

Don Crisanto A., de 75 años, nos platica lo que su abuelita le contaba sobre la inundación de 1931, pues él todavía no había nacido:

[...] Fueron las siete avenidas (venidas de aguas), siete veces se inundó Tlacotalpan, las Pascuas las dieron en

■
Cosamaloapan
sin fecha

Foto: Autor desconocido



bote, porque la gente en lugar de andar en carro andan en bote, ésa es otra cosa, si el agua llega a un nivel llega más alto, pero más recio, no se puede controlar, si las puertas no están bien agarradas, las abrían.

El trabajo pionero sobre historia oral de la antropología funcionalista británica de Evans Pritchard (Pritchard, 1976) menciona la importancia de la transmisión del saber entre generaciones continuas (de padres a hijos), pero subraya la oralidad transmitida entre generaciones alternas por la estrecha relación que se da entre abuelos y nietos. En el testimonio precedente se observa cómo la práctica de la tradición oral es transmitida entre la primera y la tercera generación, es decir, gracias a que los abuelos les han narrado a sus nietos lo que ocurrió en Tlacotalpan en la inundación de 1931.

Don Cirilo C. nació en 1904, y comenta que:

[...] la inundación de 1931 demoró como tres meses, porque crecía y bajaba, se inundó todo Tlacotalpan, agarrábamos los cerros, hacíamos casas de palma para salvarnos y ahí estábamos revueltos ganado, gato, perro, de todo revuelto, mosquitos, todos buscábamos los cerros para salvarnos y comíamos armadillo, galápago, [tortugas] pintas, venado, todas esas aves ahorita ya se terminaron...

Los habitantes de Tlacotalpan, a pesar de haber vivido innumerables inundaciones, en todo momento consideran la ocurrida en el 2010, como la que ha ocasionado mayores desastres, pues la de 1931, a pesar de que el río creció varias veces, al menos les dio tiempo de salvar las cosas que tenían.

Inundación de 1933

Durante 1933 se anunciaba en la prensa que las ciudades de Tampico y Pánuco sufrían a causa del ciclón que azotaba la región del Golfo de México. Había también damnificados en el vecino estado de San Luis Potosí (*Actualidad*, 30 de septiembre de 1933, núm. 16, f. 2). Se implantaba, de manera sorpresiva, el servicio militar obligatorio en el país, y sólo faltaba que ciertas agrupaciones de influencia intelectual en la sociedad, así como por asociaciones profesionales y otros de influencia gremial respaldaran la medida. Se anunciaba el posible derrocamiento de Plutarco Elías Calles si no decidía retirarse voluntariamente (*Op. cit.*, **¿A CUÁL DE LAS OBRAS CITADAS ANTERIORMENTE SE REFIERE?** 7 de octubre de 1933, núm. 20, f. 1). Ocurría una meteórica baja de 61 puntos del dólar frente a la moneda nacional y los bancos locales seguían operando con dichas divisas para reforzar la confianza en nuestra moneda (*El Economista*, 9 de marzo de 1933, t. X, núm. 126, f. 1 y 2).

La Cámara de Diputados aprobaba la iniciativa del señor presidente de la República, general Abelardo L. Rodríguez, de aplicar un impuesto adicional a los espectáculos públicos en el Distrito Federal hasta el 31 de diciembre del mismo año, la recaudación sería para auxiliar a las víctimas de las inundaciones y ciclones (*Excelsior*, 11 de octubre de 1933, año XVII, t. V, núm. 6031, f. 1). En los Estados Unidos el reverendo John A. Stipanovic, secretario del Consejo Croata Nacional de Norteamérica, presentaba una solicitud al Departamento de Estado y a la Casa Blanca que pedía la independencia para Croacia (*Op. cit.*, 11 de octubre de 1933, año XVII, t. V, núm. 6031, f. 8).

Cosamaloapan 1933

María J. nació el 24 de enero de 1915; debido a que quedó huérfana, vivía con sus tíos, quienes atendían una “gaseosería” y una tienda en la estación del ferrocarril. No está del todo segura si lo que recuerda es la inundación de 1931 o la de 1933, pero sabe que ya era una joven adolescente y narra:

Estábamos en el negocio de la gaseosería en la tarde y llovía un poquito y empezamos a ver las casas arrastradas por el río y [cómo] se arreció el agua... Mi tía me dijo que íbamos a tener que subirnos a la parte alta de la tienda... no nos fuimos a ningún albergue porque en la parte alta del río había dado viruela y estaban en cuarentena, entonces nos dio miedo de contagiarnos... Dios mío, ¿qué vamos a hacer? Nos vamos a ahogar le decía a mi tía, y ella me dijo: “No, vámonos a la bodega que está en la parte alta”, y ahí nos estuvimos hasta que vinieron a ayudar... Y llovía y llovía, el río creció mucho... vinieron unos señores [a ayudarnos] que no me acuerdo quiénes eran... vinieron y se fueron, porque nosotros nos quedamos en la bodega... vino mi tío y [nos] dijo: “Vámonos” Cuando empezó a bajar el río, nos fuimos rameando [remando] por toda la orilla... si aquí que estamos en la parte alta nos llegó la inundación, la gente de San Juan, que estaba en una poza se ahogó... Vinieron brigadas a repartir comestibles... el agua duró como ocho días, bajaban de la sierra casas, venados, ganado ya muerto, mucha gente murió de la sierra.

María J. es una sobreviviente de varias inundaciones, pues estando de visita en casa de su hija, en el fraccionamiento Floresta del Puerto de Ve-

racruz, le tocó ser desplazada y refugiada por la inundación de 2010, con 96 años en su haber.

Inundación de 1944

En 1944 el mundo veía acercarse el fin de la Segunda Guerra Mundial. Llegaba ayuda de los Estados Unidos para los sobrevivientes de las zonas liberadas por los aliados en Europa (*Excélsior*, 31 de octubre de 1944, año XXVIII, núm. 9956, f. 1). En la XEW se oían las voces de los hermanos Martínez Gil, Amparo Montes, Pepe Guízar, Pedro Infante, Agustín Lara y Tin Tan, entre otros (*Excélsior*???, *op. cit.*, f. 2). México concluía ese año su participación en la Segunda Guerra Mundial, con el Escuadrón 201; el fin de la guerra estaba por llegar, un año más tarde se anunciarían las muertes de Hitler y Mussolini. Manuel Ávila Camacho era el presidente de la República (1940-1946) y Adolfo Ruiz Cortines era el gobernador del estado de Veracruz.

Cosamalopan 1944

Don Juan José C. nació en 1937, tenía siete años cuando la inundación de 1944. Cuenta que el presidente municipal de Cosamaloapan, Rafael Arriola Molina, recibió un telegrama en el que le decían que en la sierra de Oaxaca habían caído lluvias torrenciales, y que en la cuenca del Papaloapan se esperaba el golpe de agua. El presidente municipal decidió avisar a gritos calle por calle, casa por casa, que la población tenía que salir a refugiarse en los cerros. La gente se negaba a abandonar sus casas

por temor al robo y el presidente prometió colgar, y así lo hizo, a quienes atraparan robando. El padre de don Juan José tenía un troncón para amarrar a su yegua, el cual rápidamente quedó cubierto por el agua. La gente empezó a salir de sus casas con sus animales y sus pertenencias; a mucha gente le agarró la noche en el monte buscando refugio de la inundación. El albergue se instaló en el Teatro Cine Juárez. Don Juan José y su familia se refugiaron en el cerro de los Sánchez, ahí estuvieron quince días. Este cerro y otros circundantes a Cosamaloapan, supuestamente, fueron construidos por los ancestros prehispánicos como refugio para las inundaciones. Don Juan José refiere:

[...] Aquello me da nostalgia de recordarlo, quince días pasamos ahí [en el cerro], que comíamos tuzas y pedazos de panela, era una isla de tristeza, enfermos por ahí, por allá, algunos se emborrachaban, era una cosa terrible, fueron quince largos días, ninguna autoridad [nos ayudó] como hoy, pasa algo, protección civil, gobierno del estado federal [nos ayudan], aquellos días, sólo Arriola Molina [que era el presidente municipal], y gente que tenía dinero eran los que ayudaban a la población. Vino el señor presidente de la República, el general Ávila Camacho, vino el gobernador de aquel tiempo... Ruiz Cortines... que no ayudó nada. Después de dos semanas, el presidente Ávila Camacho llegó con dos montacargas con alimentos para la población. Al ver que no bajaban las aguas la población decidió salir en procesión con la Virgen de la Concepción, patrona de Cosamaloapan. Fue un domingo, cuando con la fe religiosa sacan a la Virgen de la Concepción. Como bien sabemos, ella llegó sobre las aguas del Papaloapan y [fue] rescatada en el paso de los lirios, el paseo de la virgen...

fue un domingo cuando la sacaron, el lunes las aguas se fueron, como dice el libro de la profesora Aurora Ferat, milagro para los creyentes, casualidad para los incrédulos, fueron largos días, fue el 22 de septiembre de 1944.

La Virgen de la Concepción es un símbolo muy poderoso en el imaginario de los informantes que aseguran “ayudó a bajar la inundación después de pasearla sobre las aguas”. La Virgen de la Concepción de Cosamaloapan, al igual que la Virgen de la Candelaria de Tlacotalpan, es ejemplo del sincretismo entre deidades femeninas indígenas prehispánicas y de origen africano asociadas al agua, así como de advocaciones marianas católicas impuestas y reverenciadas desde época colonial (Aguirre, 1991).

Don Juan José continúa con su narración:

[...] Cuando regresamos a nuestra casita, ésta era la pestilencia más grande que pudiera haber, lodo, agua estancada, paludismo, es cuando [se crea] la Comisión del Papaloapan... llegaron enfermeras para combatir el paludismo, las calles eran puras lagunas.

Doña Rosa O. nació en 1929 y, cuando ocurrió la inundación de 1944, tenía 15 años. Recuerda cómo la corriente arrastraba de todo. Se podía ver techos de dos aguas completos flotando como barcos, árboles con changuitos que sorteaban el agua pasándose de rama en rama para no ahogarse, incluso baúles con un niño que no rescataron y que, asegura, venían de la sierra de Oaxaca. Cuenta que durante su refugio en el Teatro Juárez comían plátano cocido, arroz, frijoles y como habían dejado a las gallinas en el techo de su casa, pudieron

comer caldo de gallina. Aunque eran muy pobres, su madre compartía la comida con los ancianos refugiados que no tenían qué comer. Cuando regresaron a su casa levantaron los ladrillos del suelo, pues debajo había mucha culebra de agua, entre los colchones encontraron pepescas aplastadas e incluso coralillos en las almohadas. Cuenta que los que más ayudaron fueron los habitantes de Alvarado que venían a Cosamaloapan a donar víveres, e incluso a llevarse gente a sus casas, de ahí nació el sobrenombre de “La generosa Alvarado”. A partir de esta inundación, se hizo un muro de contención sobre el cual años más tarde se construyó la carretera, lo que evitó que Cosamaloapan se inundara como en 1944.

■ Paseo de la Virgen.
Inundación de 1944
Foto: Autor desconocido



Tlacotalpan 1944

Cuando tuvo lugar la inundación de 1944, don José María P. era un joven de 18 años. Actualmente tiene 84. Menciona que durante la inundación no salió de Tlacotalpan, el agua alcanzó un nivel igual o mayor que en la inundación de 2010. A continuación narra:

[...] Andábamos en lanchas ahí en el parque, llegaron los barcos de Alvarado, había embarcaciones que se lo llevaban a uno, colocando reatas para que las personas pudieran caminar, en las casas colocábamos unos toneles y unas maderas, como tablones grandes, para colocar nuestras cosas, no podíamos trabajar hasta que bajaba el agua.

Lidia R. tiene actualmente 83 años; cuando ocurrió la inundación de 1944 ella tenía 16 años. Cuenta que durante el evento ella no salió de Tlacotalpan, porque trabajaba en una tienda, y las dueñas le pidieron que se quedara a hacerles compañía:

[...] Me quedé en la azotea, y guisábamos sopa, hoy había comida [durante la inundación de 2010], pero esa vez no había comida, comíamos galletitas de figuritas, chocolate con agua, porque en ese entonces no había Nescafé, un café de olla, plátanos verdes que pasaban vendiendo, pero ésa [inundación] sí bajo rápido, así como entró, salió.

Como se puede observar, a pesar del nivel que alcanzó el agua, algunas personas no abandonaron sus hogares para buscar un refugio o algún albergue en Alvarado o en Veracruz, lo que nos hace

pensar que tenían un gran sentido de pertenencia a su comunidad, de protección de sus bienes y animales, y de solidaridad con amigos o parientes. Otro punto que muchos informantes subrayan es la falta de recursos y alimento que prevaleció entre algunas familias en ese entonces, en comparación con la ayuda dada en la actualidad a los damnificados.

Doña Fernanda C., de 82 años, menciona que durante la inundación de 1944 una comadre le dijo a su mamá que se llevara a sus hijos de su casa porque venía una inundación muy grande, y sus hijos se iban a ahogar: “Nos llevaron al Teatro Netzahualcóyotl, y de ahí al siguiente día, como ésa fue muy rápida, vinieron barcos y nos llevaron a Alvarado, nos fuimos al albergue de la Leona Vicario”. Éste fue uno de los muchos albergues que se improvisaron en escuelas, cines, teatros y museos para dar refugio a la población que lo requería durante las inundaciones.

Cirilo P., de 83 años de edad, menciona: “En la inundación de 1944, el agua comienza a crecer y a la gente ganadera la agarró de sorpresa, porque ese ganado tuvieron que subirlo a lo alto, así estuvimos como quince días, enseguida bajo el agua, en aquellos tiempos había mucho pescado, mucho camarón, tortuga, pájaro, ave, pichichi, etcétera”.

Los habitantes de Tlacotalpan mencionan en repetidas ocasiones que antes, durante las inundaciones, se podía conseguir abundantes alimentos provenientes de la caza, la pesca y la recolección, los cuales actualmente han desaparecido por la contaminación y el crecimiento de la mancha urbana.

María de la Luz C., de 80 años, narra la experiencia vivida en la inundación de 1944: “Re-

uerdo que salimos con unos aguaceros y cuando íbamos ahí, llegando a la secundaria, y [había] una corriente que él [su esposo] ya no podía avanzar en la chalupa, sólo pudimos salir, él iba descalzo empujándome en la chalupa y llegamos al barco, pero el barco se hacía muy feo y a mí me atacaban los nervios”.

Personas como María de la Luz son un ejemplo del dolor y el trauma psicológico que dejan las inundaciones en las personas que las viven.



Inundación de 1944. Tlacotalpan
Fuente: <http://aguapasada.wordpress.com/2010/09/11/cosamaloapan-fotos-historicas-de-inundaciones>

Inundación de 1969

En 1969, durante el mes de julio, el hombre había alcanzado la Luna. El Lic. Rafael Murillo Vidal era el gobernador del estado y propuso un programa de industrialización en la cuenca del Papaloapan. Se reportaba que el ingenio San Cristóbal procesaba 2 400 000 toneladas de caña molida al año (*La Voz de Tlacotalpan*, 11 de mayo de 1969, año II, núm. 35, f. 1).

El otrora presidente municipal de Cosamaloapan, Rafael Arriola Molina, que ayudó tanto al pueblo durante la inundación de 1944, era entonces presidente del Partido Revolucionario Institucional del estado y acompañó al gobernador Murillo Vidal en su visita por la zona de Tuxpan y Poza Rica (*La Tribuna*, Tuxpan, 18 de marzo de 1969, año XXIX, núm. 2809, f. 1). Ese mismo año, se veía con escándalo que la Agencia para el Desarrollo Mundial destinara 35 millones de dólares para la “planificación” familiar de Hispanoamérica (Algo OJO; ¿¿¿ESTO ES EL NOMBRE DEL ARTÍCULO O PARTE DEL NOMBRE DEL PERIÓDICO???, *Voz de Córdoba*, 2 de enero de 1969, año XXVII, núm. 1423, f. 1). Se analizaban las masacres estudiantiles ocurridas en 1968 como “psicosis bélica de los jovenzuelos” (*Op. cit.*, ¿A CUÁL DE LAS OBRAS CITADAS ANTERIORMENTE SE REFIERE? 5 de febrero de 1969, año XXVII, núms. 1427 y 1428, f. 1). Se establecía por ley el servicio social en las profesiones (*Ibid.*, 9 de enero de 1969, año XXVII, núm. 1424, f. 1). Se anunciaba la creación de la Red Interamericana de Telecomunicaciones (RIT) para interconectar a todos los países de América Latina (*La Opinión*, Poza Rica, Ver., 10 de agosto de 1969, año XVI, núm. 5559, f. 1).

Se divulgaba el proyecto de desarrollo cítrico-la en Martínez de la Torre. La creación de una cooperativa en Tancoco para la elaboración de sombreros de palma y una fábrica de ropa que se pondría en marcha en Poza Rica (*La Tribuna*, Tuxpan, Ver., 28 de junio de 1969, año XXX, núm. 2910, f. 1).

Se proyectaba la creación de nuevos museos arqueológicos en el estado de Veracruz. La Universidad Veracruzana celebraba sus bodas de plata (*La Tribuna*, Tuxpan, Ver., 12 de agosto de 1969, año XXX, núm. 2929, f. 1).

Los habitantes de la cuenca del Papaloapan se quejaban del incumplimiento de los convenios de la Comisión del Papaloapan firmados ante los cuatro municipios de la margen derecha del río para la construcción de la carretera, ante la amenaza inminente de la temporada de lluvias. Denunciaban que tenía más de un año que se había firmado el convenio con la Comisión del Papaloapan y Petróleos Mexicanos y hasta entonces habían obtenido como respuesta puras evasivas (*La Voz de Tlacotalpan*, 17 de mayo de 1969, año II, núm. 36, fs. 1 y 2). La capitanía de puerto decidió cerrar el servicio de trasbordo de autos sobre el río Tecolutla que realizaban dos motochalanes (pangas), por el aumento desproporcionado del caudal por los fuertes aguaceros que azotaron el estado de Veracruz. El cierre de este servicio causó congestión en las carreteras y considerables pérdidas económicas (*La Opinión*, 23 de agosto de 1969, año XVI, núm. 5572, f. 2).

También se reportaba que dos tramos de la carretera costera que va a lo largo del Golfo de México hacia Veracruz habían sufrido graves daños. Hubo pérdida de cosechas a consecuencia de

las intensas lluvias que se estaban presentando en la región, lo que finalmente provocó la inundación (*La Opinión*, Poza Rica, Ver., 24 de agosto de 1969, año XVI, núm. 5573, f. 2).

Ante la catástrofe, el gobernador del estado de Veracruz, después de volar varias horas sobre la cuenca del Papaloapan, dictó acuerdos para proporcionar medicamentos, despensas, así como brigadas de médicos y enfermeras para vacunar y dar auxilio a todas las personas que lo necesitaran. El gobernador intercambió impresiones con los vecinos y con las autoridades y ofreció brindar toda la ayuda necesaria (*La Opinión*, Poza Rica, Ver., 26 de agosto de 1969, año XVI, núm. 5575, f. 1).

Cosamaloapan 1969

Octavio C. trabajaba en 1969 en la Comisión Federal de Electricidad y había emigrado de Cosamaloapan a la sierra norte de Puebla, donde estaba encargado de la Presa de la Soledad; contaba entonces con 34 años de edad. Por las noticias se enteró de la inundación en Cosamaloapan. En el campamento hidroeléctrico no había teléfono y por radio lo intercomunicaban con su familia, así se enteró de que su hermana Rosario C., que gestaba su tercer embarazo en etapa avanzada, había tenido sangrado abundante y amenaza de aborto, por lo que el doctor le había recomendado inducirle el parto. Ella se había negado argumentando que el bebé se movía en su interior. Sin ultrasonido disponible en aquel momento y sin energía eléctrica por la inundación, los padres de Rosario C. decidieron llevársela a la casa paterna en el centro de Cosamaloapan para atenderla ahí. Subieron la

cama sobre varios ladrillos para elevarla lo más posible del agua que había entrado a la casa. Narra Octavio C.: “La casa estaba inundada por el agualluvia, aunque habían desfogado la presa Temascal y se inundó Cosamaloapan... bueno, el agualluvia arrastraba piedras y taparon los ductos, y ya no servía como presa y el río pasaba encima de ellas como [en] la [presa] de Atexcaco”. Octavio C. les ofreció a sus padres rentar un helicóptero para sacarlos de Cosamaloapan, pues el pueblo se había quedado totalmente aislado por el daño en carreteras. La madre de Octavio C. le respondió: “Ay hijo si vieras que a mí me gusta ver la inundación, no me afrenta...”, y argumentó que no era necesario que los sacaran de ahí. La inundación de

■
Cosamaloapan,
barrio de Corea.
Inundación de 1969
Foto: Autor desconocido



1969 duró más de 40 días. Rosario C. dio a luz a dos bebés, una completa y sana y otra gemelar que había muerto en su interior. Francisco M., esposo de Rosario C., narró que “[el bebé] parecía un muñequito como si fuera pan de muerto”. Cuando se entrevistó a Rosario C., ella negó a recordar lo sucedido durante la inundación de 1969, sencillamente se negó a hablar del asunto.

Tlacotalpan 1969

Cuando la inundación de 1969, Doña Adelfa H. tenía 37 años. Actualmente tiene 78. Ella pasó desasosiego porque tenía una niña de ocho meses. Las inundaciones previas a 1969, las había vivido sin miedo porque era su padre el que estaba a cargo de la casa y el que se preocupaba por resolver los problemas. Ella nos cuenta:

[...] Recuerdo la inundación de 1969, el agua crecía rápido, yo tenía una niña chiquita de ocho meses, y los barcos eran grandes, los que vinieron, y era una tablita pequeña para cambiarse de un barco al otro... Recuerdo [la inundación] con miedo, porque cuando estaba chica era mi papá el que andaba, el que tenía que pensar, y después al tener a mi niña chiquita, me la pedían y no se las di, porque si me ahogaba, me ahogaba con esa niña... Ahora no se sufrió; nos vienen a sacar, nos ayudan, no es una inundación como en otro lugar, el agua crece rápido.

Doña Adelfa tenía sentimientos de preocupación por la situación en la que se encontraba, pero al mismo tiempo sabía de la necesidad de proteger a su pequeña hija de la inundación.

Cirilo P. menciona que durante la inundación de 1969 “[...] el agua creció mucho, mucho, menos que ahora, porque ahora son menos, llovía mucho, pero fue poco tiempo”.

Muchas personas coinciden en que la inundación de 1969 ha sido la mayor que ha sufrido Tlacotalpan.

A Rosa C., de 64 años de edad, le tocó vivir la inundación de 1969 siendo una joven de 23 años, y comenta: “[...] En la inundación de 1969 iba caminando en el callejón y la corriente me jaló, me aventó, de ahí le agarré pavor al agua, tengo recuerdos muy feos, tengo muy malos recuerdos de 1969”. Las personas que han vivido catástrofes como las inundaciones conservan recuerdos dolorosos, fobias, *shocks* postraumáticos que perduran durante toda su vida.

José Antonio G., de 90 años, rememora: “En la anegación de 1969 el agua llegó hasta el techo, hasta las tejas, los que tenían casa de dos pisos se salvaron, pero después vino la escasez de alimentos”.

Con la narración de don José Antonio podemos observar cómo los habitantes con más recursos económicos y que contaban con casas de dos plantas, pudieron proteger de la inundación sus muebles, sus objetos personales e incluso sus alimentos.

La inundación de 2010 revivió recuerdos de las inundaciones previas. Volvió el sentimiento de pérdida material y de miedo al desalojo a pesar de que en esta última inundación Tlacotalpan recibió ayuda por parte del estado. Don Crisanto A., de 74 años de edad expresa:

[Tengo] malos recuerdos, pérdida total, todo lo que se moja se echa a perder, se pudre, las pilas se llenan de tierra y huelen muy feo, no hay agua ni luz,

ni teléfono, hay que emigrar, salirse definitivamente con lo que uno pueda sacar, y dejar casi todo; cuando uno es chamaco lo toma como diversión, pero uno, ya de grande, piensa en otras cosas que nos perjudican. Este año hemos recibido apoyo del gobierno del estado, nos regaló 10 000 pesos para reponer los colchones; nosotros perdimos la mesa, las planchas, la licuadora, la estufa, la lavadora, la televisión, yo estoy reparando los roperos, las puertas se voltearon... Pero no llegas a reponerte del todo... Estar fuera de tu casa y saber que muchas cosas ya no te van a servir. El agua se llevó el mostrador, la mesa, el tocador, los colchones, además, el clóset se desbarató; sabíamos que ya no servían la video, los ventiladores, la televisión... A partir de entonces yo me he sentido decaído, tengo depresión... Porque dices “ya perdí esto, ¿cuándo lo vuelvo a recuperar?”

■
Inundación de 1969.
Tlacotalpan
Foto: Silvio Linda



La historia a través de la fotografía

A la par de la recopilación de testimonios se hizo el acopio de material fotográfico, no sólo que ilustrara, sino que motivara más los recuerdos de las catástrofes. Sorprende saber que parte del acervo fotográfico de muchas familias de la cuenca del Papaloapan son tomas de las inundaciones ¿Por qué ilustrar la catástrofe y guardarla de recuerdo?, incluso las imágenes de las inundaciones se llegaron a vender como postales de paisaje de la zona o se regalaban en los restaurantes como tarjetas de presentación y recuerdo del establecimiento comercial. Algunos autores han abordado el hecho de cómo las imágenes dolorosas y mórbidas, aunque para algunos despreciables, se transforman en un buen gancho empresarial (Sontag, 2006: 32).

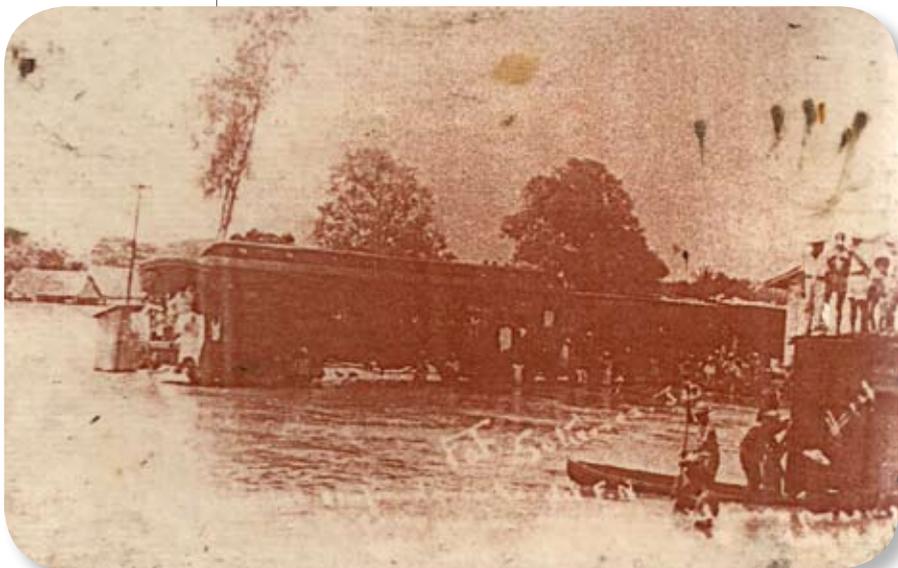
¿Qué utilidad tendría mostrar en este trabajo las escenas de las inundaciones de antaño? La utilidad está en que hoy haya alguien que pueda evitar que se repitan esas imágenes. Muchas de estas fotografías pueden no cumplir con el propósito útil que se menciona y sólo cautivar el lado mórbido de la naturaleza humana, pero, aún así, cumplirían un propósito: el de satisfacer a “los mirones”, como los define Sontag, quien dice que las fotos del sufrimiento no deberían ser bellas, del mismo modo que los pies de foto no deberían moralizar (Sontag, 2006: 77 y 90). No es la intención discutir aquí cuestiones estéticas de las fotografías presentadas, pero hay que reconocer que dentro del dolor y la conmoción que encierran las imágenes por la venida de agua, podemos ver un paisaje bello, referido varias veces por los mismos entrevistados al contemplar la inundación. Ejemplo de una apreciación estética de las inundaciones es el testi-

monio de Doña Pilar O., de 90 años, originaria de Cosamaloapan. Ella pidió que en este documento incluyera “cosas bellas”, que se describiera que el río en 1944, y todo lo que arrastraba a su paso “se veía bonito”. Esto demuestra los sentimientos de amor-odio que despierta el Papaloapan: “Embellece lo que estás escribiendo —dijo—, la naturaleza como da sorpresas, da alegrías”.

El riesgo de usar fotografías en la reconstrucción de la historia oral, es que la gente sólo recuerde con base en la imagen, es decir, que recuerde sólo la fotografía y omita detalles del evento experimentado. Sontag (2006) no cree que exista memoria colectiva, sino una instrucción colectiva y esto es, a la larga, mera ficción. Las fotografías son el mejor ejemplo de ello. Toda memoria es individual, no puede reproducirse como colectiva, y muere con cada persona, de ahí la importancia del rescate de los testimonios aquí presentados (Sontag, 2006: 100).

No vemos con igual apego las imágenes de dolor cuando son cercanas que cuando son ajenas.

■ Estación del ferrocarril.
Cosamaloapan
sin fecha
Foto: Autor desconocido



Hoy día existe una anestesia ante el dolor de los demás y un desastre da igual que otro, pero es un acto ético recordar la catástrofe y el dolor de los demás. Recordar el sufrimiento para evitar que se repita a través de la historia oral, la fotografía o cualquier otro medio, es una acción ética, tiene un valor ético en y por sí mismo (Sontag, 2006: 134).

■ Teatro Juárez.
Cosamaloapan
sin fecha
Foto: Autor desconocido

■ Palacio municipal.
Cosamaloapan
sin fecha
Foto: Autor desconocido



Conclusión

Las inundaciones implican muerte, pobreza y sufrimiento. La historia oral remueve recuerdos dolorosos y se ha cuestionado el hecho de propiciar dolor haciendo recordar al informante con sus testimonios. El principal aporte de este trabajo es preservar la historia oral de las inundaciones para tomar conciencia de la parte humana vulnerada en los siniestros y para que no sólo se recuerden estadísticas meteorológicas o ambientales.

No existe un archivo ni documental, ni de audio que documente los testimonios de las inundaciones. Se sugiere la conformación de un archivo de la palabra que resguarde la voz de los sobrevivientes de estas catástrofes y que, junto con la evidencia documental bibliográfica y hemerográfica ya existente, muestre lo ocurrido para la toma de acciones correctivas y preventivas.

A pesar de la creación de la Comisión del Papaloapan en abril de 1947 para prevenir un desastre similar al ocurrido tras la inundación de 1944, las acciones no han sido suficientes para prevenir la catástrofe de inundaciones posteriores. La construcción de presas como Temascal y Cerro de Oro; el reacomodo de pueblos; el combate y control de enfermedades tropicales; la construcción de obras de infraestructura urbana (electrificación, agua potable, alcantarillado, remodelación de parques y jardines); la apertura de carreteras, puentes, cortes de rectificación del río; la creación de industrias agrícolas, la construcción de escuelas, bibliotecas y centros de salud; la realización de numerosos estudios antropológicos en municipios afectados, y la elaboración cartográfica de sitios vulnerables no han sido suficientes para solucionar el problema

de las inundaciones en la zona de la cuenca del Papaloapan, como se comprobó en 2010.

Hay una falta de planeación de las acciones municipales ante el desastre; las soluciones siguen siendo domésticas y sus componentes más importantes son la ayuda solidaria de los habitantes y de la sociedad civil, y la intervención del Estado a través del área de protección civil. Es difícil sugerir acciones propositivas y resolutivas al problema de las inundaciones habiendo tantos aspectos que atender. Cabe subrayar la falta de una educación sobre acciones frente al desastre entre la población civil. La historia oral de sobrevivientes de las torres gemelas en Nueva York, en septiembre de 2001, y del tsunami del sudeste asiático en 2005, demuestran que la existencia de gente preparada para actuar frente al desastre fue lo que permitió salvar vidas. Países como Cuba y Japón son ejemplos exitosos de educación de la población civil para actuar ante el desastre, con capacidad de respuesta eficaz. No puede ser que Tlacotalpan, Cosamaloapan y muchos otros pueblos de la cuenca del Papaloapan sigan a merced del agua; que la única solución sea refugiarse en los tapancos y las azoteas, y esperar a que alguien los rescate. Debe existir una voluntad política para educar a la población civil, con una cultura de protección y acción ante el desastre.

Este trabajo quiere ser una renovada circulación de las imágenes de dolor que traen las inundaciones, plasmadas en los recuerdos aquí narrados y en las fotografías como materiales de análisis para la antropología del desastre. Queremos asegurar que lo aquí presentado se quedará en la memoria colectiva y servirá de reflexión y motivación para que diferentes disciplinas y organismos gubernamentales hagan todo lo humanamente posible para evitar que las inundaciones y el sufrimiento que conllevan sucedan de nuevo.

La foto que debería ir aquí se puso en el separador de capítulo, p 44.

Los ciclones tropicales en Veracruz y sinopsis del huracán *Karl*

Antonio Luna Díaz Peón
Daniela Rivera Silva



Separador como en Biodiversidad marina. Buscar foto para que lo acompañe

INTRODUCCIÓN

Tanto los pueblos prehispánicos como los primeros navegantes europeos que cruzaron el Atlántico conocieron de la existencia de los ciclones tropicales, pero su estudio científico comenzó después de la Segunda Guerra Mundial, gracias a las mejoras en las técnicas de observación y análisis.

Año con año en la entidad veracruzana es preocupante la amenaza de los ciclones tropicales (CT) (Luna *et al.*, 2006). De manera oficial la temporada de los CT comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre; sin embargo, han ocurrido excepciones, como en 1865, que inició el 30 de mayo; la temporada en 2008 inició el 31 de mayo y la de 2005 terminó hasta el 7 de enero del 2006, desfasándose 38 días, pues se registraron más de 31 formaciones ciclónicas, siete de ellas intensas (categoría tres o superior donde se alcanzan vientos superiores a los 180 km/h). Incluso uno de ellos, *Vince*, tocó tierra en costas españolas con clasificación de depresión tropical, si bien en algún momento alcanzó la categoría de huracán. Antes de este fenómeno no se tenían para España registros de algún CT que de alguna manera hubiera afectado sus costas (<http://www.nhc.noaa.gov>, 2010). Dicho sea de paso, las listas para la cuenca del Atlántico sólo llegan en el abecedario hasta la letra W, por lo que se agregaron en la temporada 2005 los nombres de las primeras seis letras del alfabeto griego, mientras que para la cuenca del Pacífico los nombres previstos sí llegan a comprender la inicial Z (<http://www.wmo.int/>) (mapa 2).

Vale la pena aclarar que algunos CT que se originaron en el Océano Pacífico han logrado cruzar

al Golfo de México por Veracruz, como los ocurridos en 1902 y en 1928.

CT en Veracruz antes de 1851

Se cuenta con información de algunos CT sucedidos antes de 1851:

- 4 de septiembre de 1552. El huracán causó pérdidas y daños en San Juan de Ulúa y La Antigua, Veracruz. Este huracán atravesó la Península de Yucatán. A este primer evento lo llamaremos huracán *Ulúa 1* (Luna, 1987).
- 17 de septiembre de 1600. El huracán causó severos daños a la flota de Escobar; por las crónicas se puede decir que la probable trayectoria fue de recurva en la bahía de Campeche (Bravo *et al*, 2006).
- 14 de agosto de 1661. La tormenta tropical causó severos daños en Ulúa y Veracruz (Bravo *et al*, 2006).
- 15 de septiembre de 1665. La depresión o tormenta tropical causó daños en Veracruz (Bravo *et al*, 2006).
- 4 de septiembre de 1787. El huracán causó severos daños en Veracruz (Bravo *et al*, 2006).
- 8 de septiembre de 1806. La tormenta tropical causó daños en Veracruz. (Bravo *et al.*, 2006).

Las trayectorias de los CT que han impactado en la entidad veracruzana han sido diversas, tanto por su origen como por su recorrido. El análisis de las trayectorias de los CT desde 1851 hasta 2010 muestra que Veracruz ha sufrido diferentes afectaciones por estos fenómenos meteorológicos, pues en total 63 CT han impactado su territorio. A continuación

se describen cronológicamente, con base en información del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos (<http://www.nhc.noaa.gov>, 2010).

El inicio de los registros de los CT

El 5 de julio de 1851 el segundo CT se formó frente a las costas del norte del estado de Veracruz. Se estima que rápidamente se movió al oeste impactando en Pánuco (mapa 2). El 21 de septiembre de 1853 se tiene registrado al CT número cinco, mismo que como tormenta tropical pudo haber presentado un movimiento al suroeste y tocar tierra en la porción central de Veracruz (mapa 2). En 1855 la formación del primer CT fue hasta el 6 de agosto, frente a la costa del extremo norte de Veracruz, donde impactó como huracán de categoría uno (mapa 2). En 1859 nuevamente el primer CT que se formó fue frente a la costa norte de Veracruz, por lo que el primero de julio afectó en esa región (mapa 2).

■
Mapa 2.
Trayectoria de los CT
ocurridos en la década
de 1851 a 1860
Fuente: FALTA



En la década que va de 1861 a 1870 sólo se tiene el registro de un CT que afectó a Veracruz en 1866. Fue el segundo de la temporada. Nació al occidente del Arco de las Antillas Menores el 13 de agosto, su desplazamiento ocurrió con dirección oeste, y se mantuvo prácticamente en todo su recorrido; el 16 de ese mes tocó tierra por primera vez en el extremo sur de Quintana Roo como huracán categoría uno y cruzó la Península de Yucatán, donde se debilitó ligeramente; después continuó su movimiento con una proyección al norte de Veracruz y el día 17 ingresó a la altura de Nautla y se desplazó sobre la Sierra Madre Oriental donde se debilitó (mapa 3).

El 6 de octubre de 1887, el CT número once de la temporada se formó al noroeste del mar Caribe; al siguiente día impactó en la costa central de Quintana Roo y el 9 entró a Veracruz a la altura de Tuxpan (mapa 4). En 1888, el cuarto sistema se formó el 31 de agosto, al norte del Arco de las Antillas Menores; el 6 de septiembre impactó el noreste de la Península de Yucatán y el 8 en el sur de Veracruz, sobre la región de los Tuxtlas. Este

■ **Mapa 3.**
Trayectoria del CT
ocurrido en 1866
Fuente: FALTA



sistema ocasionó la mayor inundación de ese siglo en la cuenca del Papaloapan (mapa 4).

El 5 de octubre de 1892, distante de las costas del Arco de las Antillas Menores, se formó el CT número siete, mismo que en los siguientes días transitó frente a las costas de Venezuela. El día 12 tocó tierra en la costa centro de Belice como huracán en la categoría dos y el 15 el norte de Veracruz, con categoría uno, donde inmediatamente se debilitó (mapa 5). El 27 de octubre de 1898, al norte del Arco de las Antillas Menores, se formó el CT once, mismo que mantuvo su trayectoria al oeste hasta su fin, el 4 de noviembre, cuando se debilitó frente a Coatzacoalcos (mapa 5).

El primer CT del siglo XX que cruzó tierras veracruzanas fue el formado el 3 de octubre de 1902. Una de sus características fue que se formó en aguas del Océano Pacífico, sobre el Golfo de Tehuantepec y, aunque se encontró con una barrera montañosa, logró cruzarla y pasar por el estado de Veracruz, para después internarse en el Golfo de

■ **Mapa 4.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1887
y 1888 con impacto
sobre Veracruz
Fuente: FALTA



■ **Mapa 5.**
Trayectoria
de los CT ocurridos en
1892, 1898 y 1902 con
impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

México y llegar hasta las costas de Estados Unidos, entre Alabama y Florida e impactar en el sureste norteamericano (mapa 5); finalmente, salió por la costa central del este de los Estados Unidos y con movimiento al noreste se movió sobre el Océano Atlántico.

El 6 de julio de 1917 se formó, al sureste del Arco de las Antillas Menores, el primer CT de la temporada. Se movió hacia el oeste y el 11 de ese mes pasó sobre las costas de Honduras, al siguiente día impactó la costa central de Belice y atravesó la Península de Yucatán, para internarse en el Golfo de México por la Sonda de Campeche; el 14, al atardecer, tocó tierra en la costa norte de Veracruz, sobre Pánuco, donde inmediatamente se disipó (mapa 6).

El 12 de octubre de 1923, sobre el Océano Pacífico, al sur del Golfo de Tehuantepec, se formó un CT que hizo su primer impacto sobre costas de Oaxaca, al oeste de Salina Cruz, y continuó su movimiento hacia el norte, encontrándose con una

barrera montañosa que en esos puntos presentaba elevaciones superiores a los 1 300 msnm, permitiéndole un ligero debilitamiento, aunque también se encontró con el río Papaloapan, el cual pudo haberle servido para cruzar, a la altura de Alvarado, hacia el Golfo de México, donde dos días después volvería a intensificarse. El 16 alcanzó la categoría uno y se proyectó sobre las costas de Luisiana (mapa 6). El 18 de junio de 1924, frente a la costa del extremo sur de Quintana Roo, se formó la tormenta tropical uno, la cual inmediatamente se proyectó a tierra firme, transitó por el sur de la Península de Yucatán y el 21 tocó tierra por Tecolutla, (mapa 6).

En 1926 se tiene registro de un CT originado en el Caribe y que los reanálisis (mapa 7 a, b y c) indican que pudo haber tocado por primera vez

■ **Mapa 6.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1917,
1923 y 1924
con impacto
sobre Veracruz
Fuente: FALTA

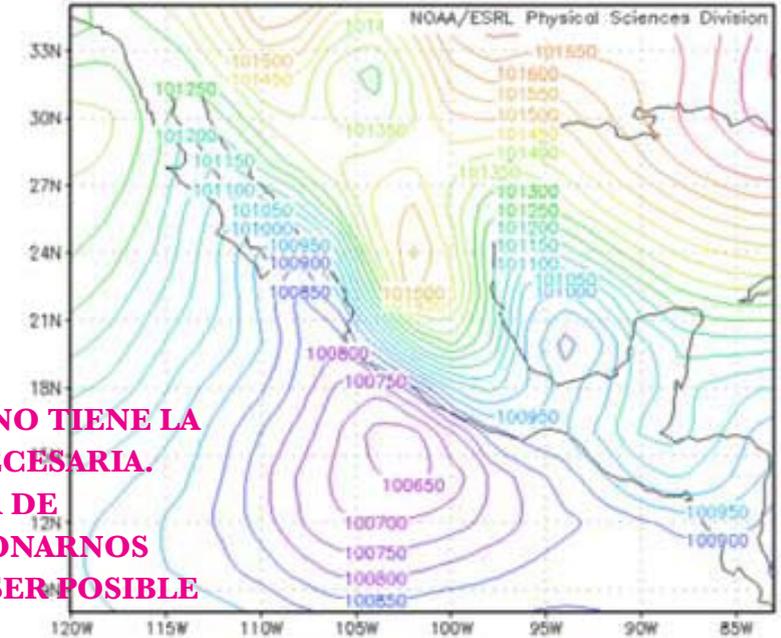


tierra al norte de Belice y sur de Quintana Roo desde las primeras horas del 26 de septiembre (mapa 7 a). Durante el día cruzó la Península de Yucatán en su porción sur para, posteriormente, salir sobre la Sonda de Campeche y al siguiente día reorganizarse (mapa 7 b). Se sabe que el 28 de ese mes impactó al Puerto de Veracruz (mapa 7 c), lo que se constata debido a los registros del Observatorio Meteorológico de Veracruz, donde el viento alcanzó 144 km/h de racha máxima y la presión barométrica mínima fue de 987.2 hPa (hectopascales). Por cierto, hasta el momento ha sido la presión más baja que se haya registrada en ese punto; la humedad relativa del aire alcanzó el 100% y se acumuló en 24 horas una lluvia de 130.5 mm; la temperatura máxima fue de 30.0 °C y mínima de 23.6 °C.

■ **Mapas 7 a, b y c.**
 Reanálisis de la presión atmosférica al nivel del mar
 Fuente:
<http://ncar.ucar.edu>, 2010

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

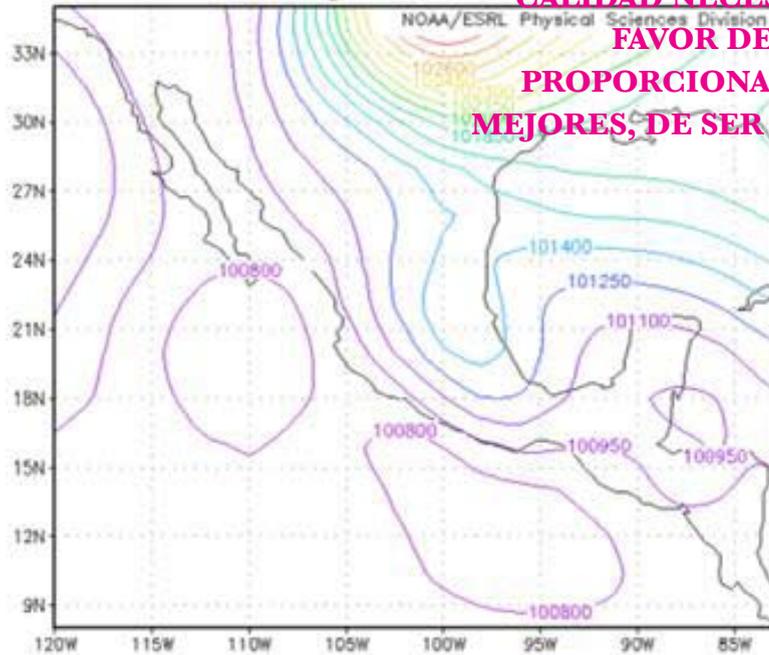
Ensemble Mean prmsl Pa



NOAA-CIRES-20th Century Reanalysis GrADS image

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

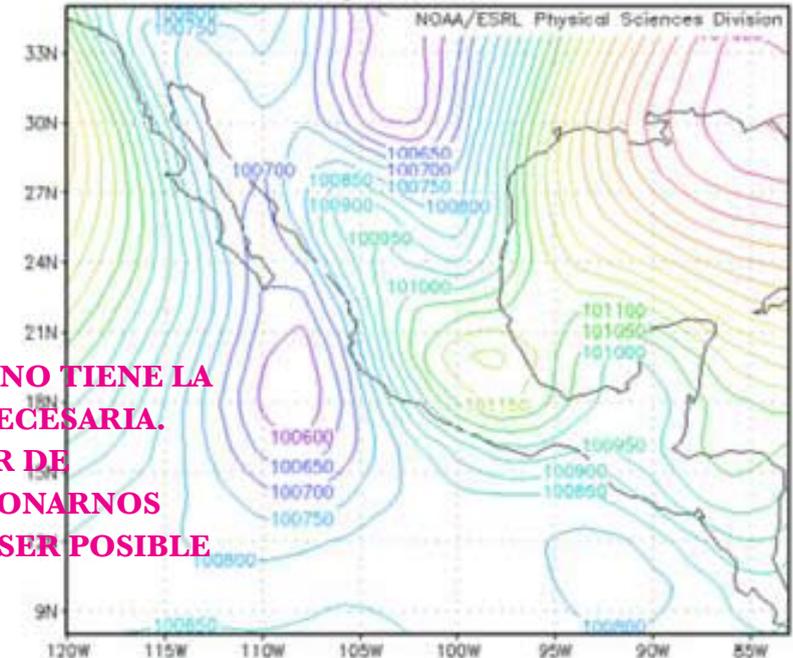
Ensemble Mean prmsl Pa



NOAA-CIRES-20th Century Reanalysis GrADS image

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Ensemble Mean prmsl Pa



NOAA-CIRES-20th Century Reanalysis GrADS image

En 1931 tres CT impactaron a Veracruz. El primero fue el número tres (mapa 8) de la temporada que nació el 10 de agosto al este del Arco de las Antillas Menores; mantuvo movimiento hacia el oeste, el 16 de ese mes tocó tierra en la costa central de Belice y cruzó por el sur de la Península de Yucatán; al siguiente día pasó por la Sonda de Campeche. El 18 impactó costas veracruzanas, a la altura de la comunidad de La Mancha, municipio de Alto Lucero. Al toparse con el Eje Neovolcánico en poco tiempo se disipó. Este sistema siempre se mantuvo como tormenta tropical (mapa 8). El 6 de septiembre se generó un poco al sur de la misma zona otro CT que siguió una trayectoria similar a la del anterior, sólo que impactó al estado de Veracruz a la altura de la Laguna de Tamiahua el día 12 (mapa 8).

Mientras eso, sucedía otro CT, que avanzaba por la costa sur de República Dominicana, el cual que se había originado el 9 del mismo mes frente al Arco de las Antillas Menores. Presentaba movimiento al oeste, cruzó el sur de la Península de Yucatán y se impactó en el estado de Veracruz, entre Alvarado y el Puerto de Veracruz (mapa 8). El Observatorio Meteorológico de Veracruz registro entonces una presión atmosférica de 987.6 hPa, rachas máximas del viento de 154.8 km/h y lluvia acumulada en 24 horas de 24.1 mm (CPGM, 2008). De este año resalta que los tres CT se formaron prácticamente en la misma zona, su trayectoria fue similar y en Veracruz se disiparon al encontrarse con las barreras montañosas, pero lo más destacable es que en un mes y seis días la entidad veracruzana recibió tres impactos ciclónicos y entre los dos últimos hubo sólo una tregua de cuatro días.



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

■ Mapa 8. Trayectoria de CT ocurridos en 1931 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

El 25 de septiembre de 1932 se formó el CT siete al noreste del Arco de las Antillas Menores, se dirigió hacia el oeste y, después de cruzar el sur de la Península de Yucatán, impactó el centro de Veracruz el 3 de octubre (mapa 9).

En 1933 se registró el impacto de cuatro CT en el estado de Veracruz que afectaron sólo la porción norte. El primero en hacerlo fue el número tres, el cual se formó al noreste del Arco de las Antillas Menores el 14 de julio, cruzó el mar Caribe y durante la tarde del día 18 impactó la costa norte de Quintana Roo; dos días después se internaría

■ Mapa 9. Trayectoria del CT ocurrido en 1932 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

en el norte de Veracruz a la altura de Tecolutla como tormenta tropical (mapa 10). El segundo fue el número diez, que se formó en la Sonda de Campeche el 26 de agosto; con lento movimiento hacia nornoroeste estuvo circulando en los siguientes tres días como tormenta tropical y el día 29 impactó el norte de Veracruz sobre Pánuco (mapa 10); el día 10 de septiembre, sobre el Golfo de Honduras, se formó el tercer CT, el número catorce de la temporada, cruzó la Península de Yucatán y el 15 del mismo mes impactó también el norte de Veracruz, sólo que éste se intensificó hasta convertirse en huracán (mapa 10). El cuarto y último CT que en ese año impactó el estado se formó el 16 de septiembre al sureste del Arco de las Antillas Menores, con movimiento hacia el oeste-noroeste que se mantuvo durante nueve días y que cruzó el norte de la Península de Yucatán. Al finalizar el día 24 de ese mes impactó también en la zona del extremo norte de Veracruz como huracán. En suma, en tan sólo tres meses Pánuco recibió el impacto de tres CT, dos de ellos como huracanes, por lo que el río Pánuco se desbordó (mapa 10).

■ **Mapa 10.**
Trayectoria de CT
ocurridos en 1933 con
impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA



El 26 de agosto de 1934, sobre el noreste del Golfo de México, se formó el quinto CT de la temporada, se movió hacia costas de Texas alcanzando la clasificación de huracán y posteriormente se dirigió al sur. Cuando ya se encontraba frente a las costas de Tamaulipas recurvió hacia el suroeste, lo que ocasionó que el 1º. de septiembre impactara el extremo norte de Veracruz, sobre Pánuco, ya como tormenta tropical (mapa 11). En 1935, un CT que se formó el 30 de agosto sobre el sureste del Golfo de México comenzó a moverse hacia el suroeste como tormenta tropical, penetrando la Península de Yucatán en su porción norte, resurgiendo en el Golfo sobre la Sonda de Campeche, y tocando las costas de los Tuxtlas ya debilitado como depresión tropical, el 1º. de septiembre (mapa 11).

■ **Mapa 11.**
Trayectoria de CT
ocurridos en 1934
y 1935 con impacto
sobre Veracruz
Fuente: FALTA

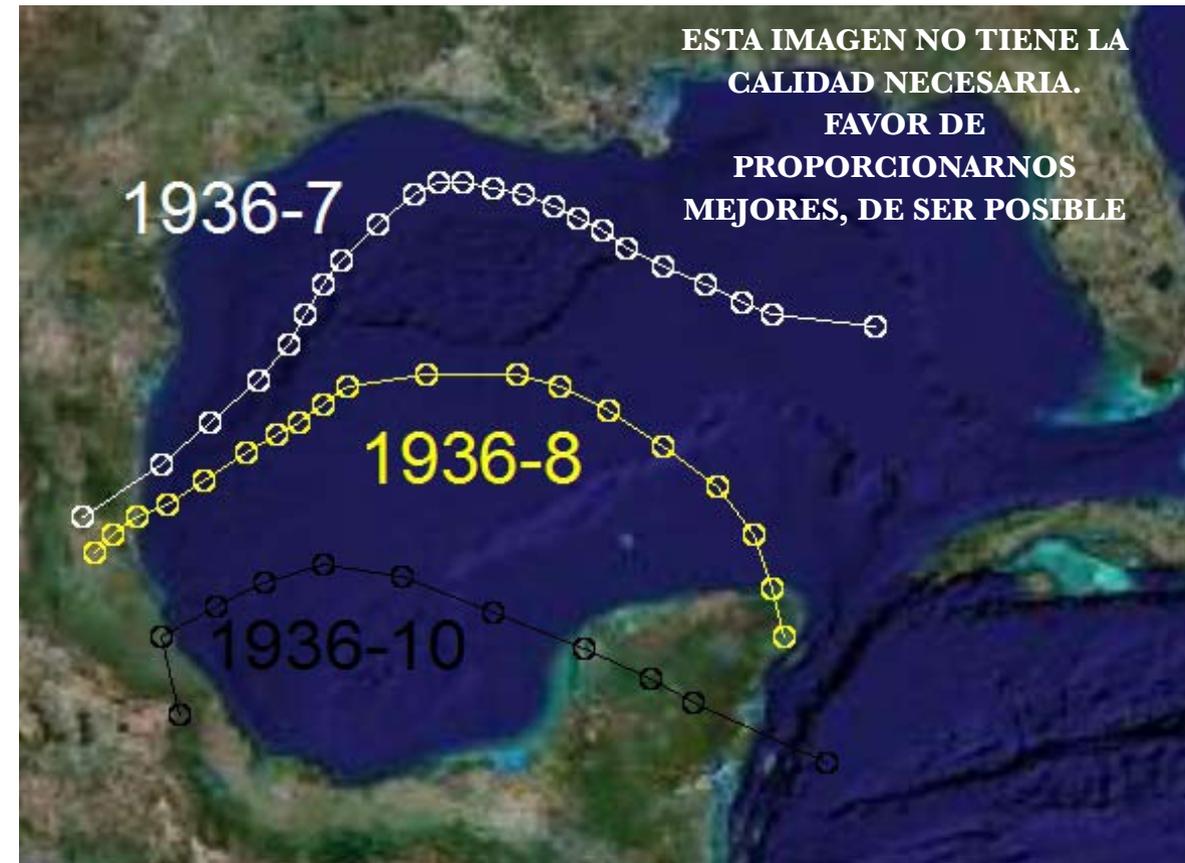
■ **Mapa 12. Arriba, página siguiente**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1936 con
impacto sobre Veracruz
 Fuente: FALTA

En 1936, tres de los CT de la temporada impactaron sobre el norte de Veracruz; el número siete se formó el 7 de agosto al este del Golfo de México y, aunque circuló hacia el oeste-noroeste, el día 10 se movió hacia el suroeste con dirección al extremo norte de Veracruz, donde entró dos días más tarde como tormenta tropical, pero se debilitó inmediatamente (mapa 12). El 15 de agosto se formó el CT número ocho de la temporada, el cual desde costas del norte de Quintana Roo comenzó un movimiento parabólico sobre el Golfo de México, donde se intensificó alcanzando la clasificación de huracán, mismo que en su trayecto se encontró con la desembocadura del río Pánuco el día 19 (mapa 12). La catástrofe para el norte de Veracruz llegaría con el CT número diez que nació al oeste del mar Caribe el día 28; al siguiente día, por la noche, se situó en el norte de la Sonda de Campeche, alcanzando la clasificación de huracán, para el día 30 impactar a la altura de Tecolutla (mapa 12); las fuentes de información periodísticas informaron que por las inundaciones perecieron familias completas, sin precisar el número (García, 1994).

Durante 1941 la temporada ciclónica fue poco activa, pues tan sólo se presentaron seis formaciones ciclónicas; de éstas una impactó en Veracruz. El 23 de septiembre, al sureste del Arco de las Antillas Menores, se formó el cuarto CT de la temporada, que el 30 de septiembre entró, ya debilitado como depresión tropical, por la zona centro-norte de la entidad veracruzana (mapa 13).

El 16 de agosto de 1944 se formó el cuarto CT al sureste del Arco de las Antillas Menores. Durante seis días mantuvo su movimiento hacia el oeste-noroeste intensificándose gradualmente. Como huracán cruzó la Península de Yucatán en

■ **Mapa 13. Abajo, página siguiente**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1941
y 1944 con impacto
sobre Veracruz
 Fuente: FALTA



su porción norte, el día 23 se internó en el Golfo de México debilitándose a tormenta tropical y en esa clasificación, por la noche del día 24 de agosto, ingresó al norte del estado de Veracruz. Un mes después, el 20 de septiembre, al noroeste del mar Caribe, se formó el CT número ocho que también cruzaría el norte de Yucatán con categoría de huracán; al siguiente día se internó en la la Sonda de Campeche e impactó las costas de los Tuxtlas, cruzó por la cuenca del Papaloapan, donde ocasionó inundaciones, propició que comunidades completas como Chacaltianguis fueran reubicadas y que más de cien personas murieran (García, 1994) (mapa 12).

El 25 de agosto de 1946 se formó al norte de la Sonda de Campeche el tercer CT, que alcanzó inmediatamente la clasificación de tormenta tropical. Sin debilitarse, al siguiente día impactó el norte de Veracruz (mapa 14).

■ **Mapa 14.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1946,
1947 y 1949
con impacto
sobre Veracruz
Fuente: FALTA



El 10 de agosto de 1947, al sur del mar Caribe, se formó el segundo CT; cinco días después impactó el norte de Veracruz como huracán de categoría dos (mapa 14). El 20 de septiembre de 1949, al norte del Golfo de México, se formó el CT ocho, mismo que durante tres días presentó trayectoria errática. Ya bien organizado se dirigió al sur, adquiriendo fuerza y alcanzando la categoría de huracán dos frente a la Laguna de Tamiahua, donde se debilitó ligeramente, continuó su movimiento e impactó como huracán lo que hoy es Boca del Río (mapa 14). El Observatorio Meteorológico de Veracruz registró 15.7 mm de lluvia (CPGM, 2008).

En 1950 comenzó una nueva etapa en la historia de los CT, pues fue en ese año cuando se les asignaron nombres para su identificación. La letra inicial de los nombres sigue un orden alfabético. El primer CT que recibió nombre fue *Able* el 12 de agosto. Hoy en día se cuentan con seis listas para la cuenca del Atlántico. En caso de que algún sistema ocasione daños de suma importancia a la población se eliminan de la lista, sustituyéndolo por otro nombre con la misma letra inicial. En el 2005 fueron retirados cinco nombres, *Dennis*, *Katrina*, *Rita*, *Stan* y *Wilma*, mientras que en el 2007 y 2008 fueron retirados tres por año.

Ítem fue el nombre concedido al sistema que se formó el 8 de octubre de 1950 frente a la costa norte de Campeche. Éste se movió en un principio hacia el oeste, al siguiente día adquirió gran fuerza y se intensificó convirtiéndose en huracán dos y así impactó entre Alvarado y Boca del Río (mapa 15). Según los registros del Observatorio Meteorológico de Veracruz, el viento máximo registrado fue de 144 km/h, la precipitación ocurrida en 24 horas

fue de 96.0 mm y la presión mínima registrada de 999.9 hPa (CPGM **¿QUÉ SIGNIFICA?**, 2008).

Charlie nació el 13 de agosto de 1951, en mar abierto de la cuenca del Atlántico, con un movimiento de traslación que mantuvo hacia el oeste. El día 22 tocó la costa norte de Veracruz (mapa 15). El 20 de septiembre se formó la tormenta tropical *George* en la Sonda de Campeche, al día siguiente por la tarde con la misma intensidad ingreso por el norte de Veracruz, cruzó la Laguna de Tamiahua e inmediatamente se debilitó (mapa 15).

El 11 de septiembre de 1954 sobre el Golfo de México en su porción suroeste se formó la tormenta tropical *Florence*, por la noche alcanzó la categoría de huracán y en las primeras horas del día 12 impactó en Nautla, llegando hasta Martínez de la Torre y Tlapacoyan (mapa 16). *Gladis* se formó en la misma zona que *Florence*, pero el 4 de septiembre de 1955, con un movimiento parabólico tocó tierra sobre la laguna de Tamiahua desbordando al río Pánuco e inundando la huasteca (mapa 16). *Hilda* se formó el 10 de septiembre de 1955, sobre

el Arco de las Antillas Menores, cruzó por el norte de Puerto Rico, Haití y República Dominicana, atravesó el este de Cuba y se internó en el mar Caribe. El día 16 como huracán de categoría tres traspasó el norte de la Península de Yucatán sin perder intensidad. Cuando se internó en el Golfo de México se debilitó y el día 19 por la tarde impactó el centro-norte de Veracruz a la altura de Emilio Carranza. Por su dimensión causó daños en todo el estado, pero principalmente en el municipio de Tuxpan, donde ocasionó inundaciones y el desbordamiento del río (mapa 16).

Ana, *Dora* y *Beulah* son tres CT que se formaron en el suroeste del Golfo de México. El primero lo hizo el 25 de julio de 1956 y dos días después impactó el extremo norte de Veracruz con categoría uno. *Dora* se formó el 10 de septiembre y dos días después impactó el norte de Veracruz sobre Tecolutla. *Beulah*, que nació el 15 de julio de 1959, se movió con una forma parabólica y tres días después tocó tierra en el norte de Veracruz (mapa 17).

■ **Mapa 15.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1950
y 1951 con impacto
sobre Veracruz
Fuente: FALTA

■ **Mapa 16.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en 1956,
1959 y 1960 con impac-
to sobre Veracruz
Fuente: FALTA





ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Ana
Dora
Beulah
Abby



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Hallie
Bess
Hermine

■ Mapa 17. Trayectoria de los CT ocurridos en 1956, 1959 y 1960 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

En 1960 *Abby*, CT que se formó al sureste del Arco de las Antillas Menores, cruzó el mar Caribe, el 10 de julio, donde alcanzó la categoría de huracán; hizo su aparición al sur de Veracruz el día 16 donde se debilitó a depresión tropical (mapa 17).

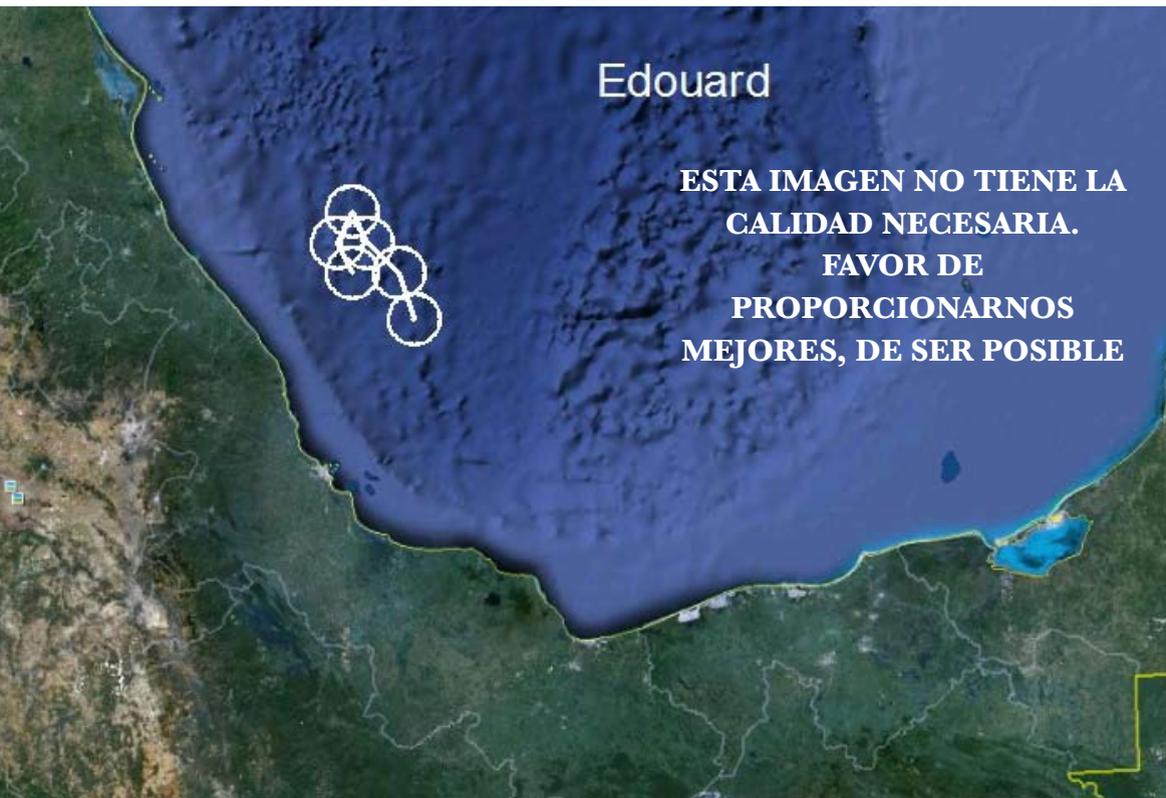
En 1966, durante las primeras horas del 20 de septiembre, se formó la tormenta tropical *Hallie* en el oeste del Golfo de México. Por la noche, después de haberse movido hacia el suroeste, se internó al norte de Veracruz donde se debilitó (mapa 18).

Pasaron 12 años sin que en la entidad veracruzana se registrara algún CT. El 5 de agosto de 1978, en el centro del Golfo de México, nació *Bess*. Con

lento movimiento hacia el suroeste días después se internó en la porción norte de Veracruz donde se debilitó inmediatamente (mapa 18).

Hermine se formó el 20 de septiembre de 1980 al sur del mar Caribe. En los siguientes tres días se movió hacia el oeste-noroeste como tormenta tropical. Después de cruzar el sur de la Península de Yucatán se internó en la Sonda de Campeche donde recurvió hacia el suroeste, lo que ocasionó que entrara por los Tuxtlas (mapa 18) provocando que parte de Coatzacoalcos, Tlacotalpan, Tlacojalpan, Carlos A. Carrillo, Cotaxtla y Otatitlán se inundaran, obligando a sus habitantes a refugiarse en zonas altas (*Diario de Xalapa (DX)*, 1980).

■ Mapa 18. Trayectoria de los CT ocurridos en 1966, 1978 y 1980 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

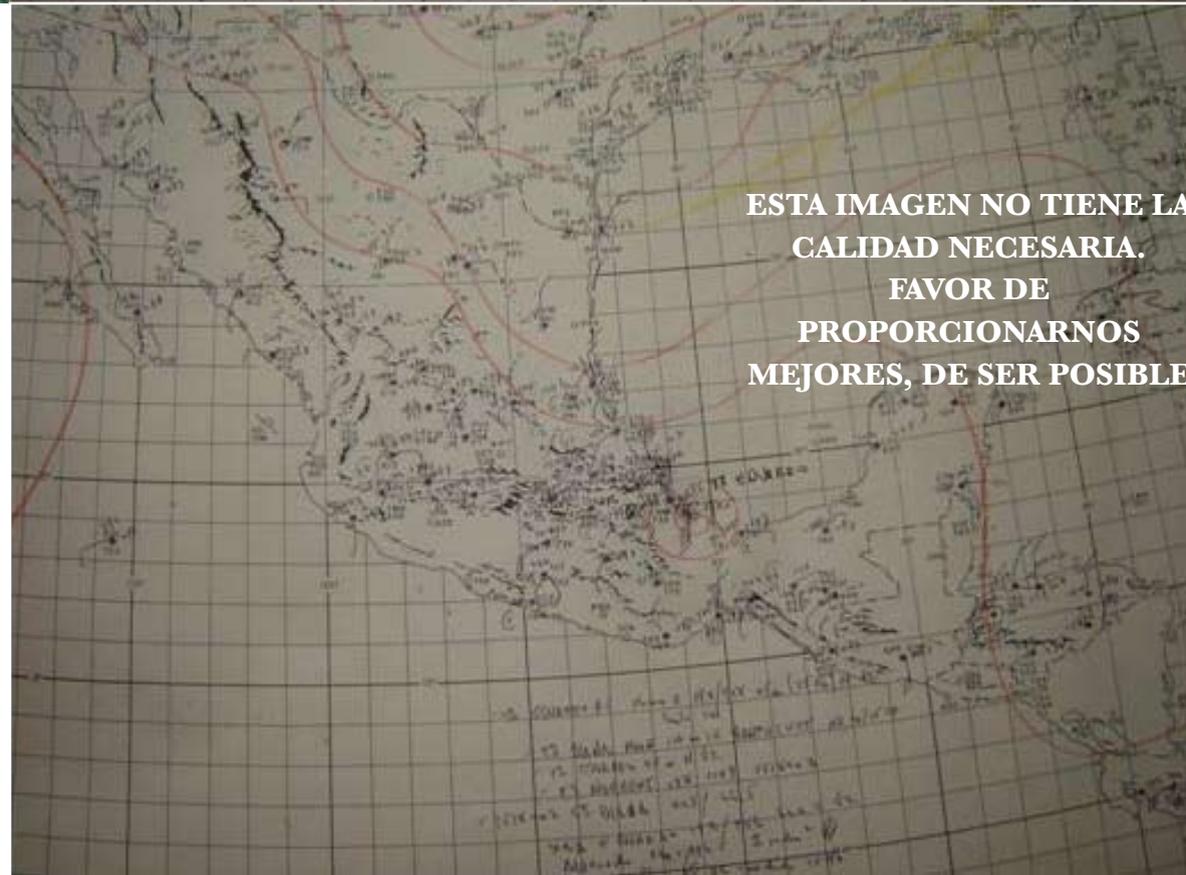


■ **Mapa 19.**
Trayectoria del CT *Edouard* en 1984, según fuentes de información
Fuente: FALTA

El 14 de septiembre de 1984, frente a las costas del centro-norte de Veracruz, a 120 km al este de Punta Delgada, se formó la tormenta tropical *Edouard*. Su movimiento inicial fue hacia el norte, al final del día recurvió hacia el este y después se dirigió al sur. A la 1:00 a.m. del día siguiente se debilitó a depresión tropical y seis horas después se disipó en el suroeste del Golfo de México según lo consultado en la información del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos (<http://www.nhc.noaa.gov>, 2010) (mapa 19).

■ **Mapas 20 a y b.**
Página siguiente
Análisis de superficie
donde se muestra
la trayectoria del
CT *Edouard* en 1984
Fuente: CPGM, 2008

Sin embargo, los registros del Centro de Previsión del Golfo de México (CPGM, 2008), en sus mapas de análisis de superficie muestran la trayectoria final (mapa 20 a) y el impacto de *Edouard* entre Alvarado y Boca del Río (mapa 20 b).



Edouard ocasionó que se desbordaran los ríos Pánuco, Bobos, Tecolutla, Pantepec y Cazones. La población más afectada fue San Rafael, donde en las partes bajas el agua alcanzó 1.5 metros de altura. La zona ganadera y agrícola en la región de Martínez de la Torre sufrió fuertes inundaciones con pérdida de sembradíos de plataneros, maíz y cítricos. Además, se registraron más de 30 000 damnificados en la región norte del estado (DX, 1984).

Los siguientes tres CT que tocaron tierra en costas veracruzanas tienen algunas coincidencias que deberán analizarse profundamente. La primera, estando en aguas del suroeste del Golfo de México coincidieron durante 36 horas antes de su impacto con la misma trayectoria; segunda, impactaron entre la Laguna de Tamiahua y Tuxpan; tercera, atravesaron las dos barreras montañosas del país y cruzaron al Océano Pacífico por el centro de la vertiente occidental; cuarta, dos de ellos fueron el cuarto CT de la temporada (*Debby* y *Diana*); quinta, dos de ellos nacieron en el suroeste del mar Caribe, *Diana* y *Gert*; finalmente, los tres impactaron con categoría de huracán y provocaron inundaciones y un número considerable de damnificados por pérdida de casas y en la agricultura (DX, 1988, 1990 y 1993).

Los CT con nombre (1950)

Debby nació el 31 de agosto de 1988 frente a la costa norte de Campeche y el impacto en costas veracruzanas lo hizo el 2 de septiembre por la noche; *Diana* se formó el 4 de agosto de 1990 y tres días después por la noche ingreso a Veracruz, y final-



mente *Gert* se originó el 14 de septiembre de 1993 penetrando costas veracruzanas el 20 por la noche (mapa 21).

Roxanne afectó Veracruz en 1995. Se originó en el suroeste del mar Caribe el 7 de octubre, dos días después comenzó a cruzar el norte de la Península de Yucatán. En su entrada al Golfo de México su movimiento fue errático. Se mantuvo en el suroeste del Golfo durante siete días, hasta que tocó tierra en la costa central veracruzana. Debido a que su permanencia frente a Veracruz fue prolongada ocasionó lluvia intensa y oleaje importante; más de 15 municipios resultaron gravemente afectados por el viento y cuando entró a Veracruz se encontró con un suelo saturado por lo que la lluvia generó inundaciones afectando a la agricultura y a la ganadería (DX, 1995) (mapa 22).

■ Mapa 21. Trayectoria de los CT ocurridos en 1988, 1990 y 1993 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Roxanne
Dolly
Larry



■ **Mapa 22.** Trayectoria de los CT ocurridos en 1995, 1996 y 2003 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

Al año siguiente *Dolly* impactó la zona norte de Veracruz. Este sistema se formó al oeste del mar Caribe el 19 de agosto. Con movimiento hacia el oeste cruzó el centro de la Península de Yucatán, atravesó el Golfo de México y el 23 de agosto por la mañana ingresó a Veracruz a la altura de Pánuco (figura 22). Provocó inundaciones y afectaciones en la ganadería y la agricultura, además de un considerable número de damnificados (DX, 1996).

En 1999, un CT formado el 4 de octubre, que se clasificó como depresión tropical, causó una de las más grandes inundaciones en Tuxpan, que alcanzaron en algunos puntos hasta 4 m de altura. Hubo pérdidas humanas y materiales (DX, 1999). Este sistema interactuó con un frente frío por lo que en combinación provocaron la catástrofe (mapa 23).

El 27 de septiembre de 2003, al oeste del mar Caribe, nació *Larry*, el 5 de octubre tocó tierra

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

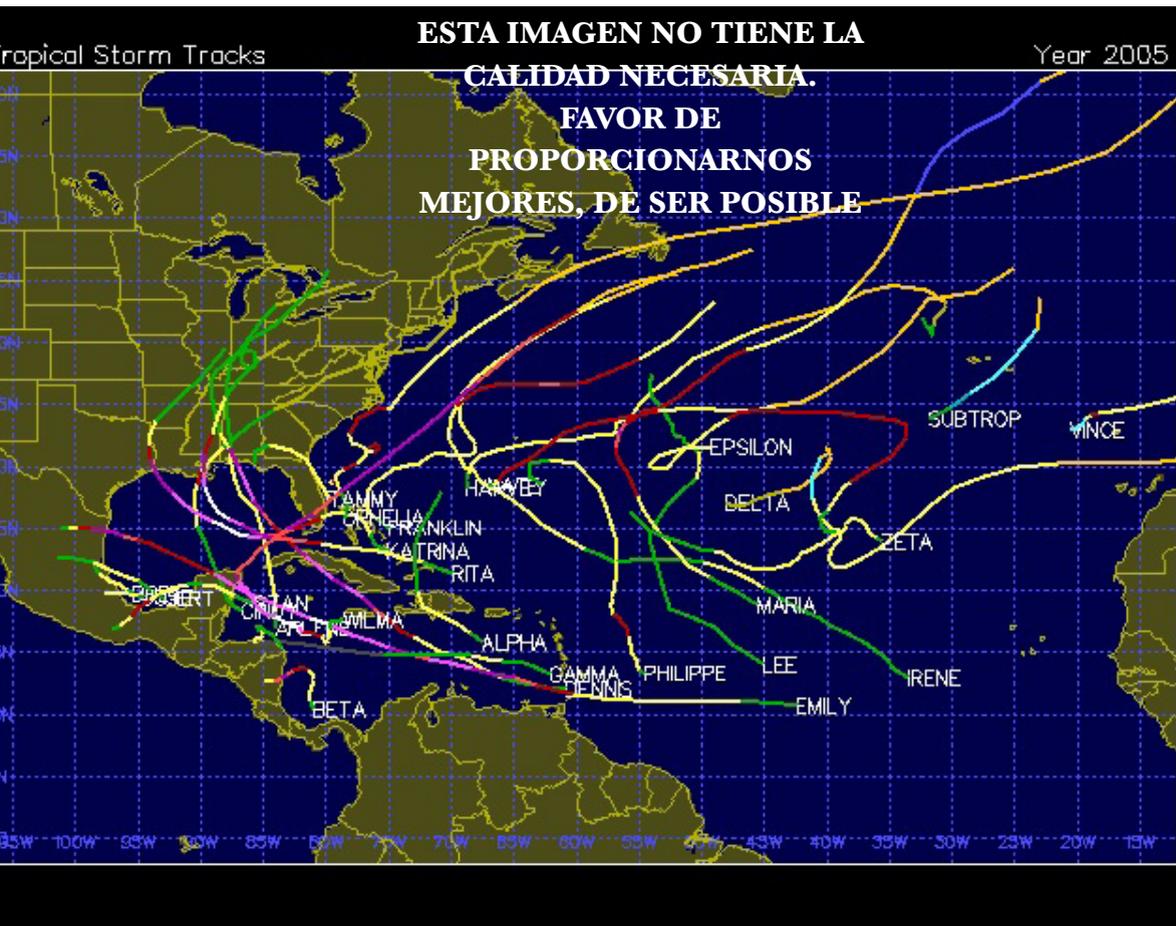


■ **Mapa 23.** Imagen de un frente frío asociado a la depresión tropical número 11, el 5 de octubre de 1999
Fuente: Luna, 2004

como tormenta tropical al sur de Veracruz y cruzó por la región ístmica hacia el Golfo de Tehuantepec ya debilitado. En su paso causó inundaciones, principalmente sobre la cuenca del Papaloapan (DX, 2003) (mapa 23).

El año 2005 tiene el registro de más CT formados en la cuenca del Atlántico, y en el estado de Veracruz se repitió la cantidad de sistemas que lo impactaron en 1933 con cuatro eventos. A diferencia de ese año, en 2005 tres de ellos se formaron en el suroeste del Golfo de México y uno al oeste del mar Caribe (mapa 24).

El primer CT de 2005 fue *Bret*, que se formó el 28 de junio por la mañana. Durante el día se intensificó a tormenta tropical y por la noche ingresó al norte de Veracruz (mapa 25). El segundo CT de 2005, *Gert*, nació el 23 de julio sobre la Sonda de Campeche. Por la noche se intensificó a tormenta tropical y al siguiente día, por la tarde, impactó en



■ **Mapa 24.**
Temporada de CT 2005
en la cuenca
del Atlántico
Fuente:
<http://weather.unisys.com>

la Laguna de Tamiahua (mapa 25). El 22 de agosto se originó el tercer CT sobre el suroeste del Golfo de México, por la noche se intensificó a tormenta tropical y fue entonces cuando recibió el nombre de *Jose* [sic]. Al siguiente día por la mañana tocó tierra en la costa central veracruzana (mapa 25).

El 1°. de octubre se gestó el CT número 18 de la temporada 2005, al oeste del mar Caribe, como depresión tropical; antes de tocar tierra en la costa centro de Quintana Roo por la noche, se intensificó a tormenta tropical recibiendo el nombre de *Stan*, cruzó el norte de la Península de Yucatán y en las primeras horas del día 2 arribó al Golfo de

México ya debilitado. Cruzó la Sonda de Campeche donde por las temperaturas de la superficie del mar retomó fuerza y se volvió a intensificar a tormenta tropical; en la madrugada del día 4 se intensificó a huracán de categoría uno, en ese momento las primeras bandas nubosas comenzaron a impactar el sur de Veracruz y, posteriormente, al comenzar la mañana impactó en la región de los Tuxtlas. Durante el día se internó sobre la cuenca del Papaloapan (Luna *et al*, 2006) (mapa 25).

Stan dejó cuatro heridos y 80 000 damnificados, además, 12 000 personas de la cuenca del Papaloapan fueron desalojadas, 15 000 quedaron incommunicadas en poblaciones aisladas y casi 45 000 hectáreas de cultivo quedaron dañadas. Los ríos Coatzacoalcos y Chiquito se salieron de su cauce;

■ **Mapa 25.**
Trayectoria de los CT
ocurridos en el 2005
con impacto sobre
Veracruz
Fuente: FALTA



ambos rodeaban por lo menos 14 comunidades y rancherías, por lo que 3 000 personas, cuyas viviendas se encontraban asentadas en zonas bajas, resultaron afectadas (DX, 2005). Este sistema presentó una trayectoria similar a la ocurrida con el CT número 8 de 1944.

El día 13 de agosto de 2007 se formó *Dean* en el Océano Atlántico, distante de costas. A lo largo de su trayectoria —básicamente hacia el oeste— fue intensificándose gradualmente y el día 21 de ese mes, cuando se encontraba frente a las costas del sur de Quintana Roo, era ya un huracán muy intenso y peligroso, pues había alcanzado la categoría cinco (los vientos sobrepasan los 250 km/h). Así penetró a la Península de Yucatán donde se debilitó, cruzó el suroeste del Golfo de México ya como huracán de categoría uno y el día 22 se impactó en las costas del norte de Veracruz a la altura de Tecolutla (mapa 26). Los registros de precipitación fueron 213.3 mm en Naolinco, Ver., 193.0 mm en Las Vigas, Ver., 180.2 mm en Acatlán, Ver., 115.3 mm en La Joya, Ver. (Unidad de Hidrometeorología, 2008). Por la gran cantidad de lluvia que dejó a su paso, la mayor parte del estado de Veracruz se vio afectado por inundaciones (DX, 2007).

Por si fuera poco para la zona norte de la entidad, el 25 de septiembre al oeste del Golfo de México nació *Lorenzo*, un CT que se mantuvo errático en su movimiento durante 36 horas, y el 27 al mediodía tomó la misma trayectoria de *Dean*. El día 28, en las primeras horas, ya como huracán de categoría uno azotó a Tecolutla (mapa 26). *Dean* ocasionó pérdidas en la agricultura, la ganadería y otros sectores; además en Nautla fueron evacuadas 1 200 familias, sólo que los albergues también habían sido dañados (DX, 2007).



En el 2008, *Marco* se formó al suroeste del Golfo de México desde una baja presión que alcanzó la clasificación de tormenta tropical el 7 de octubre en las primeras horas; por la tarde impactó en la costa central veracruzana (mapa 26) y, aunque las autoridades estatales suspendieron actividades ese día por los eventuales efectos de viento, este sistema entró con poca fuerza, no obstante, dejó lluvias de entre 100 y 150 mm en la región.

Finalmente, en 2010, con una temporada activa que comenzó el 25 de junio y terminó el 7 de noviembre, fue el CT número trece el que afectó a Veracruz.

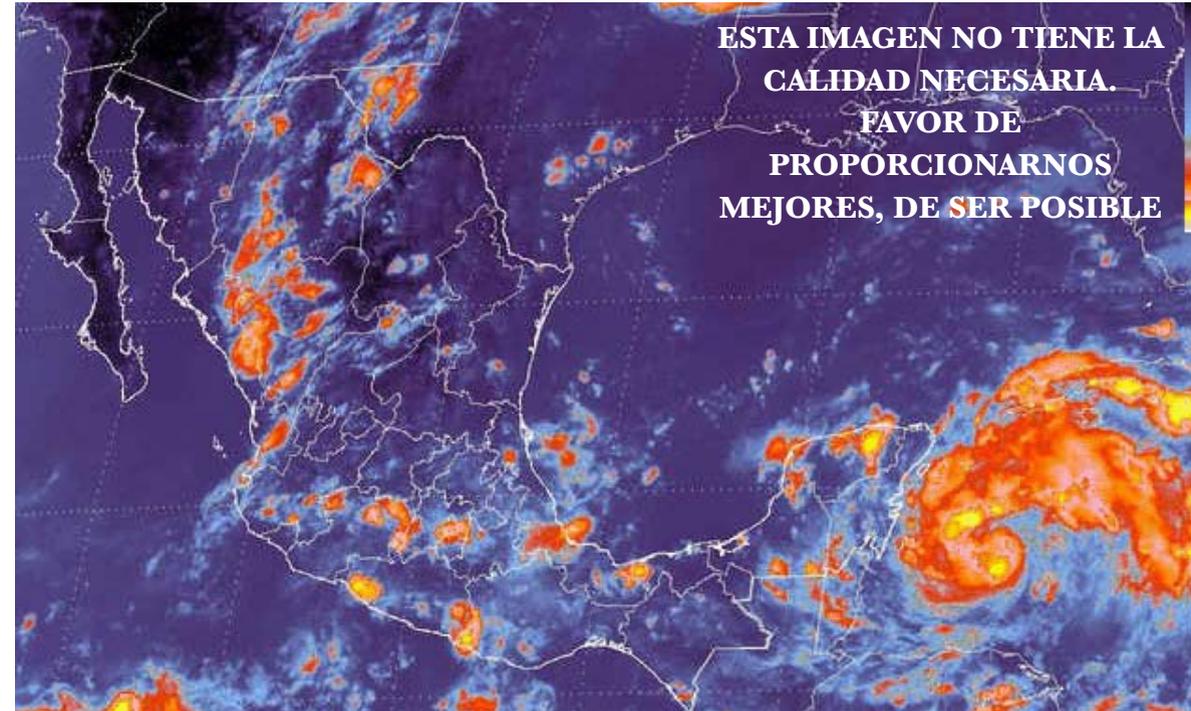
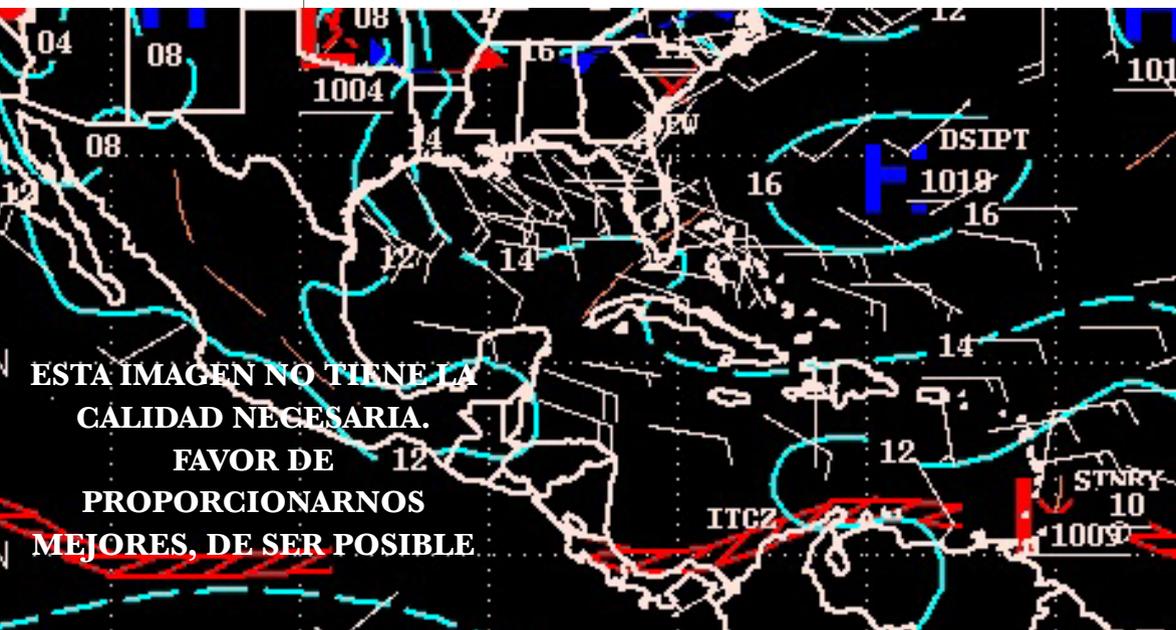
■ Mapa 26. Trayectoria de los CT ocurridos en el 2007 y 2008 con impacto sobre Veracruz
Fuente: FALTA

Karl desde su formación

Fue hasta el día 25 de junio de 2010 cuando se generó el primer CT de la temporada, al que se le denominó *Alex*, el cual ocasionó desastres por lluvias torrenciales y vientos huracanados en el noreste del país y propició daños significativos en Monterrey. Después de *Alex* se formaron doce CT más; el número trece fue *Karl*, que nació el día 14 de septiembre por la tarde. Sin embargo, para hablar de *Karl* debemos remontarnos hasta el 9 de septiembre, cuando en el Arco de las Antillas Menores se empezó a formar un sistema de baja presión (mapa 27).

La baja presión desde su inicio mantuvo lento movimiento hacia el oeste y, aunque desde el 14 de septiembre por la mañana las imágenes de satélite lo mostraban bien organizado (mapa 28), fue hasta la tarde cuando se le denominó como CT en la clasificación de tormenta tropical con el nombre

■ Mapa 27.
Mapa sinóptico del mar Caribe y del Golfo de México
Fuente:
<http://www.nhc.noaa.gov>



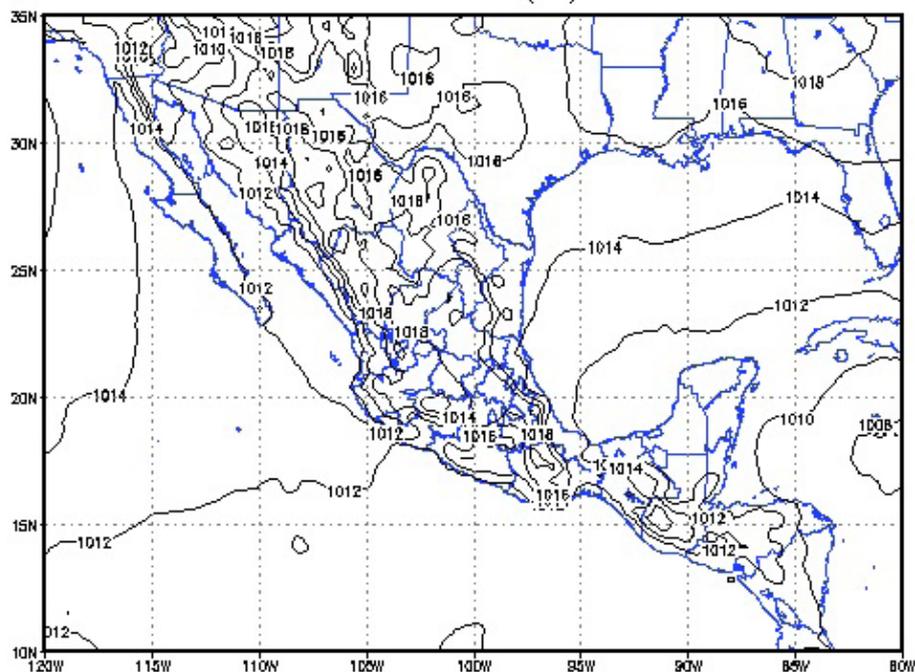
de *Karl* (en dicha clasificación, en la escala de intensidad de Saffir-Simpson los vientos presentan velocidades entre los 65 y 118 km/h). El primer aviso oficial que se emitió fue a las 16 h de México, cuando se ubicaba aproximadamente a unos 435 km al este de Chetumal, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y movimiento hacia oestenoeste a razón de 24 km/h.

Algunos modelos como el MM5 (modelo de mesoescala quinta generación versión 3.7) corrido por la Secretaría de Marina, pronosticaban que llegaría desde el 14 de septiembre y que cruzaría la Península de Yucatán, en su porción norte, entre la mañana del día 15 hasta las primeras horas del día 16 (mapas 29 a y b). Que después se internaría al suroeste del Golfo de México en la Sonda de Campeche para posteriormente impactar el norte de Veracruz, ya como un huracán intenso (mapa 29 c).

■ Mapa 28.
Ciclón tropical *Karl*, imagen de satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 13, del 14 de septiembre de 2010
Fuente:
<http://smn.cna.gob.mx>

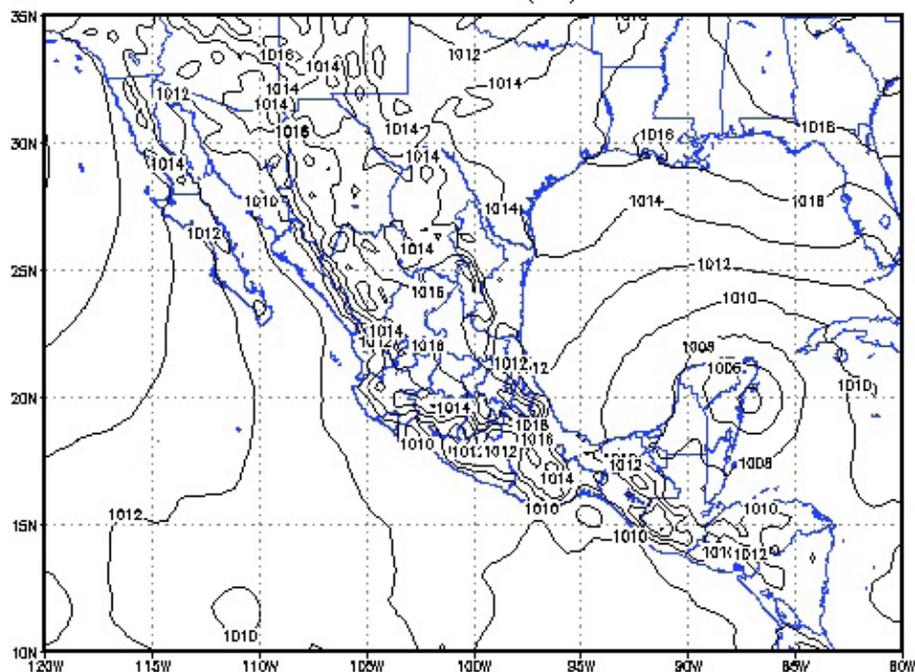
**ESTAS IMAGENES NO TIENEN LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE**

Presion Red. a Nivel del Mar (mb). Validez: 2010:9:14:6Z



SEMAR — Dirección de Meteorología Marítima — MM5v3.7

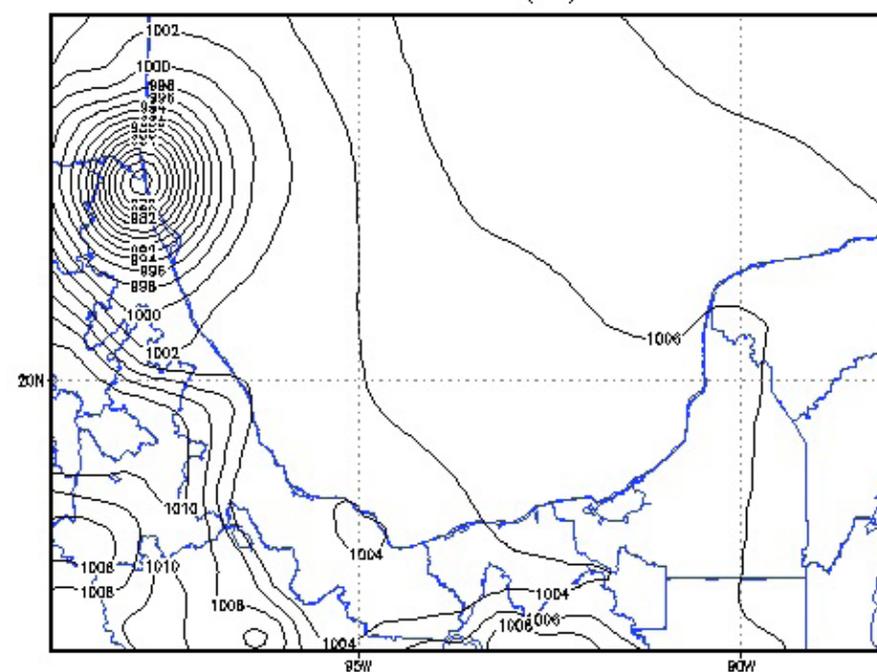
Presion Red. a Nivel del Mar (mb). Validez: 2010:9:15:18Z



SEMAR — Dirección de Meteorología Marítima — MM5v3.7

**ESTAS IMAGENES NO TIENEN LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE**

Presion Red. a Nivel del Mar (mb). Validez: 2010:9:19:0Z



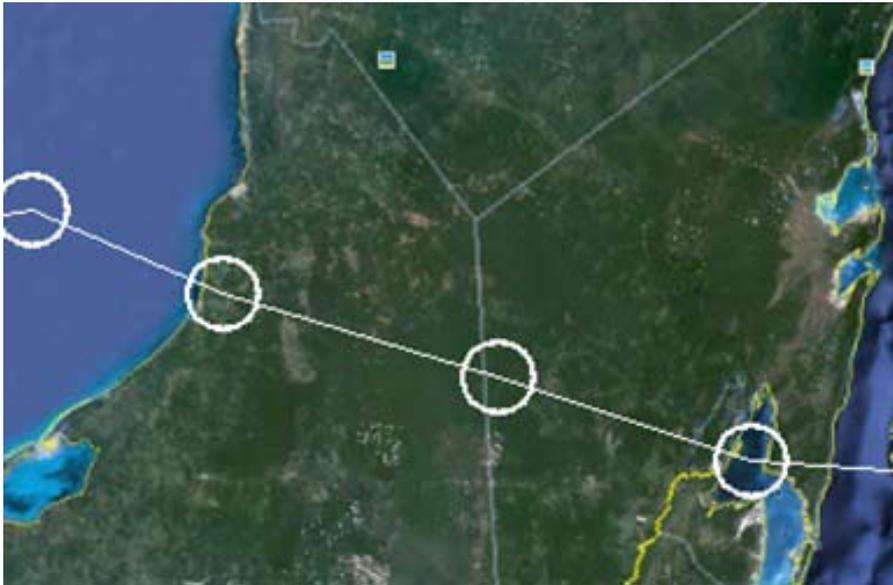
SEMAR — Dirección de Meteorología Marítima — MM5v3.7

El primer impacto sobre tierra mexicana fue el día 15, a las 8:10 horas, en la costa sur de Quintana Roo. Durante ese día se mantuvo en movimiento hacia el oeste-noroeste y en las últimas horas del día cruzó por el sur de Champotón (mapa 30). Cabe destacar que durante su trayecto sobre tierra siempre fue clasificado como tormenta tropical y, de acuerdo a los pronósticos del NHC (National Hurricane Center por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos, ya era errático.

Karl sobre el Golfo de México

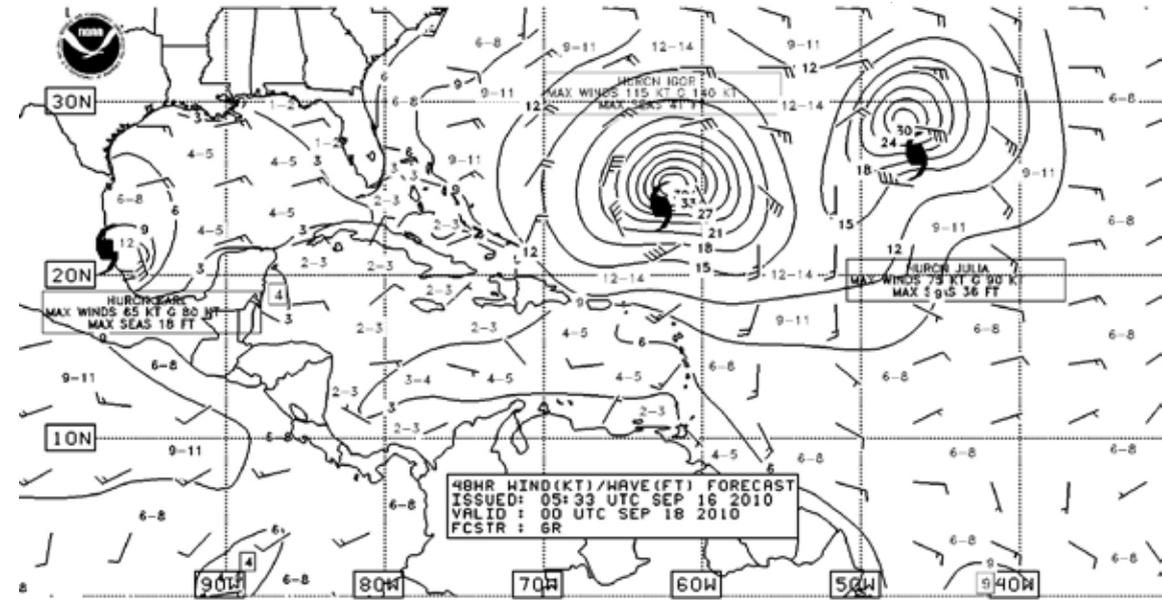
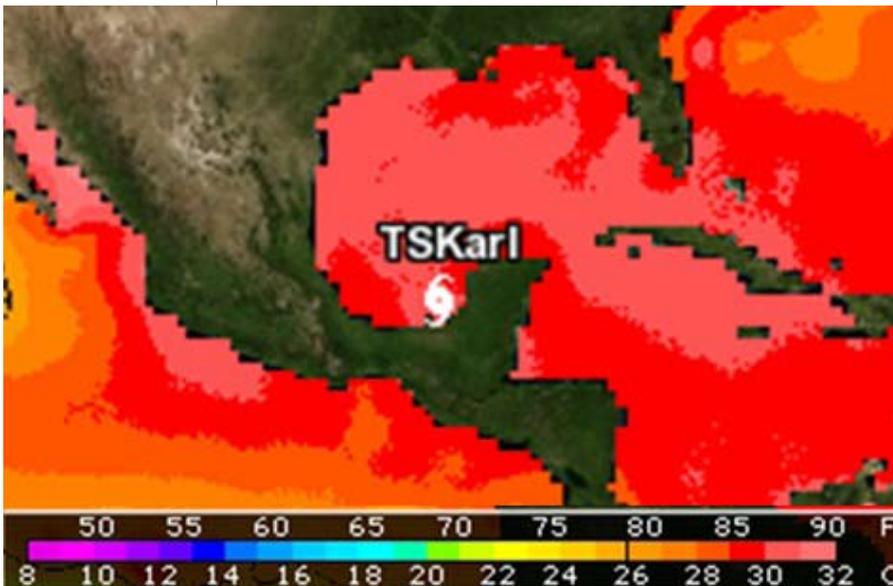
Durante las primeras horas del día 16 Karl emergió de la Sonda de Campeche, donde se encontró con temperaturas de la superficie del mar que su-

■ **Mapas 29 a, b y c.**
Traectoria pronosticada por el MM5 de Karl
 Fuente:
<http://meteorologia.semar.gob.mx>



peraban los 30 °C (mapa 31), mismas que lo ayudaron a intensificarse.

Al mismo tiempo, los modelos de pronóstico del NHC predecían que el CT impactaría en la porción norte del estado de Veracruz entre la tarde y la noche del día 17 (mapa 32).

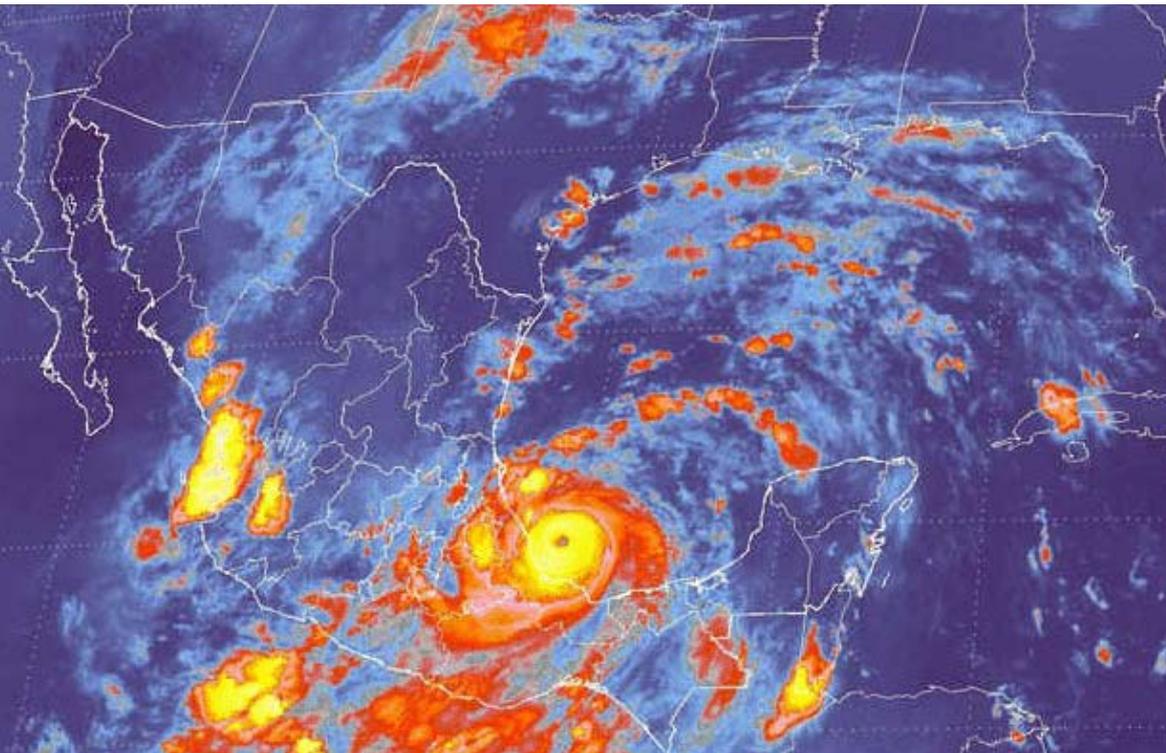


No obstante, debido a la temperatura del mar, el día 16 *Karl* se intensificó rápidamente, por lo que a las 13 horas alcanzó la clasificación de huracán de categoría uno (en esta categoría de la escala Saffir-Simpson los vientos presentan velocidades entre los 119 y 149 km/h) y seis horas después fue clasificado como huracán categoría dos (en esta categoría de la escala Saffir-Simpson los vientos presentan velocidades entre los 150 y 179 km/h); mientras esto sucedía, presentaba lento movimiento hacia el oeste, permitiéndole que se fortaleciera aún más. En las primeras horas del día 17, *Karl* se intensificó, y a las 7:00 h se encontraba a 80 km al noreste del Puerto de Veracruz (mapa 33) con vientos máximos sostenidos de 195 km/h, convirtiéndose en un huracán categoría tres (en esta categoría de la escala Saffir-Simpson los vientos presentan velocidades entre los 180 y 209 km/h).

■ Mapa 30. Arriba, página anterior. Trayectoria del CT *Karl* a su paso por la península de Yucatán
Fuente: FALTA

■ Mapa 31. Abajo, página anterior. Temperatura de la superficie del mar
Fuente: <http://www.wunderground.com>, 2010

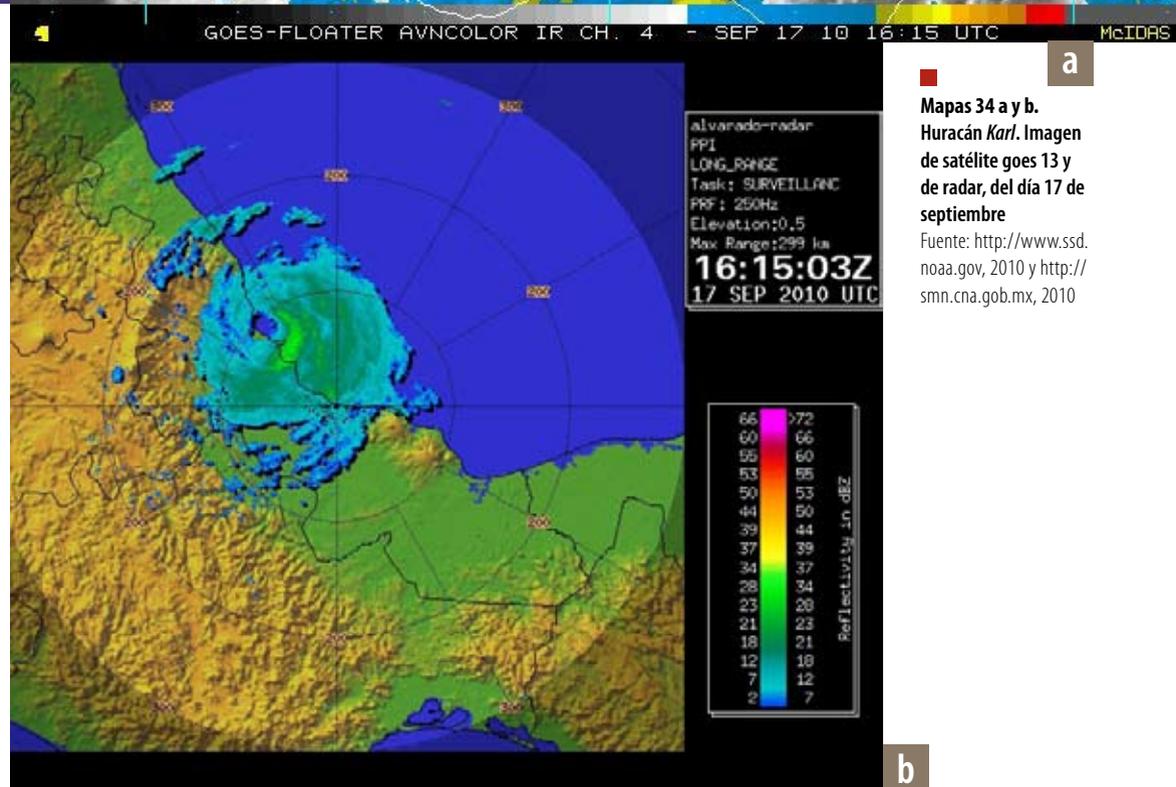
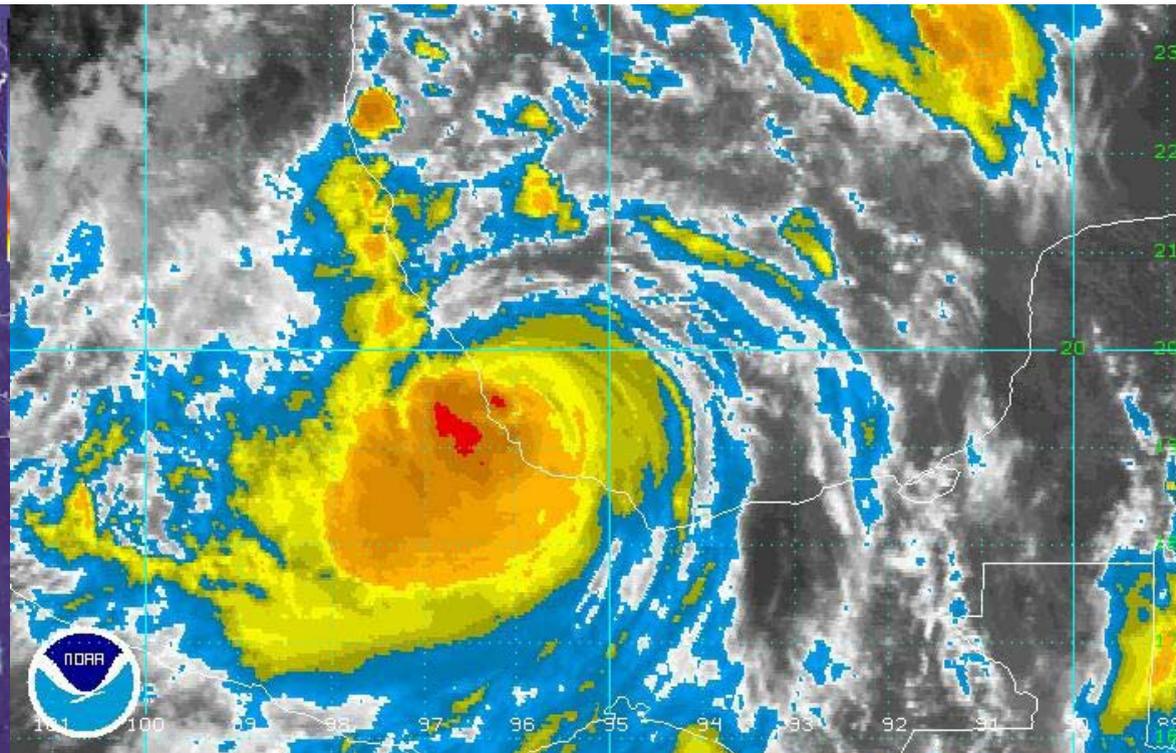
■ Mapa 32. Arriba. Mapa de pronóstico para el día 17, a las 17:00 horas
Fuente: <http://www.nhc.noaa.gov>, 2010



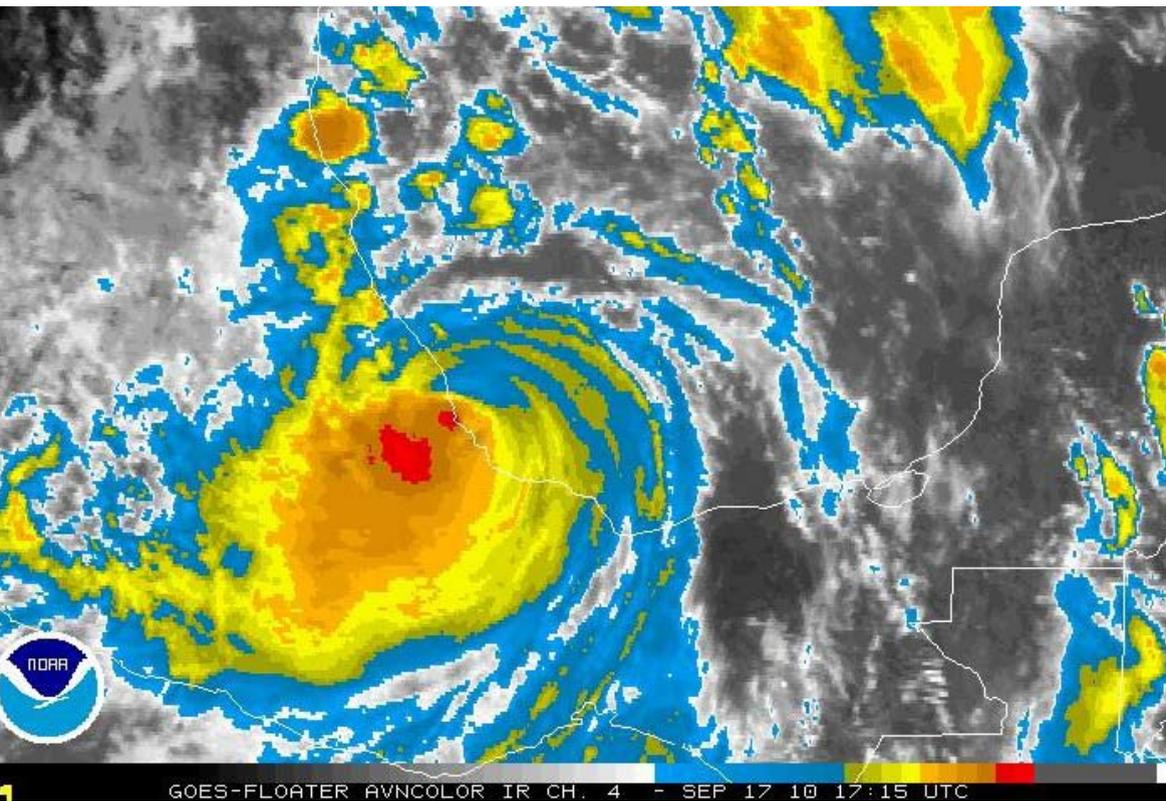
■ **Mapa 33.**
Huracán categoría tres *Karl*, imagen de satélite goes 13, del día 17 de septiembre de 2010
Fuente: <http://smn.cna.gob.mx>, 2010

En la imagen de satélite (mapa 33) se observaba un sistema bien organizado, con el ojo del huracán definido, con las primeras bandas nubosas impactando la zona central de Veracruz, así como también comenzaba a reflejar una ligera recurva hacia el suroeste, misma que mantuvo en las siguientes horas del día 17. Así, entre las 11:00 y 11:40, el ojo del huracán impactó entre los municipios de La Antigua (Playa de Chachalacas) y el Puerto de Veracruz (Playa Norte), quedando a su paso la desembocadura del río La Antigua (mapas 34 a y b). Karl se convirtió así en el primer CT intenso del que se tiene un registro continuo, que ha impactado Veracruz desde 1851.

La imagen satelital (mapa 34 a) y de radar (mapa 34 b) mostraban al ojo del huracán definido con aproximadamente 30 km de diámetro, se estima



■ **Mapas 34 a y b.**
Huracán *Karl*. Imagen de satélite goes 13 y de radar, del día 17 de septiembre
Fuente: <http://www.ssd.noaa.gov>, 2010 y <http://smn.cna.gob.mx>, 2010



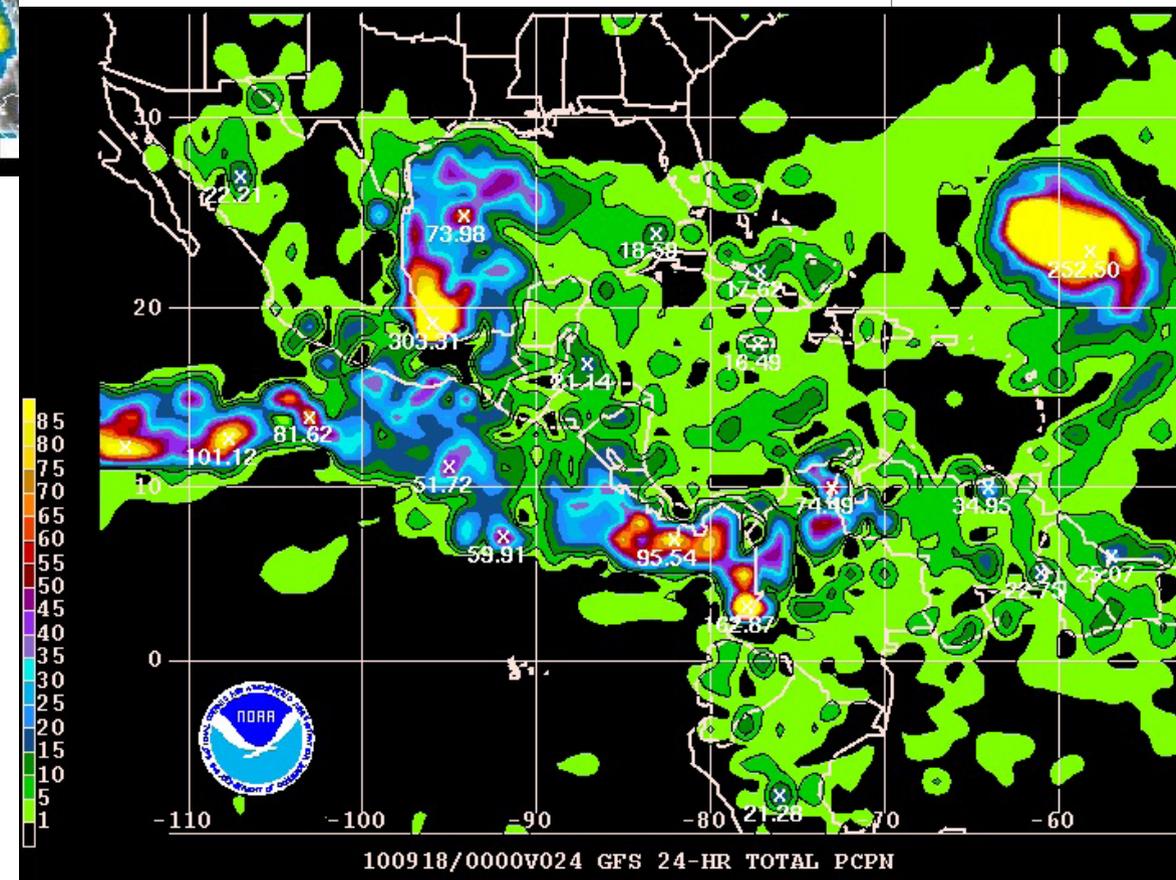
■ **Mapa 35.**
Huracán *Karl*, imagen de satélite goes 13, del día 17 de septiembre de 2010 a las 12:15 horas
Fuente: <http://www.ssd.noaa.gov>, 2010

que la racha de los vientos pudo alcanzar los 250 km/h. Las fotografías de satélite mostraban a las 12:15 h al sistema cubriendo prácticamente toda la entidad veracruzana y estados vecinos, pero la concentración más importante de agua se visualizaba entre las cuencas hidrológicas de La Antigua y Papaloapan (mapa 35).

Los modelos de pronóstico Global Forecast System (GFS, por sus siglas en inglés) de precipitación acumulada en 24 horas a corto plazo se estaban cumpliendo, pues la cantidad pronosticada de lluvia para la zona centro del estado al paso del huracán era superior a los 200 milímetros y en algunos puntos dentro de esa zona superiores a los 300 mm (mapa 36).

A las 13:00 h se alertaba a la región de Córdoba-Orizaba-Zongolica, del paso por ahí del sistema y de que, desde esa hora, comenzarían a registrarse precipitaciones, que se intensificarían gradualmente. A las 17:15 h las imágenes de satélite mostraban que la nubosidad se había cargado hacia la montaña, dejando en la costa central cielos parcialmente despejados (mapa 37), situación que provocó que la población de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río y municipios vecinos se confiara, pues como ya no se habían registrado vientos importantes y la precipitación se había detenido, los pobladores se dieron a la tarea de recuperar sus pertenencias, ignorando lo que estaba sucediendo en la monta-

■ **Mapa 36.**
Modelo de pronóstico gfs de precipitación acumulada en 24 horas, del día 17 de septiembre de 2010
Fuente: <http://www.hpc.ncep.noaa.gov>, 2010

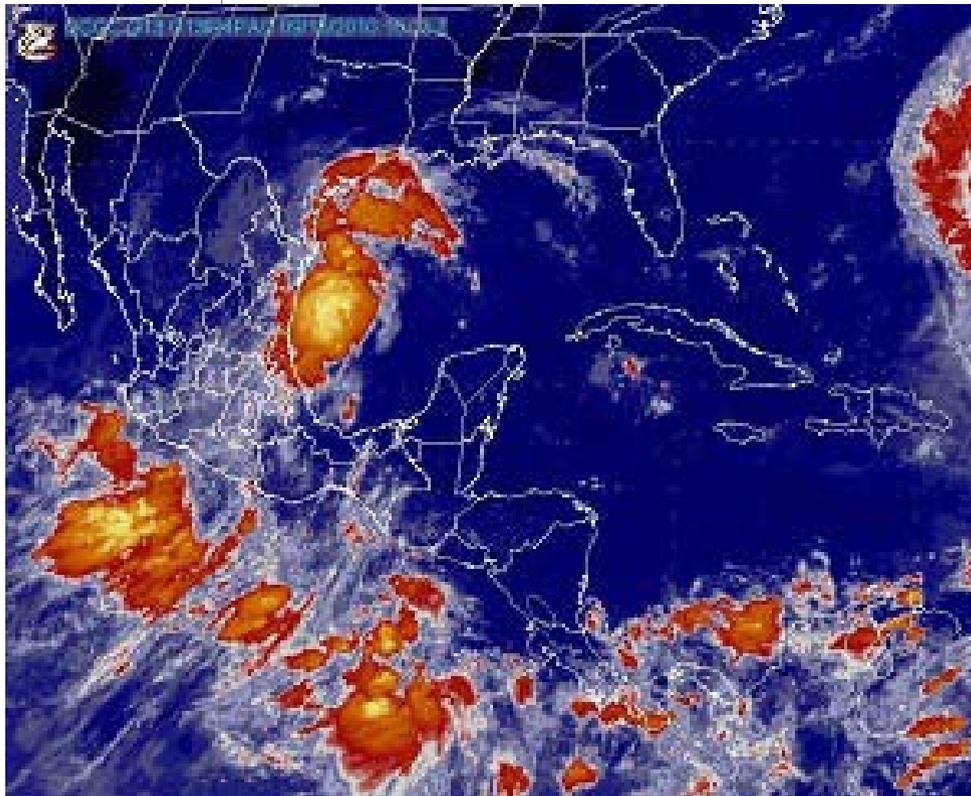


ña: el sistema, al cruzar la montaña, perdió fuerza en los vientos y dejó caer gran cantidad del agua que llevaba consigo sobre la sierra. Los registros de precipitación fueron 355.0 mm en Misantla, 245.3 mm en Martínez de la Torre, 218.5 mm en Veracruz, 200.4 mm en Carrizal, 193.8 mm en Tomata (Tlapacoyan), 191.0 en Huatusco, 188.0 mm en Manlio F. Altamirano, 182.5 mm en Teocelo, 178.5 mm en Ídolos (Actopan), 175.5 mm El Tejar (Medellín) (Unidad de Hidrometeorología, 2008).

Durante la noche y las primeras horas del día 18 *Karl* se debilitó como sistema (mapa 37).

En los análisis sinópticos, para el día 18 sólo se mencionaba a *Karl* como remanentes de un sistema de baja presión, por lo que como sistema se le daba fin a su vigilancia.

Mapa 37.
Imagen de satélite
GOES 13, del día 18
de septiembre, a las
11:00 h
Fuente: <http://smn.cna.gob.mx>, 2010



Conclusiones y recomendaciones

Si se considera que el uso de la tecnología en la actualidad permite tener más vigilada la atmósfera —con satélites meteorológicos, radiosondeos, radares, etcétera—, y puesto que en el presente trabajo se dan algunos análisis de recorridos similares, se debe pensar en la realización de un estudio más profundo de trayectorias. Sin embargo, ampliar esta investigación no es fácil pues la información del pasado no está disponible. Otro aspecto que se debe considerar es que antes del uso de los satélites la información se documentaba en el mar por barcos y en tierra por los centros de observación, esto implica que probablemente algunos CT no fueron registrados, considérese, por ejemplo, el sucedido en 1926, del que sí se cuenta con la información y que es presentado en esta investigación, pero que no está documentado en las fuentes oficiales. Por otra parte, es muy importante investigar las consecuencias que tienen las barreras montañosas de nuestro país para determinar el punto de impacto.

El estudio de los CT que han impactado a Veracruz nos permitirá tomar acciones de protección civil, al conocer su trayectoria pronóstico. Además, es fundamental continuar con las investigaciones para proponer modelos, generar estadísticas y darle a conocer a la población que Veracruz, año con año, está expuesto al impacto de algún meteoro como éstos.

Karl ha quedado registrado en la historia de Veracruz, pues mostró la vulnerabilidad en la que se encuentran los municipios por donde transitó. Además, dejó muchas enseñanzas y reveló la solidaridad de los pobladores. También evidenció la importancia de la vigilancia permanente con las

herramientas de observación directa —como imágenes de satélite, radar, radiosondeo, entre otras—, del análisis de los CT ya ocurridos para tener un referente, y de poder contar con un vehículo instrumentado para la observación directa de los CT.

Para mejorar los sistemas de monitoreo se recomienda contar con información actualizada, adquirir sistemas de observación satelital y/o contar con radares meteorológicos móviles, generar centros de investigación de alto nivel, además de promover la formación de profesionales que se involucren en el tema —que en México son escasos— y mantener una estrecha comunicación con las autoridades oficiales que toman las decisiones. Es sumamente importante que el pronóstico de la temporada de CT de cada año tome en cuenta, como apoyo fundamental, los datos que se tienen desde 1851.

Asimismo, será de gran utilidad la creación de un sistema de monitoreo y registro de los CT que impactan, no sólo a Veracruz sino al país en general, para apoyar la investigación científica y alimentar el sistema de información pública. También es necesario implementar un programa para mejorar los procesos de medición y seguimiento de los CT por parte de las dependencias oficiales.

EL MEDIO FÍSICO

Lluvias extremas en Veracruz en 2010 y su relación con la variabilidad natural del clima

Alfredo Ruiz Barradas

SEPARADOR COMO
BIODIVERSIDAD MARINA
CON UNA FOTO
QUE SIRVA COMO
SEPARADOR

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en el territorio veracruzano no han sido eventos aislados, sino algo recurrente. Evidencias antropológicas y etnográficas indican que para las distintas civilizaciones que han habitado a lo largo del Golfo de México los huracanes y las inundaciones siempre han estado presentes (Cuevas y Navarrete, 2006).^{*} Por otro lado, registros climáticos del siglo XX indican que tanto el norte como el sur del estado presentan gran variabilidad de la lluvia y con ella la posibilidad de inundaciones. Curiosamente, la zona norte del estado es cuna de la leyenda totonaca del dios del Trueno debido a lo frecuente de las lluvias torrenciales e inundaciones en la zona. En la historia reciente no es necesario esforzarse demasiado para recordar que el siglo XX se despidió con una gran inundación en el norte del estado, en 1999, y que la primera década del siglo XXI ha estado marcada por inundaciones severas, tanto en el norte como en el sur del estado, en 2005 y 2010, por ejemplo.

La existencia de inundaciones en épocas previas a las cuales el hombre se pudiera considerar como factor de cambio extremo del clima, sugiere el carácter natural de dichos episodios. Eventos intrínsecos a la variabilidad natural del clima tienen el potencial de generar lluvias intensas en el estado y eventualmente inundaciones que se pueden magnificar por el efecto directo de cambios en el uso del suelo y cambios en la temperatura global del planeta. Sin embargo, y a pesar de que la lluvia ha

^{*} El antropólogo Jeffrey K. Wilkerson sugiere que megainundaciones ocurrían cada 400 o 500 años en la zona de El Tajín. Tomado de la entrevista aparecida el 16 de noviembre de 2000 en el periódico americano *Los Angeles Times*: <http://articles.latimes.com/2000/nov/16/local/me-52634>.

aumentado en la segunda mitad del siglo XX sobre Veracruz en verano (Ruiz y Nigam, 2010, figura 4 b), el impacto del cambio climático global sobre las inundaciones en el estado no es analizado en el presente trabajo.

Se sabe más de la climatología que de la variabilidad interanual de la lluvia en Veracruz. Los controles más fuertes en el clima del estado son la orografía y los sistemas de circulación atmosférica dominantes en distintas épocas del año (Mosiño y García, 1973). Dichos controles hacen que la época de lluvias para la entidad en general sea en la mitad cálida del año, en los meses de verano y otoño. La variabilidad de la lluvia que se presenta en estas estaciones no ha sido estudiada a pesar de los desastres recurrentes en el estado. Prácticamente todos los esfuerzos de análisis se han efectuado en el marco de estudios a nivel nacional y teniendo como referente el cambio climático, sin poner mayor atención a la gran variabilidad de la lluvia que existe en el este de México. A partir de esos estudios, y de manera indirecta, se sabe de los efectos de fenómenos de alcance global como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés) (Rasmusson y Wallace, 1983), que en su fase negativa, o de La Niña, induce condiciones de exceso de lluvias en algunas porciones del estado de Veracruz en el verano (Magaña *et al.*, 2003). Asimismo, se conoce que la Oscilación Decadal del Pacífico, PDO (Mantua *et al.*, 1997) en su fase negativa induce exceso de lluvia en una porción al sur del estado de Veracruz (Méndez *et al.*, 2010). De ese tipo de estudios a escala nacional se sugiere también que fenómenos en el Océano Atlántico, tales como la Oscilación Multidecadal del Atlántico, AMO (Sutton y Hodson, 2005), por su efecto en

la frecuencia de huracanes, tienen el potencial de inducir condiciones de exceso de lluvia en el estado (Vázquez, 2007). En uno de los pocos estudios, tal vez el único, en el que se analiza someramente la variabilidad de la precipitación en el estado, se encontró que la lluvia en la zona sur del estado de Veracruz está inversamente correlacionada con la PDO en verano, la lluvia en las zonas norte y sur del estado en verano se correlaciona directamente con ENSO en invierno, y la lluvia en la zona sur del estado en verano está inversamente correlacionada con la Oscilación del Atlántico Norte, NAO, en primavera (Torres *et al.*, 2010).

Es claro que el impacto de la variabilidad natural del clima sobre la lluvia en Veracruz no ha sido debidamente estudiado. Las inundaciones de 2010 se han presentado dentro del marco de un fenómeno de escala global como es La Niña, pero quizás ésta no actuó sola. En este trabajo se analiza el impacto que tiene la variabilidad natural del clima, representada por medio de selectos índices de teleconexión y/o modos de variabilidad de la temperatura de la superficie del océano, en la variabilidad de la lluvia y la presencia de eventos extremos en Veracruz. Si no se comprenden estas relaciones básicas y naturales (no forzadas por la acción del hombre), será difícil entender proyecciones ante el cambio climático.

El presente trabajo está dividido como sigue: se presentan los detalles de los datos usados, la variabilidad de la lluvia en Veracruz, las condiciones imperantes en la lluvia de la región, el océano global en 2010, el impacto sobre la lluvia regional de fenómenos globales, descritos través de algunos índices de teleconexión y, finalmente, las conclusiones.

Datos

El presente estudio hace uso de datos enrejillados de escala global y disponibilidad pública de precipitación y temperatura superficial del océano. Estos datos han sido ampliamente usados para estudios de variabilidad y cambio climático en diversas regiones, aunque muy poco o nada para análisis regionales sobre México ni mucho menos sobre Veracruz. Los datos de precipitación provienen de dos fuentes distintas, una del *Climate Research Unit* (CRU) en el Reino Unido, y la otra de la NASA. Los datos del CRU son identificados con el acrónimo CRUTS2.1 (Mitchell y Jones, 2005; http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/CRU_TS_2_1.html). En la generación de dicha base de datos, los registros en las estaciones meteorológicas se revisaron por inhomogeneidades, haciendo uso de registros disponibles tanto incompletos como parcialmente coincidentes con otras estaciones, e identificando inhomogeneidades de signos opuestos en distintas estaciones (Mitchell y Jones, 2005). Estos datos se encuentran en una rejilla global de 0.5° de resolución horizontal y cubren el periodo 1901-2002 a escala mensual. Los datos de precipitación de la NASA provienen del producto 3B43V6 (Fuman *et al.*, 2007) del Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM, que es una misión estadounidense y japonesa (<http://mirador.gsfc.nasa.gov/> y buscar el producto 3B43). Este producto combina estimaciones satelitales de la precipitación provenientes de TRMM y mediciones de la lluvia de pluviómetros a escala mensual. Este producto no es global y cubre el dominio (0°-360°, 50° S-50° N) a la alta resolución espacial de 0.25°×0.25° para el periodo 01/1998-presente a resolución mensual. Los datos

de la temperatura superficial del océano proceden de la National and Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, de los EUA, en su versión 3b del Extended Reconstruction Sea Surface Temperature, ERSST v3b (Smith *et al.*, 2008; <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/sst/ersstv3.php>). Esta base de datos es generada usando datos *in situ*, sin hacer uso de datos de satélite, y utilizando métodos estadísticos que permiten una reconstrucción estable en zonas de datos dispersos (Smith *et al.*, 2008). Los datos están en una rejilla global de 1° de resolución horizontal y cubren el periodo 1854-2010 a escala mensual, pero para el presente análisis se usan a la resolución de 5°×2.5°.

La carencia de datos siempre es un impedimento en cualquier investigación. Es necesario hacer notar que a pesar de que este estudio trata de analizar las condiciones anómalas observadas en 2010, y ponerlas en el contexto de la variabilidad regional histórica del clima, no hay datos suficientemente largos y confiables (al menos no de los que este autor pueda disponer); para el caso de los datos de la temperatura superficial del océano se cuenta con información suficiente.

A continuación se presentan los pormenores del análisis. A pesar de que los datos de lluvia del CRUTS2.1 y de la temperatura de la superficie del océano del ERSSTv3b dan para analizar variabilidad en todo el siglo veinte, el periodo de análisis es confinado a la segunda mitad, esto es, 1950-2001. Ese mismo periodo se usa para definir la climatología con respecto a la cual se calculan anomalías, es decir, las desviaciones respecto a lo normal, aun aquellas anomalías de la temperatura de la superficie del océano en 2010. Sin embargo, para analizar las condiciones anómalas del 2010 con los datos de

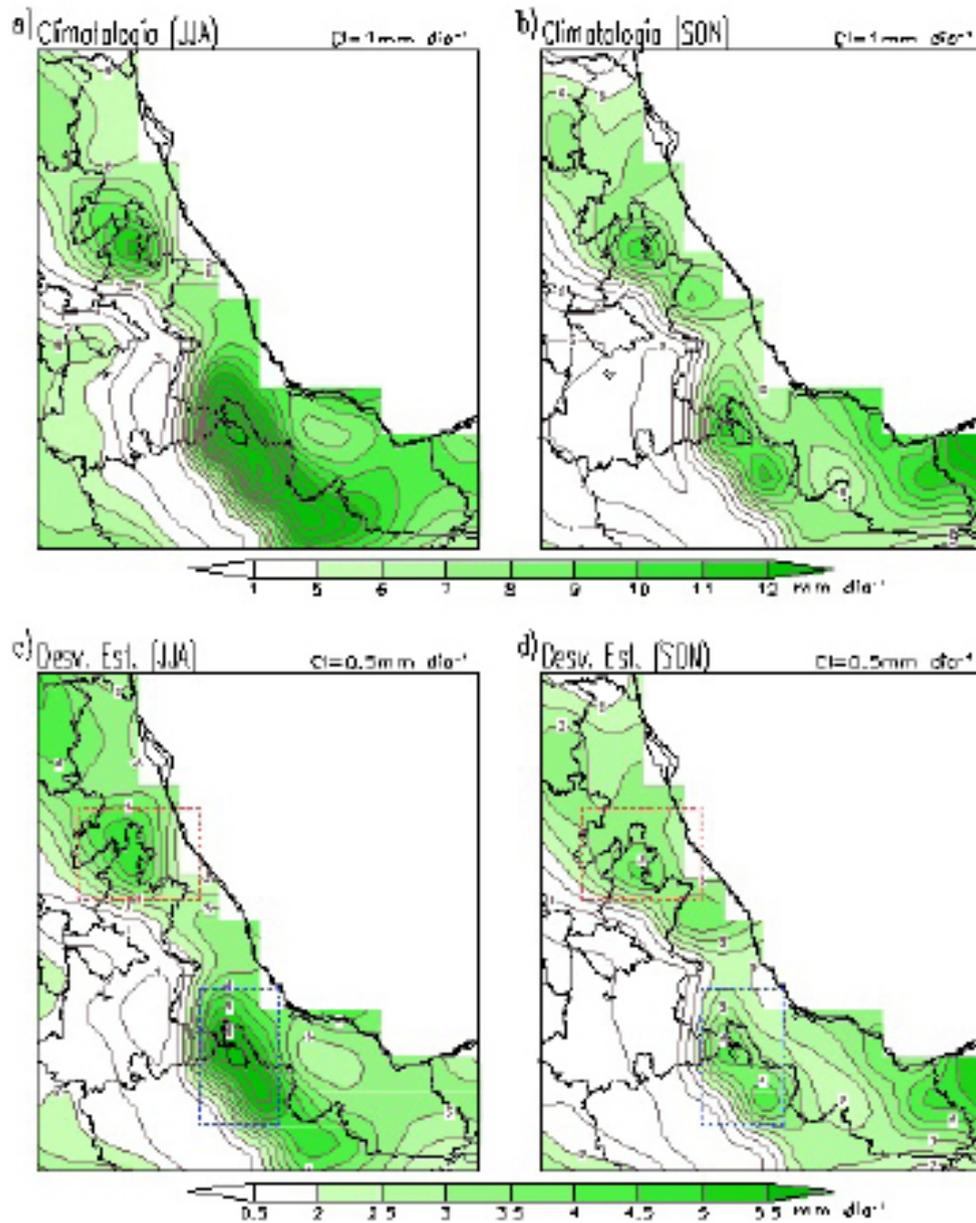
lluvia de TRMM que sólo cubren 13 años, las anomalías son calculadas con respecto al promedio de los datos en este periodo. Las estaciones se usan en su concepto tradicional de tres meses: diciembre, enero y febrero para invierno; marzo, abril y mayo para primavera; junio, julio y agosto para verano; y septiembre, octubre y noviembre para otoño.

Variabilidad de la lluvia en el este de México

La temporada de lluvias en el este de México alcanza su máxima intensidad en los meses de verano y otoño. Dependiendo de la región puede presentar dos máximos y se le conoce como sequía intraestival o canícula. La Sierra Madre Oriental, que bordea la frontera interior del estado de Veracruz, hace que las mayores precipitaciones se concentren sobre este flanco y no sobre la llanura costera que bordea al Golfo de México (gráfica 3 a y b). Dos zonas destacan, una al norte colindante con Puebla y entre los municipios de Papantla y Chicontepec, y la otra al sur colindante con Oaxaca y entre los municipios de Zongolica e Isla. Ambas zonas reciben más lluvia en verano (~ 12/17mm día-1 en las regiones norte/sur) que en otoño (~ 10/11mm día-1 en las regiones norte/sur), pero la zona sur recibe más lluvia que la norte. Para el presente estudio es más conveniente trabajar con promedios estacionales, aunque se pierden detalles como la canícula que ocurre en el mes de agosto, alcanzando máximos en julio y septiembre, y en la zona sur donde el máximo de septiembre es mucho mayor que el de julio. Estas condiciones medias, o climatológicas, son las que se esperarían de

no haber cambios en el sistema climático, y son esas condiciones las que se usan como referencia cuando se compara un evento o eventos que se ven como atípicos.

La lluvia, que se puede ver como el efecto final de las condiciones no solamente del océano y de la atmósfera, sino también de las condiciones locales del ecosistema, no se distribuye de la misma manera año con año. En el este de México, la variabilidad interanual de la lluvia ocurre sobre las mismas regiones en que la climatología indica que llueve más (gráfica 3 c y d), esto es, sobre la sierra (identificadas en la gráfica con rectángulos de líneas punteadas en rojo y azul). Comparando con la climatología, se tiene que la variabilidad promedio de la lluvia en las zonas norte y sur está entre el rango de 35-40% de la lluvia climatológica durante las estaciones de verano y otoño. Variaciones de esa magnitud pondrían en aprietos no sólo a dichas regiones, sino también a aquéllas a lo largo y ancho de las cuencas de los ríos que alimentan, tanto por déficit como por exceso de lluvia. Llama la atención que la zona de máxima variabilidad de la lluvia en el sur incluye en su dominio a la presa Miguel Alemán, la cuarta en el país por su capacidad total. Sería un buen ejercicio poder comparar los datos de lluvia con los niveles de la presa para ver la correspondencia entre una y otra variable. Cabe destacar que aunque estas zonas de máxima variabilidad de la lluvia no han sido el centro de máxima lluvia anómala en las inundaciones en el estado de Veracruz en la década recientemente terminada (excepto quizás por aquéllas del 2005), lo que pasa en esas regiones fronterizas del estado está muy relacionado con lo que pasa en las porciones interiores del norte y sur del estado de Veracruz.



■ Gráfica 3. Climatología y desviación estándar de la precipitación en Veracruz durante el periodo 1951-2001. Climatología en a) verano, b) otoño, desviación estándar en c) verano, d) otoño. El sombreado es de acuerdo a las barras de color correspondientes, y el intervalo de contorno es de 1 mm día⁻¹ para la climatología y de 0.5 mm día⁻¹ para la desviación estándar. Los rectángulos rojo y azul resaltan las regiones de máxima variabilidad al norte (98.5°-97° O, 20°-21° N) y al sur (97°-96° O, 17.5°-19° N) a lo largo del este de México, respectivamente. La desviación estándar es el promedio estacional de la desviación estándar mensual de los tres meses de la estación.

Fuente: Falta

Condiciones en 2010

Durante el año 2010 imperaron condiciones anómalas tanto a nivel regional en la lluvia como a nivel global en los océanos. Lo que se recuerda son las inundaciones que hubo tanto en el norte del estado en julio como aquéllas en el sur en septiembre. Promedios estacionales de las anomalías de la lluvia en el este de México y las temperaturas de la superficie del océano observadas en 2010 se muestran en la gráfica 4. El año empezó con lluvias ligeramente arriba de lo normal en la parte norte del estado de Veracruz y condiciones normales en el sur en invierno (gráfica 4 a), principalmente por lluvias en febrero. Dicha situación se invirtió en primavera (gráfica 4 c), pues el exceso de lluvia se dio en la parte sur del estado en abril; las lluvias en abril se presentaron en todo el estado, pero más intensas en el sur, mientras que en mayo la lluvia estuvo por debajo de lo normal en toda la entidad. Las lluvias estuvieron por arriba de lo normal en el norte y sur, pero por abajo en el centro del estado en verano (gráfica 4 e). Es interesante hacer notar que el déficit de lluvia en mayo se hizo más intenso en junio, principalmente en la zona centro del estado. El exceso de lluvias inició en julio en el norte y sur del estado, lloviendo más en el norte que en el sur, y continuó sólo en la porción sur en agosto. Finalmente, el otoño (gráfica 4 g) estuvo marcado por lluvias debajo de lo normal en el norte y arriba de lo normal en el sur del estado, principalmente debido a las lluvias anómalas que continuaron en septiembre y la falta de lluvias en todo el estado en octubre y noviembre.** En la grá-

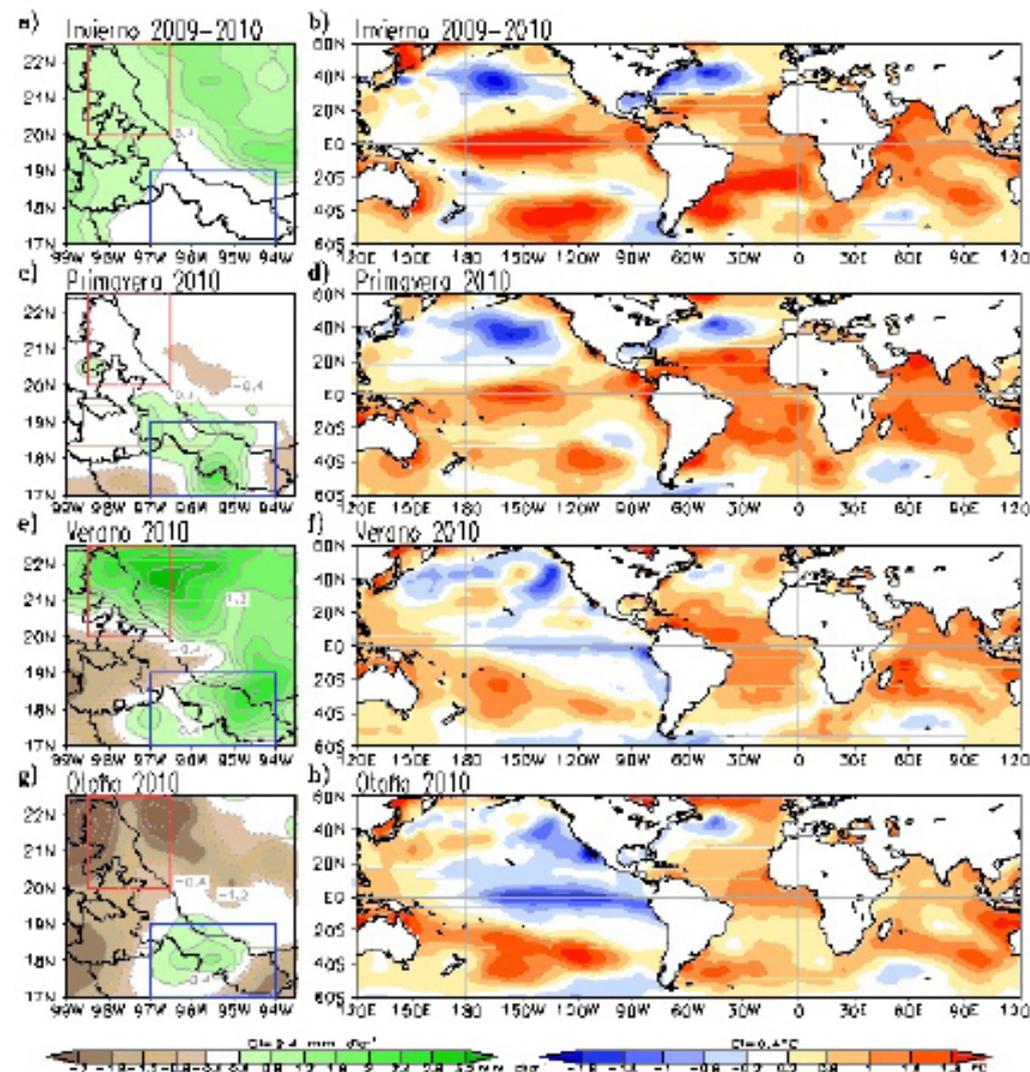
** Es importante señalar que la distribución de anomalías positivas y negativas obtenidas con datos de trmm no cambia si dichas anomalías se calculan con respecto al promedio de los años sin inundaciones marcadas (es decir, excluyendo los años 1998, 1999, 2005 y 2010). En tal caso, la magnitud de las anomalías de la lluvia en el sur aumentan.

fica 4, las regiones encerradas en rectángulos rojo y azul al norte y sur del estado abarcan tanto las regiones de máxima variabilidad de la lluvia (gráficas 3 c y d) como las zonas donde hubo inundaciones, no sólo en 2010 sino en 2005 y 1999 también.

El océano tampoco estuvo tranquilo en 2010 y las anomalías de la temperatura cambiaron de signo de manera importante en el Océano Pacífico, pero no así en el Océano Atlántico. Mientras que en el invierno y la primavera las condiciones de El Niño fueron evidentes (gráficas 4 b y d) con temperaturas por arriba de lo normal en el Pacífico tropical, las condiciones se revirtieron en verano y otoño (gráficas 4 f y h) dando paso a La Niña con temperaturas por debajo de lo normal en dicha zona. Esta alternancia en el Pacífico destaca con la persistencia de temperaturas por arriba de lo normal en el Océano Atlántico durante todo el año y que hacen recordar a la AMO. Hay que destacar también que en las latitudes medias del hemisferio norte de ambos océanos, las anomalías de las temperaturas eran del signo contrario a aquéllas que se presentaron en los trópicos. En su conjunto, la coexistencia de dichas anomalías en ambos océanos y las lluvias anómalas en la región sugieren que los primeros podrían haber jugado un papel en la generación de las intensas lluvias del 2010.

Los fenómenos de escala global que, por las características identificadas en los océanos, podrían haber actuado en la generación de las lluvias anómalas son ENSO y la AMO, pero también la PDO no se podría descartar, ya que al igual que ENSO, la PDO cambió de signo (positivo a negativo) a la mitad del año.*** Desde el punto de vista de la variabilidad

*** El cambio en el índice de la pdo se puede ver en la página del Joint Institute for the Study of the Atmosphere and the Ocean de la University of Washington: <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest/>, mientras que el cambio de fase de enso se puede ver en el índice en la página del Climate Prediction Center



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

■ **Gráfica 4.** Anomalías observadas de lluvia y temperatura de la superficie del océano durante 2010. a-b) Invierno, c-d) primavera, e-f) verano y g-h) otoño. Las anomalías son con respecto a la climatología del periodo 1998-2010 para la lluvia y 1950-2001 para la temperatura. Las anomalías positivas/negativas se marcan en color verde/café para la lluvia y rojo/azul para la temperatura de acuerdo a las barras de color con intervalos de 0.4 mm día⁻¹ y 0.4° C, respectivamente. Los rectángulos rojo y azul definen las regiones de estudio de la variabilidad de la lluvia al norte y al sur cubriendo las mitades norte y sur de Veracruz: **EMEXN ¿QUE SIGNIFICA?** (96.5°-98.5° O, 20°-22.5° N) y EMEXS (94°-97° O, 17°-19° N), respectivamente. Fuente: Falta

temporal, ENSO lo hace a escalas interanuales mientras que la PDO y AMO lo hacen a escalas de décadas. El impacto de estos fenómenos sobre la lluvia en el este de México se analiza a continuación.

Lluvia anómala en Veracruz y el papel de los océanos

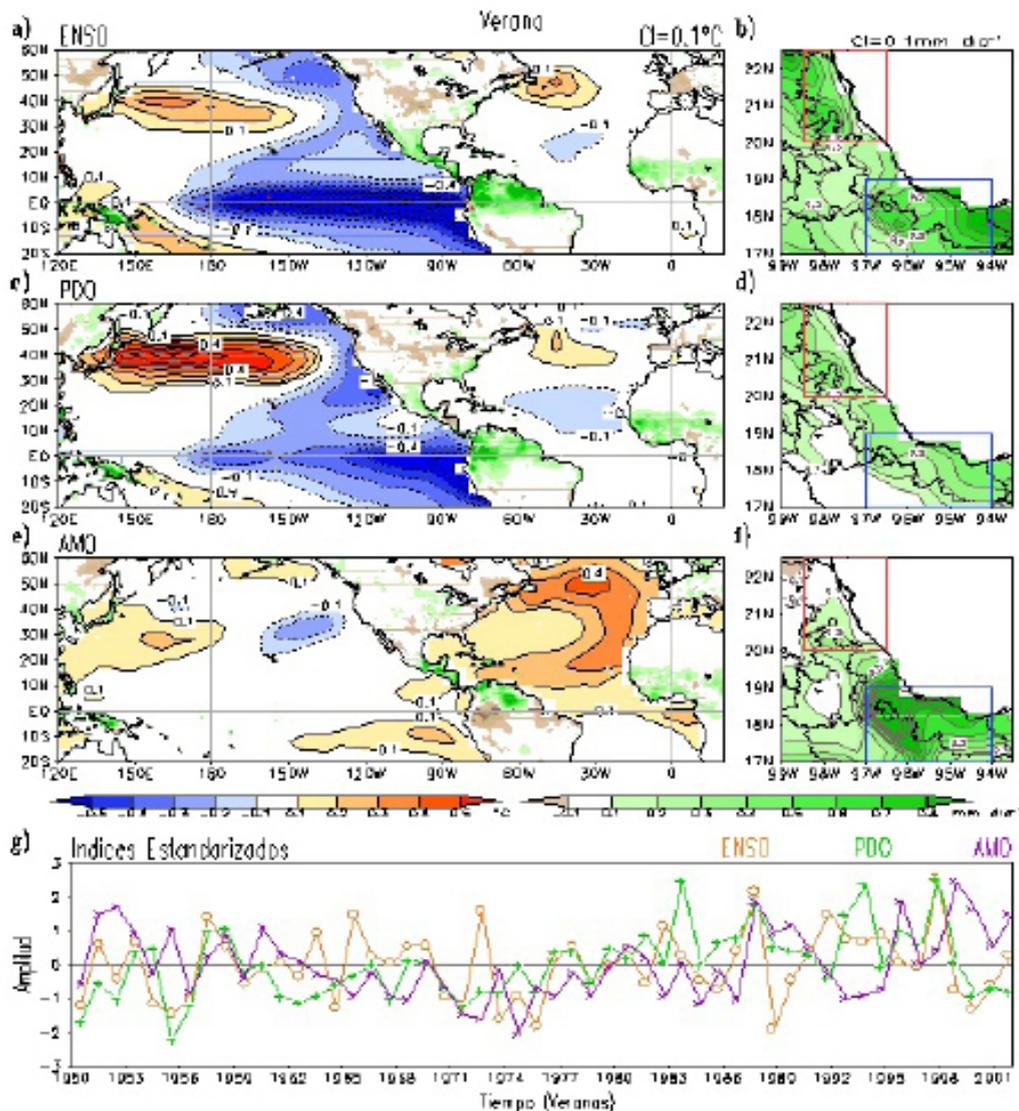
Algo que no se ha explorado con detalle es el impacto en la lluvia regional en el este de México y, en concreto, en Veracruz, de fenómenos conocidos por sus alcances globales. El análisis previo de las condiciones del océano en 2010 da la pauta para estudiar el impacto de fenómenos tales como ENSO, PDO y AMO. El primer paso es caracterizar los fenómenos antes mencionados a través de series de tiempo características, o índices de teleconexión, a resolución estacional como a continuación se especifica. Un índice de ENSO se generó promediando anomalías estacionales de la temperatura superficial del Pacífico ecuatorial en la región de NINO3.4 (170° W-120° W, 5° S-5° N), mientras que un índice de la AMO se generó promediando anomalías estacionales de la temperatura superficial en la porción del hemisferio norte del Atlántico (75° W-5° W, 0°-60° N) a las cuales se les extrajo la tendencia lineal; por otro lado, el índice estacional de la PDO se obtuvo del índice mensual de la PDO de Mantua disponibles a través de la University of Washington (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>); el índice de Mantua se define como la serie de tiempo asociada al principal modo de variabilidad de la temperatura superficial al norte de

de los EU: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>. La persistencia de la fase positiva de la amo se puede verificar en la liga del Earth System Research Laboratory de la nasa: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO>.

la latitud de 20° N en el Pacífico a escala mensual en el periodo 1900-1993).

Una visión global y, sobre todo, regional del impacto de estos fenómenos se obtiene al calcular regresiones lineales de los índices sobre la lluvia y las temperaturas superficiales del océano. Cuando el índice de ENSO caracteriza a La Niña, el de PDO está en su fase negativa y el de AMO en su fase positiva, las anomalías de las temperaturas superficiales características de estos fenómenos son similares a aquéllas observadas en 2010 y se asocian con lluvias anómalas a escala global (México, EUA, Amazonas, Sahel) tanto en verano (gráfica 5) como en otoño (gráfica 6). Es evidente el incremento de las lluvias que estos tres fenómenos, en sus fases mencionadas, ocasionan sobre el sureste de México, siendo La Niña el de mayor impacto a nivel nacional en el verano. Sobre Veracruz, es evidente que tales fenómenos son capaces de inducir lluvias excesivas en el estado, más en el verano que en el otoño. Mientras que la PDO es el fenómeno de menor impacto sobre las lluvias veraniegas en Veracruz, los tres fenómenos impactan similarmente en otoño. Nótese las distintas escalas temporales de los índices de teleconexión (panel inferior en las gráficas 5 y 6), ya que es de destacar que mientras que un fenómeno de baja frecuencia como la AMO en su fase positiva (o PDO en su fase negativa) actúa de fondo promoviendo lluvias excesivas en el estado, ENSO puede intensificar aún más las lluvias en su fase de La Niña en el verano y otoño.

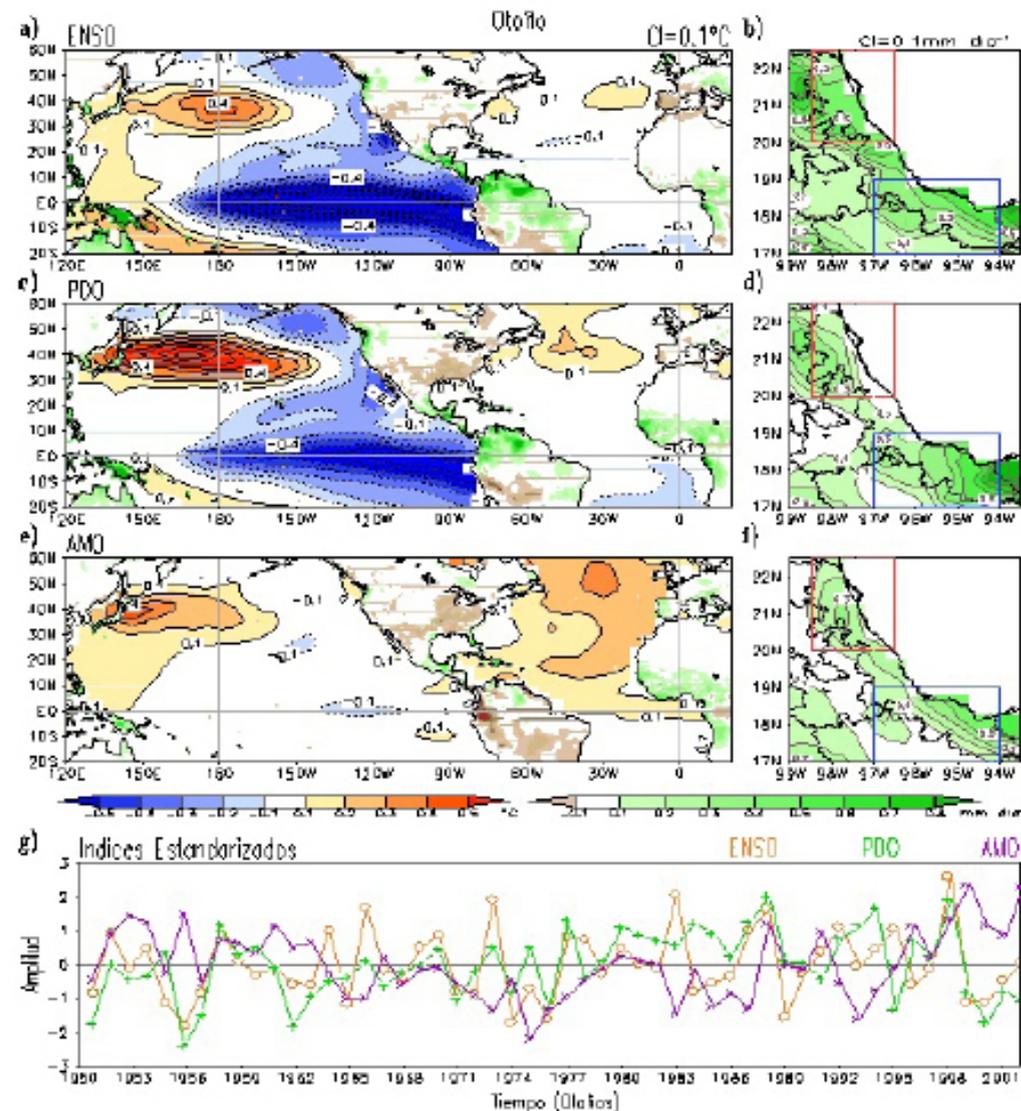
Algo que es visible en las características espaciales de estos fenómenos es la similitud entre ENSO y PDO. Dicha semejanza no sólo se limita a lo espacial, sino a lo temporal también. La correlación entre ambos índices en el verano es de



**ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER
POSIBLE**

Gráfica 5.
Anomalías de la temperatura de la superficie del océano y precipitación asociadas a las regresiones de los índices de teleconexión en verano en el periodo 1950-2001: a), b) ENSO c), d) PDO, e), f) AMO. Las anomalías positivas/negativas se representan con color rojo/azul para la temperatura y verde/café para precipitación de acuerdo a las barras de color. Intervalos son 0.1°C para la temperatura y 0.1 mm día^{-1} para la precipitación, g) índices de teleconexión estandarizados de ENSO (en naranja), PDO (en verde) y AMO (en violeta) en verano usados para hacer las regresiones.

Fuente: Falta



**ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER
POSIBLE**

Gráfica 6.
Anomalías de la temperatura de la superficie del océano y precipitación asociadas a las regresiones de los índices de teleconexión en otoño en el periodo 1950-2001: a), b) ENSO c), d) PDO, e), f) AMO. Las anomalías positivas/negativas se representan con color rojo/azul para la temperatura y verde/café para precipitación de acuerdo a las barras de color. Intervalos son 0.1°C para la temperatura y 0.1 mm día^{-1} para la precipitación. g) Índices de teleconexión estandarizados de ENSO (en naranja), PDO (en verde) y AMO (en violeta) en otoño usados para hacer las regresiones.

Fuente: Falta

0.49 mientras que en el otoño es de 0.54, es decir, que no se puede hablar de uno sin incluir al otro, o en otras palabras, que ambos fenómenos no se pueden considerar independientes. Respecto a la relación temporal entre ENSO y AMO se tiene que no hay correlación entre ellos en ninguna de las dos estaciones, siendo la máxima correlación entre ellos de 0.04 en el otoño. Idealmente, uno debería de poder separar el efecto de estos fenómenos en el Pacífico y así cuantificar y atribuirles sin ambigüedades sus impactos regionales. A pesar de este inconveniente, la relación de estos fenómenos con la lluvia en las regiones norte y sur del estado se analiza a continuación y se deja para otra ocasión el ejercicio de definir fenómenos independientes en ambos océanos y analizar su impacto en el clima regional.

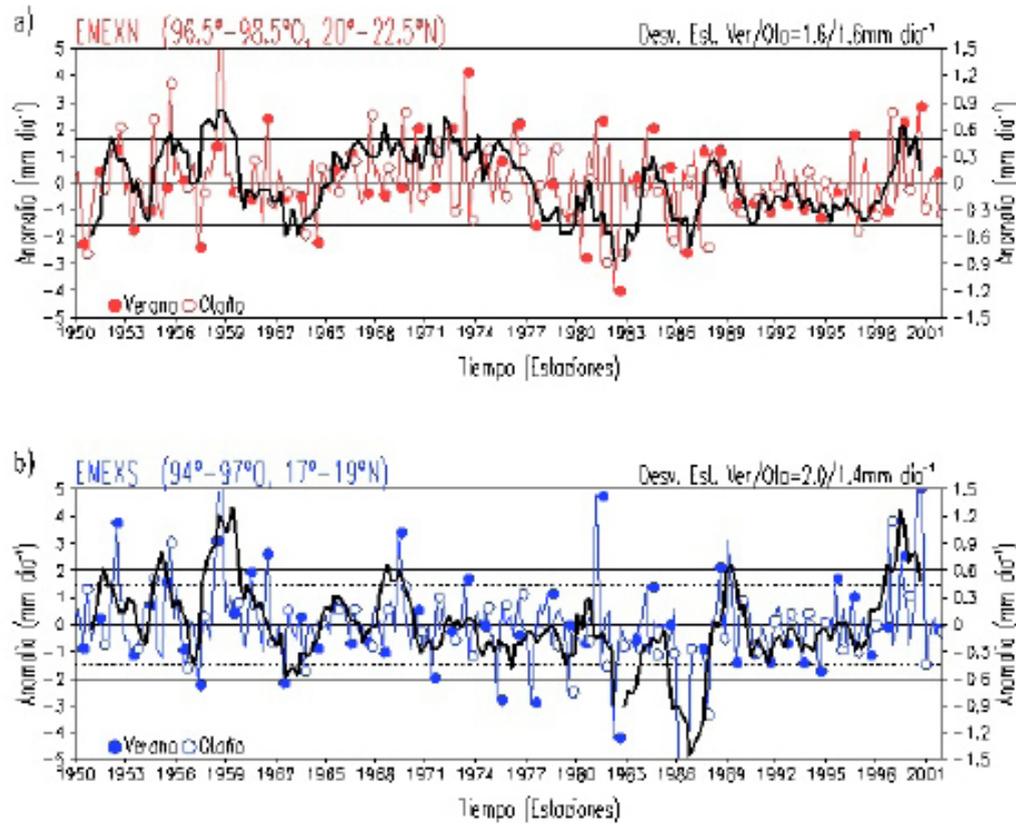
Antes de proseguir, es pertinente hacer notar que ninguno de los tres índices de teleconexión, en las fases que se consideran originaron las lluvias excesivas, explican el déficit de lluvia en la mitad norte del estado en otoño. Idealmente uno quisiera encontrar una relación con las temperaturas del océano, pero es posible que otros fenómenos de origen atmosférico, o inclusive antropogénico como el calentamiento global, hayan también intervenido para ocasionar el déficit observado.

Teleconexiones y lluvias extremas en el norte y sur de Veracruz

Las inundaciones periódicas que el estado de Veracruz ha sufrido, de tener alguna conexión con las temperaturas del océano, darían pie a la posibilidad de poder determinarse con antelación. El

análisis previo demuestra el potencial que tienen fenómenos tales como ENSO, PDO y AMO para producir lluvias anómalas en el estado. En lo que sigue se analiza el efecto que estos fenómenos, a través de sus índices de teleconexión, tienen en la generación de lluvias extremas en las porciones norte y sur del estado e identificadas con anterioridad (con los cuadros azul y rojo en las gráficas 4, 5 y 6).

Para poder llevar a cabo el análisis mencionado, hay que caracterizar la lluvia en el estado. Basado en los mapas de variabilidad de la lluvia (gráfica 3) y de las anomalías ocurridas en 2010 (gráfica 4), es razonable dividir al estado en dos zonas, una al norte (96.5°-98.5° O, 20°-22.5° N) y la otra al sur (94°-97° O, 17°-19° N), y con ellas definir un par de índices (o series de tiempo) de anomalías de lluvia promedio sobre esas áreas. Los índices de precipitación (gráfica 7) compactan la información espacial mostrada en los mapas de desviación estándar (gráfica 3) e indican que la lluvia varía menos en la zona norte que en la sur en el verano, pero es al revés en el otoño. Mientras que los datos no permiten la captura de las lluvias anómalas de la década pasada, capturan no sólo las lluvias anómalas de 1999, que son más evidentes en el sur que en el norte, sino que también muestran diversos episodios extremos de lluvia excediendo una desviación estándar en ambas regiones. La correlación entre ambos índices es de 0.67 usando todas las estaciones, pero es de 0.66/0.72 para cuando sólo se usa verano/otoño. La versión suavizada de los índices sugiere que la lluvia no sólo varía interanualmente, sino también a escalas de décadas, lo cual habla del posible impacto de fenómenos tales como la AMO y la PDO, que tienen frecuencias características a estas escalas temporales.

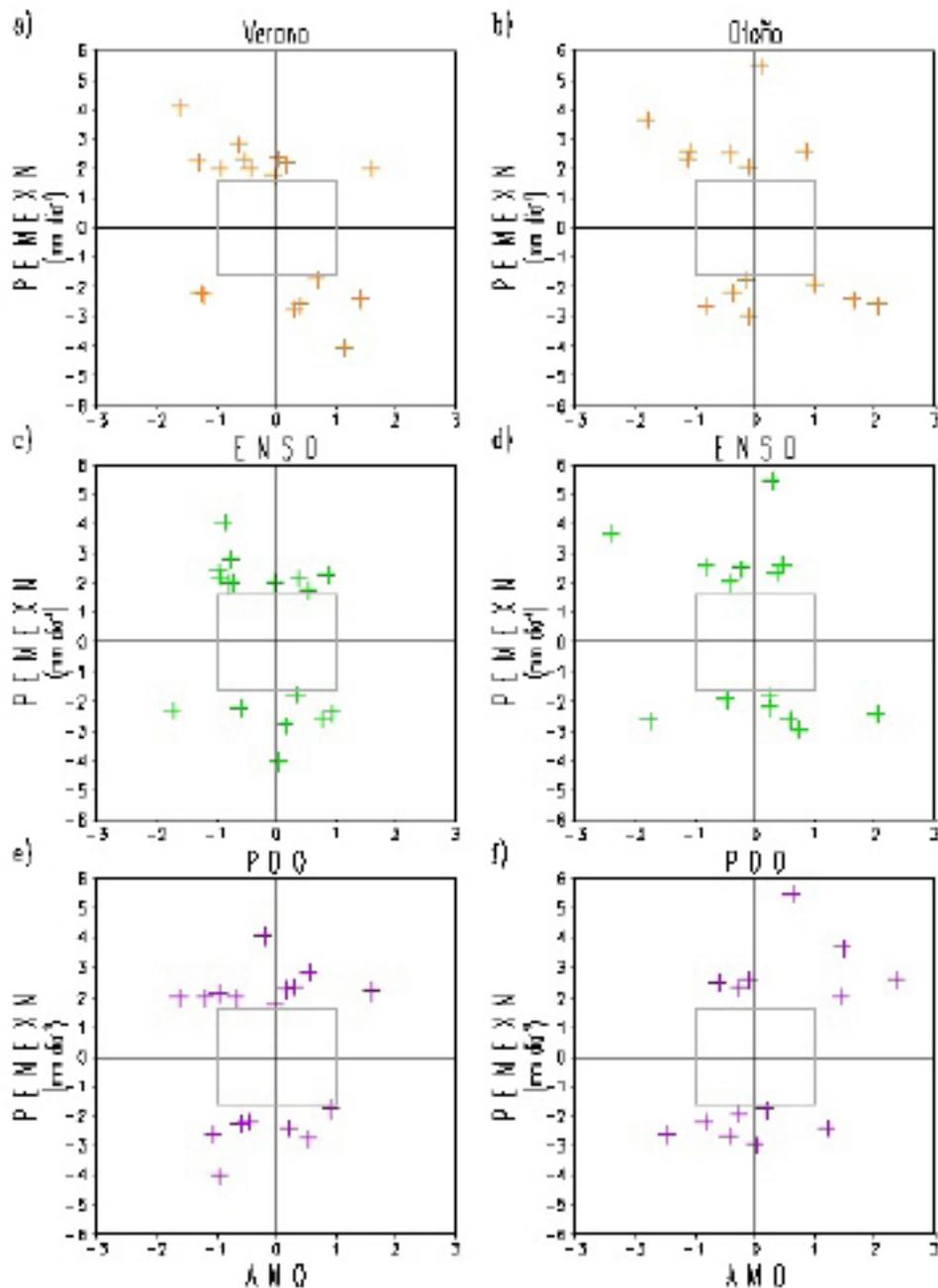


Gráfica 7. Anomalías estacionales de precipitación en el este de México: a) en la zona norte EMEXN (96.5°-98.5° O, 20°-22.5° N) en rojo y b) en la zona sur EMEXS (94°-97° O, 17°-19° N) en azul, respectivamente. Las estaciones de verano se muestran con un círculo relleno y las de otoño con un círculo. Las líneas gruesas en color negro muestran una versión suavizada de las anomalías mensuales (obtenidas al aplicar promedios móviles de dos años y cuya escala vertical se muestra a la derecha). Las líneas delgadas continuas negras indican la desviación estándar en verano y las líneas a trazos la correspondiente al otoño. Las anomalías están dadas en mm día⁻¹. Los valores de la desviación estándar que se muestran en cada panel arriba a la derecha son los correspondientes al verano (Ver) y otoño (Oto) en cada región.

Fuente: Falta

**ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA.
FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER
POSIBLE**

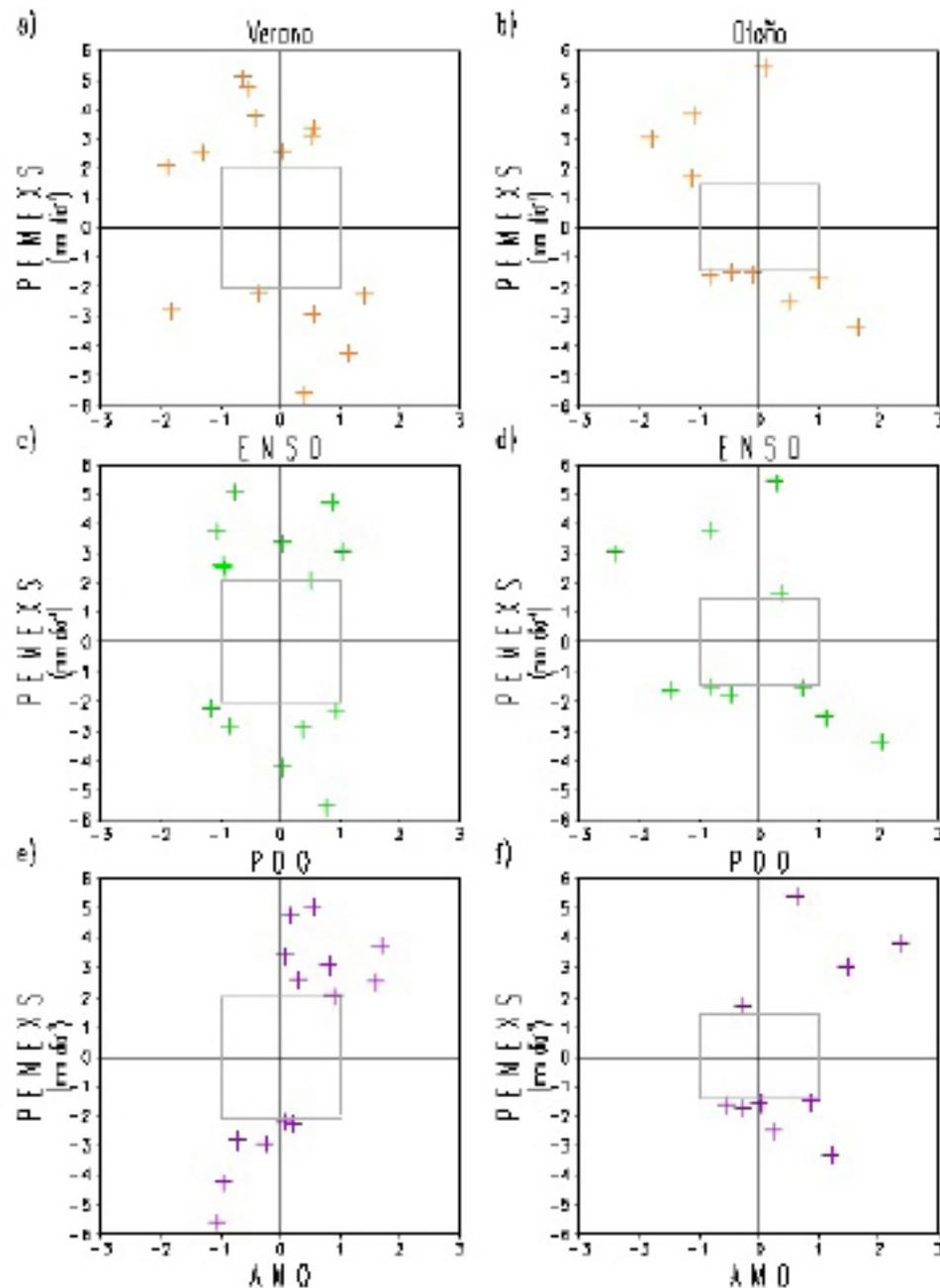
La conexión entre la variabilidad de la lluvia en las zonas norte y sur y los fenómenos de teleconexión analizados con anterioridad (ENSO, PDO y AMO) no es fácil de establecer. Las correlaciones simultáneas entre ellos en verano y otoño apenas exceden el valor crítico de significancia (0.2 al nivel de 0.1 siguiendo la prueba de Student) en los casos de ENSO para ambas regiones y estaciones (-0.3), de PDO en la zona sur en otoño (-0.3) y de AMO para la zona sur en verano (0.4). Para investigar en más detalle la posible relación entre los índices de teleconexión y lluvias extremas en Veracruz en el verano y otoño se crearon diagramas de dispersión para las zonas norte (gráfica 8) y sur (gráfica 9). Para definir lluvias extremas sólo se han graficado los índices de lluvia estacional cuando exceden una desviación estándar en los diagramas de dispersión. Dichas figuras confirman lo que se exploró anteriormente mediante regresiones, pero también aportan detalles adicionales respecto a la variabilidad de las lluvias. Ambas zonas al norte y sur de Veracruz exhiben una relación inversa entre la lluvia extrema y fenómenos de ENSO y PDO, mientras que tienen una relación directa con AMO. Esto es, condiciones de La Niña inducen lluvias excesivas en ambas regiones y en ambas estaciones, mientras que cuando El Niño ocurre, la lluvia decrece por debajo de lo normal. La PDO en su fase negativa tiende a inducir lluvias en exceso también en ambas zonas, pero dicha relación no es tan clara como en el caso de ENSO, particularmente en el verano. La AMO en su fase positiva induce lluvias excesivas, principalmente en la zona norte en el otoño y en la zona sur en ambas estaciones, pero notablemente en el verano.



Gráfica 8.

Diagramas de dispersión entre la lluvia regional estacional en el este de México, zona norte EMEXN, y los índices de teleconexión normalizados cuando la precipitación es mayor que la desviación estándar en verano (1.6 mm día⁻¹) y otoño (1.6 mm día⁻¹) en el periodo 1950-2001: a) ENSO, c) PDO, e) AMO. El rectángulo interno marca la zona donde tanto los índices de teleconexión como el de la precipitación son igual a una desviación estándar.

Fuente: Falta



Gráfica 9.

Diagramas de dispersión entre la lluvia regional estacional en el este de México, zona sur EMEXS, y los índices de teleconexión normalizados cuando la precipitación es mayor que la desviación estándar en verano (2.0 mm día⁻¹) y otoño (1.4 mm día⁻¹) en el periodo 1950-2001: a) ENSO, c) PDO, e) AMO. El rectángulo interno marca la zona donde tanto los índices de teleconexión como el de la precipitación son igual a una desviación estándar.

Fuente: Falta

Conclusiones

El presente trabajo ha tenido como objetivo principal analizar las lluvias extremas que ocasionaron inundaciones en el estado de Veracruz durante 2010, dentro del contexto de la variabilidad natural del clima. Al mismo tiempo, se tiene particular interés en iniciar la discusión de la variabilidad natural de la lluvia en el estado, pues es un tema que, increíblemente, ha escapado a la atención de autoridades y académicos a pesar de la ocurrencia de eventos hidroclimáticos recurrentes y de la gran variabilidad de la lluvia que existe, de manera importante, en los meses de verano y otoño. La investigación de los mecanismos por los cuales los fenómenos inherentes a la variabilidad natural del clima afectan a la región va más allá de los alcances del presente estudio, ya que lo importante en este momento es dejar en claro su impacto en el clima regional y con ello resaltar la necesidad de dedicar recursos para su estudio.

Las inundaciones ocurridas en el 2010 en las mitades norte y sur del estado se generaron de manera distinta. Las inundaciones en la mitad norte del estado en julio, ocurrieron debido a la lluvia excesiva en ese mes, mientras que las inundaciones en la mitad sur del estado ocurrieron por la lluvia excesiva en los meses de julio a octubre; dichas lluvias fueron de tal magnitud que hicieron que la mitad norte del territorio tuviera en promedio un verano por arriba de lo normal, y que la zona sur experimentara un verano y un otoño promedios por arriba de lo normal también. Simultáneamente, mientras que el Océano Atlántico mantenía anomalías positivas de las temperaturas de la superficie a través de 2010, el Pacífico tropical cam-

biaba de anomalías positivas típicas de El Niño, a anomalías negativas típicas de La Niña justo al inicio del verano. Tales condiciones en los océanos hicieron que el análisis de variabilidad del clima y su impacto en la lluvia en Veracruz se centrara en fenómenos de teleconexión como ENSO y la PDO del Pacífico y la AMO del Atlántico.

A continuación se resumen los principales hallazgos del análisis de la variabilidad histórica de la lluvia en el este de México y del impacto de los fenómenos de teleconexión en la lluvia regional.

- Registros climatológicos de la segunda mitad siglo XX indican la existencia de dos zonas de gran variabilidad de la lluvia en el este de México, una al norte (98.5°-97° W, 20°-21° N) y la otra al sur (97°-96° W, 17.5°-19° N), sobre la Sierra Madre Oriental y colindantes con el estado de Veracruz.
- Las zonas de mayor variabilidad de la lluvia coinciden con las de mayor lluvia climatológica en verano y otoño. La zona sur sufre de mayor variabilidad que la del norte, pero en ambas zonas, dicha variabilidad es del orden de 35-40% de la lluvia climatológica. La variabilidad en dichas regiones afecta directamente, no sólo a las zonas serranas sino también a las zonas hacia la llanura costera a través de las cuencas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla al norte, y Papaloapan y Coatzacoalcos al sur.
- Fenómenos como ENSO en su fase de La Niña, la PDO en su fase negativa, y la AMO en su fase positiva pueden producir no sólo lluvias anómalas sino lluvias extremas (aquellas que exceden una desviación estándar) en las mitades norte (96.5°-98.5° O, 20°-22.5° N) y sur (94°-97° O,

17°-19° N) de Veracruz, tanto en verano como en otoño. La novedad en estos resultados es que emanan de un análisis directo de la lluvia regional y no de un análisis para todo el país que no particulariza en el estado, en especial aquellos resultados relacionados a La Niña y la PDO. El impacto de la AMO sobre la lluvia regional no había sido explorado con anterioridad, y el presente estudio lo trae a primer plano.

- La similitud entre las anomalías observadas de la temperatura de la superficie de los océanos en 2010 y aquellas características de fenómenos como ENSO y AMO sugieren que estos fenómenos jugaron un papel importante como forzamiento de las lluvias anómalas en el estado de Veracruz.
- No todas las anomalías observadas en verano y otoño de 2010 se pueden explicar por estos fenómenos de teleconexión solamente. La existencia de lluvia por debajo de lo normal en la mitad norte del estado en otoño sugiere la intervención de otros fenómenos que pueden ser de carácter oceánico, atmosférico o antropogénico, como el calentamiento global. Es necesario poder definir modos de variabilidad sin ambigüedades para facilitar el proceso de atribución, no sólo de lluvias intensas sino de sequías también.
- Este trabajo ha servido no sólo para investigar el origen de las lluvias extremas de 2010, sino para llamar la atención sobre la necesidad de entender la variabilidad natural del clima y sus impactos en el clima regional de Veracruz. Hay mucho trabajo por hacer, y es lamentable que el tema cobre importancia después de cada tragedia. No basta con establecer coincidencias

entre las anomalías regionales y los fenómenos globales como se ha hecho en este trabajo, sino hay que ir más allá y explicar y entender los mecanismos dinámicos y termodinámicos por los cuales se dan dichas anomalías (en las variables del clima al que las sociedades son más vulnerables), si es que uno aspira a poder prevenir tales calamidades en el futuro.

Agradecimientos

Deseo agradecer a las personas que con sus comentarios sobre este trabajo me ayudaron a mejorarlo. Agradezco particularmente a Sumant Nigam por su motivación para explorar nuevos horizontes en las investigaciones que desarrollamos juntos en el Department of Atmospheric and Oceanic Science, de la Universidad de Maryland. Asimismo, expreso mi gratitud a la Fundación Nacional para la Ciencia (subvención ATM0738907) y a la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera, a través del Programa de Predicción del Clima para las Américas (subvenciones NA17EC1483 y NA10OAR4310158) por su apoyo para realizar este trabajo en el marco de mis investigaciones sobre la variabilidad del hidroclima en Norteamérica.

Escurrimiento generado por el huracán *Karl*: una primera estimación

Domitilo Pereyra Díaz
Juan Cervantes Pérez
Claudio Hoyos Reyes
José Antonio Agustín Pérez Sesma

SEPARADOR COMO
BIODIVERSIDAD MARINA
CON UNA FOTO
QUE SIRVA COMO
SEPARADOR

INTRODUCCIÓN

Cuando se presenta un fenómeno meteorológico como los ciclones tropicales, se producen fuertes lluvias que, al escurrir sobre suelos saturados, pueden provocar inundaciones en las partes bajas de las cuencas, como ha sucedido en el estado de Veracruz (Pereyra y Pérez, 2006).

Tan sólo en la cuenca del Atlántico, del año 1944 a 2009, se registraron 723 ciclones tropicales, de los cuales el 53% evolucionaron a huracán. Del total de ciclones generados en el Atlántico sólo el 28% tuvieron influencia en México (Díaz, 2010). En 2010 se presentaron 21 ciclones tropicales en esta región: 11 huracanes, 8 tormentas tropicales y 2 depresiones tropicales. De los 11 huracanes sólo uno, *Karl*, alcanzó la categoría tres, causando grandes pérdidas económicas y de vidas humanas a su paso por Veracruz (14 al 18 de septiembre), principalmente en las partes bajas de las cuencas hidrológicas Jamapa-Cotaxtla y La Antigua, donde se asientan las poblaciones de Veracruz, Boca del Río, La Antigua, Puente Nacional, Medellín de Bravo, Soledad de Doblado, Cotaxtla, Jamapa, Paso del Toro y El Tejar.

La problemática asociada a las inundaciones provocadas en la zona baja de las cuencas hidrológicas Jamapa-Cotaxtla y La Antigua es compleja, ya que intervienen numerosos factores, entre los cuales se encuentran la localización de las poblaciones, las obras hidráulicas, las características fisiográficas y morfológicas de la cuenca incluyendo su sistema fluvial (Rodríguez *et al.*, 2010). Dado los daños ecológicos, económicos y sociales que fueron causados por las inundaciones en las cuencas

hidrológicas de los ríos La Antigua y Jamapa-Cotaxtla, se vio la necesidad de contar con modelos de transformación lluvia-escorrentamiento, como herramientas útiles de pronóstico, y para cumplir con el objetivo de este estudio se aplicaron modelos conceptuales semidistribuidos en dicha zona. Entre estos modelos se encuentran el Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI) y el Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Ambos modelos fueron calibrados para las cuencas de los ríos Tecolutla y La Antigua (Pereyra, 1993; Pereyra *et al.*, 2007; Pérez, 2009) utilizando los escurrimientos generados por tormentas severas ocurridas en esas cuencas.

Zona de estudio

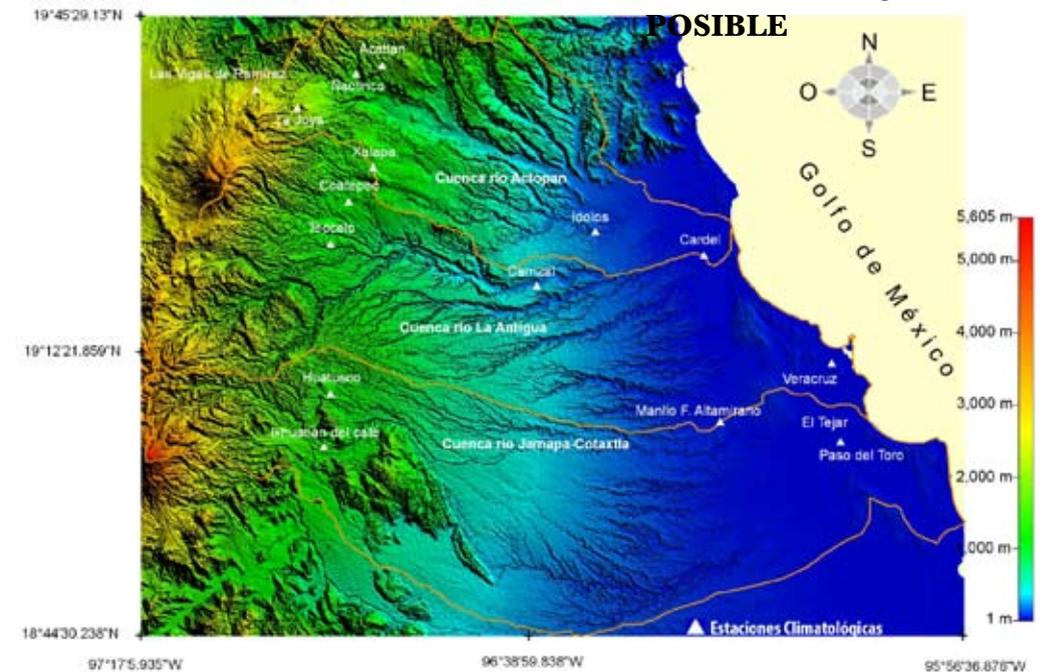
La zona de estudio se encuentra en la parte central del estado de Veracruz y se divide en tres cuencas hidrológicas. En el mapa 38 se muestra la zona de estudio y la ubicación de las estaciones climatológicas e hidrométricas utilizadas en este trabajo.

1. La cuenca del río Actopan se ubica geográficamente entre los 19° 20' y 19° 46' latitud norte y entre los 96° 20' y 97° 08' latitud oeste. Tiene un área aproximada de 2 000 km², y se ubica totalmente dentro del estado de Veracruz (Conagua, 2008). Esta cuenca nace en las faldas del Cofre de Perote a los 3 000 msnm (Pereyra *et al.*, 2010).
2. La cuenca del río La Antigua se encuentra geográficamente entre los 19° 05' y 19° 34' latitud norte y entre los 96° 06' y 97° 16' longitud oeste. Tiene un área aproximada de 2 827 km², dis-

tribuida una pequeña porción en el estado de Puebla y la mayor parte en el centro del estado de Veracruz; abarcando desde la Sierra Madre Oriental hasta el Golfo de México. Al norte limita con la cuenca del río Actopan y al sur con la cuenca del río Cotaxtla (Conagua, 2008; Pereyra *et al.*, 2007).

3. La cuenca del río Jamapa se ubica entre los 18° 45' y 19° 14' latitud norte, y entre los 95° 56' y 97° 17' longitud oeste, tiene un área aproximada de 3 912 km², distribuida totalmente dentro del estado de Veracruz (Conagua, 2008). El río Jamapa lo forman dos corrientes muy importantes, que en su confluencia se conocen con los nombres de río Cotaxtla y Jamapa (Pereyra *et al.*, 2010).

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER



Mapa 38. Estaciones climatológicas e hidrométricas ubicadas en las cuencas de los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa
Fuente: Falta

- *¿Qué es la relación lluvia-escurrimiento?*

El escurrimiento medio diario registrado en las estaciones de aforo es el flujo de agua, expresado en m³/s, que pasa por la sección transversal del cauce y constituye la respuesta hidrológica de la cuenca ante cada evento de lluvia. También es posible expresarlo como volumen medio diario y correlacionarlo con el volumen de lluvia registrada (Villegas-Romero *et al.*, 2009).

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia-escurrimiento son: a) Área de la cuenca. b) Características fisiográficas de la cuenca. c) Precipitación total. d) Distribución de la lluvia en el tiempo y espacio. e) Cobertura vegetal (Aparicio, 2008).

- *Modelos numéricos*

A continuación se describen los modelos numéricos que relacionan la lluvia con el escurrimiento utilizados en este estudio: el Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) del Centro de Ingeniería Hidrológica de la Armada de Estados Unidos (Scharffenberg y Fleming, 2008) y el Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI), también conocido como Hidrograma Matricial (Pereyra, 1993; Pérez, 2009).

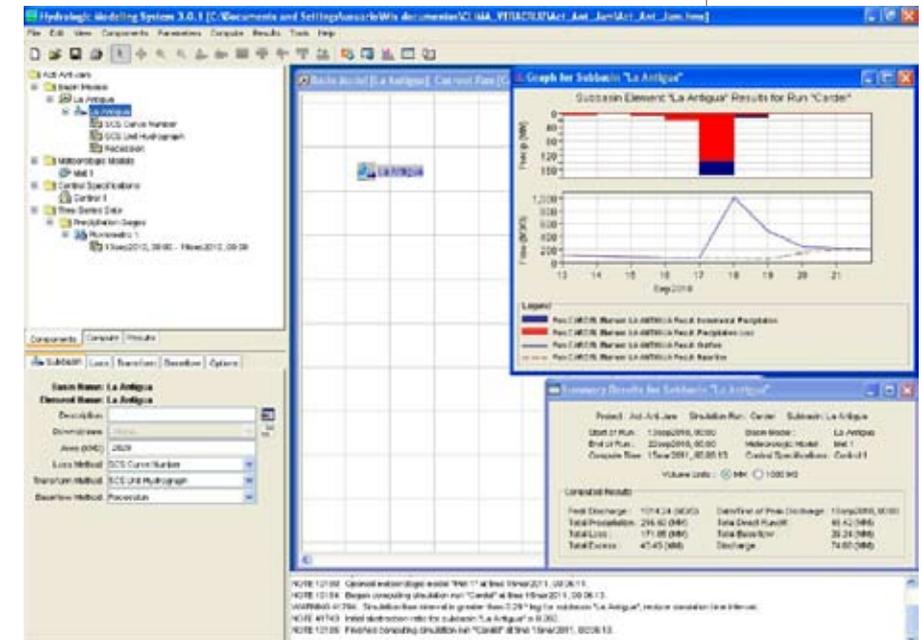
- *Descripción del modelo HEC-HMS*

De acuerdo al manual del usuario elaborado por Scharffenberg y Fleming (2008), el modelo HEC-HMS fue diseñado para simular los procesos de

lluvia-escurrimiento de sistemas de cuencas dendríticas, en un amplio rango de zonas geográficas, con el fin de resolver la mayor gama posible de problemas. Esto incluye el abastecimiento de agua en cuencas de ríos grandes y la hidrología de inundación, así como el escurrimiento en cuencas naturales y urbanas. El hidrograma generado por el programa es usado directa o conjuntamente con otro *software* para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de avenidas, impacto de la urbanización futura, diseño de vertederos de presas, reducción del daño por inundación, regulación de la planicie de inundación y operación de sistemas.

El programa es un sistema de modelado generalizado capaz de representar muchas cuencas diferentes. Un modelo de la cuenca es construido separando el ciclo hidrológico en partes manejables y construyendo límites alrededor de la cuenca de interés (figura 1).

■ **Figura 1.**
Representación esquemática del software HEC-HMS
Fuente: Falta



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES. DE SER POSIBLE

Cualquier flujo de masa o de energía en el ciclo se puede representar con un modelo matemático. En la mayoría de los casos, varias opciones de modelos están disponibles para representar cada flujo. Cada modelo matemático incluido en el programa es aplicable en diferentes ambientes y bajo diferentes condiciones. Tomar la decisión correcta requiere del conocimiento previo de la cuenca y de las metas del estudio hidrológico, así como de un juicio ingenieril correcto.

El programa ofrece un ambiente de trabajo totalmente integrado, incluyendo una base de datos, utilerías de la entrada de datos, el motor del cómputo y herramientas que muestran los resultados en forma numérica y gráfica. Una interfaz de uso gráfico permite el movimiento entre las diversas partes del programa. La funcionalidad y apariencia del programa son iguales a través de todas las plataformas de soporte y es ejecutable en entorno Microsoft Windows o Linux.

El modelo numérico HEC-HMS estima la avenida generada por una tormenta, utilizando modelos lluvia-escorrimento como el de Clark y Snyder. Es un programa de simulación hidrológica, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar hidrogramas de salida de una cuenca o varias subcuencas (escorrimento máximo y tiempo pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas, pérdidas por infiltración, escurrimiento base, etcétera.

Para la ejecución del modelo HEC-HMS se utiliza la abstracción inicial (Umbral de Escorrentía) y el método del Número de Curva (CN) del United States Soil Conservation Service (USSCS, 1957). Estos parámetros se muestran en los cuadros 2 y 3 (Aparicio, 2008).

CUADRO 2

Número de Curva CN						
Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento de suelo	Pendiente del terreno en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surco rectos	-----	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surco rectos	> 1	72	81	88	91
	Surco rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surco rectos	> 1	65	76	84	88
	Surco rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	< 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surco rectos	> 1	66	77	85	89
	Surco rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----		30	58	71	78
Bosque naturales						
Muy ralo	-----	---	56	75	86	91
Ralo	-----	---	46	68	78	84
Normal	-----	---	36	60	70	77
Espeso	-----	---	26	52	62	69
Muy Espeso	-----	---	15	44	54	61
Caminos						
De terracería	-----	---	72	82	87	89
Con superficie dura	-----	---	74	84	90	92

Fuente: Scharffenberg y Fleming, 2008; Aparicio, 2008.

CUADRO 3

Clasificación de los suelos	
Tipo de suelo	Textura de suelo
A	Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables
B	Arenas finas y limos
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla
D	Arcilla en grandes cantidades; suelos pocos profundos con subhorizontes de roca sana; suelos muy impermeables

Fuente: Scharffenberg y Fleming, 2008; Aparicio, 2008.

Para estimar la abstracción inicial (pérdida inicial) se utiliza la ecuación (1) (Arlen, 2000):

$$(1) \quad I_c = 0.2 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

El coeficiente numérico 0.2 de la ecuación (1) se basa en la hipótesis del United States Soil Conservation Service que considera que la pérdida inicial es el 20% de la escorrentía máxima del suelo. Si se acepta 0.2 se puede consultar indistintamente en tablas de CN o de **FALTA TEXTO**¿?.

Otro dato que utiliza el modelo HEC-HMS es el tiempo de concentración T_c , que se estima con la fórmula de Kirpich (2), la cual se expresa de la siguiente forma (Ponce, 1989):

$$(2) \quad T_c = 0.06628 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde L es la longitud del cauce principal en km y S es la pendiente promedio del cauce, adimensional; el modelo HEC-HMS sólo requiere el 60% del tiempo de concentración.

En el presente trabajo, la alimentación del modelo para su ejecución se hizo con datos de la caracterización hidrológica de las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa-Cotaxtla (cuadro 4). La fuente que proporcionó la información fue la Comisión Nacional del Agua (Conagua), a través del Organismo de Cuenca Golfo Centro. La información de estaciones hidrométricas y climatológicas

incluye datos de escala crítica (m) y lluvia (mm). Cabe mencionar que en la parte baja de la cuenca del río Actopan no se contó con datos de escurrimiento, por lo que no se introdujo al modelo información de escurrimiento base.

CUADRO 4

Datos de alimentación para el modelo HEC-HMS

Cuenca del río La Antigua	Cuenca del río Jamapa-Cotaxtla
Descarga inicial = 107.68 m ³ /s	Descarga inicial = 69.38 m ³ /s
Área = 2827 km ²	Área = 3912 km ²
CN=68	CN=68
Abstracción inicial=24 mm	Abstracción inicial =24 mm
Tiempo de concentración =9.48 hrs.	Tiempo de concentración =12.57 hrs.
Recesión = 0.9	Recesión = 0.9

• Descripción del modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo

El modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo es un estimador del escurrimiento, a partir de datos de precipitación efectiva; este modelo se representa por la ecuación de convolución discreta (Chow *et al.*, 1994).

$$(2) \quad Q_i = \sum_{k=1}^i U_k P_{i-k+1} \quad (i = 1, 2, \dots, NQ)$$

Donde Q_i es el escurrimiento directo en un intervalo de tiempo, U_k es la k-ésima ordenada del hidrograma unitario, P_{i-k+1} es la precipitación efectiva obtenida de los hietogramas, NQ es el número total de ordenas del gasto registradas en un intervalo de tiempo.

Asimismo, en todos los casos el número de ordenadas del hidrograma final está ligado al número de barras del hietograma, y al número de ordenadas del hidrograma unitario por medio de la ecuación (4):

(4)

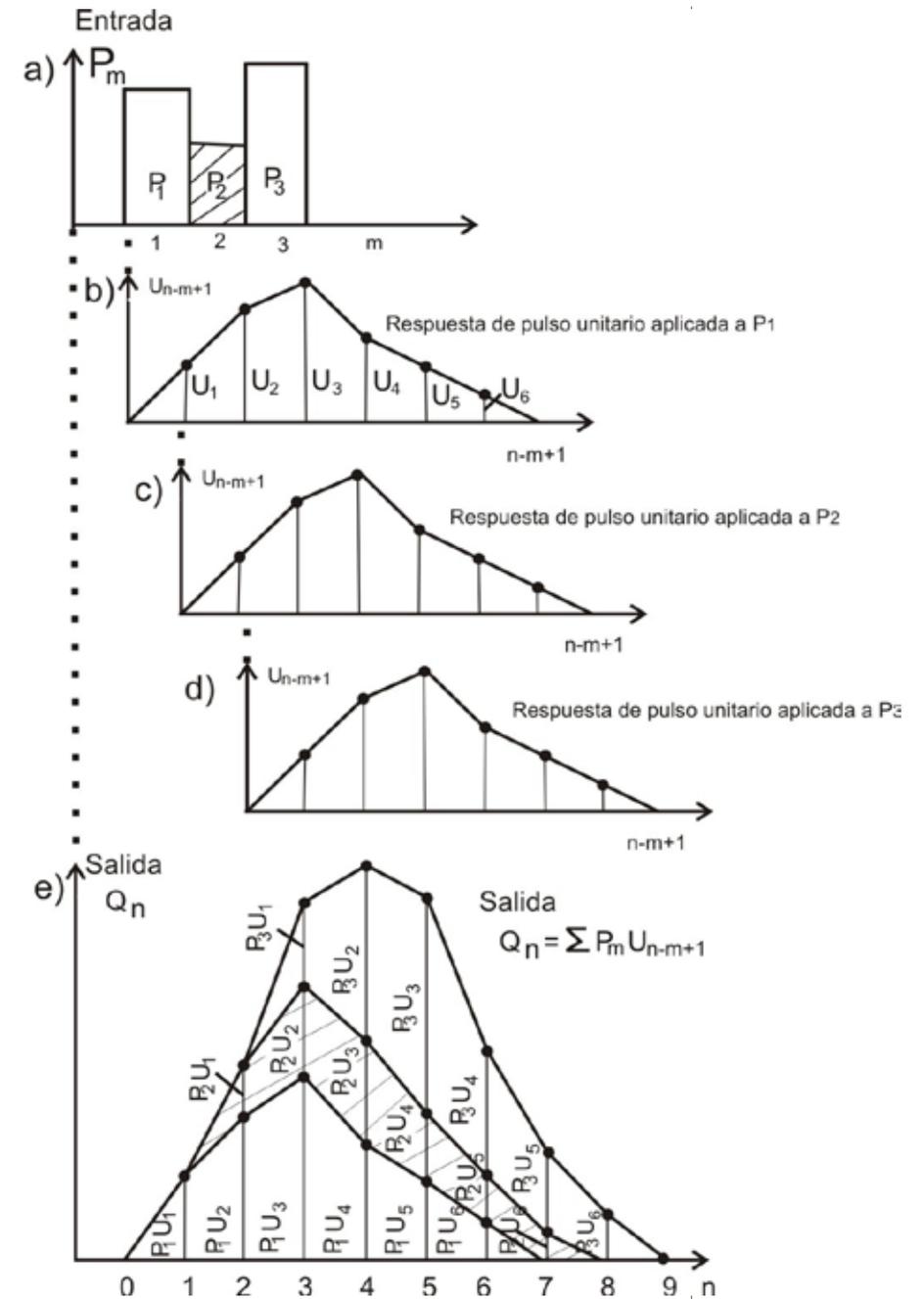
$$UN = NQ - NP + 1$$

El Hidrograma Unitarios Instantáneo toma en cuenta la distribución temporal de la lluvia, es decir, si se presenta una tormenta compleja como la del hietograma de la gráfica 10 a, con varios periodos de lluvia, con duración de exceso de **FALTA TEXTO;?**, entonces los hidrogramas parciales producidos por cada barra del hietograma son los mostrados en las gráficas 10 b, 10 c y 10 d y el hidrograma de la tormenta completa es el mostrado en la figura 3 (Chow *et al.*, 1994).

Resultados

Para resolver la ecuación de convolución discreta (ec. 1) se utilizó un programa en Fortran que resuelve dicha ecuación (Pérez, 2009). Para la realización de este trabajo también fue necesario utilizar los programas de cómputo: ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), Surfer 8 (Golden Software, 2006) y los modelos de elevación digital disponibles en la página web del INEGI, así como Microsoft Excel y Statistica (Statsoft, 2004) para el análisis de la información recolectada y la presentación de los resultados obtenidos.

Se encontró que la cuenca del río Jamapa-Coaxtla fue la que sufrió más daños a causa de un



■ **Gráfica 10.** Aplicación de la ecuación de convolución discreta a la salida de un sistema lineal
Fuente: Chow *et al.*, 1994

escurrimiento anormalmente alto, generado por la inundación, que alcanzó un gasto máximo de 481.57 m³/s registrado en la estación hidrométrica El Tejar el día 18 de septiembre de 2010, cuando el escurrimiento medio de ese mes fue de 138.65 m³/s. Asimismo, en la distribución de la lluvia en el tiempo (gráfica 11), la altura total de la precipitación de toda la zona de estudio coincide en que para el día 18 de septiembre se registró un valor máximo.

El hietograma de la gráfica 11 muestra que el huracán *Karl* dejó a su paso por Veracruz precipitaciones extremas, pero no fueron precipitaciones atípicas, lo que quiere decir que se han registrado valores similares en otras ocasiones. Estas precipitaciones generaron escurrimientos que causaron inundaciones y grandes pérdidas económicas y de vidas humanas; lo que pudo deberse al azolvamiento de los cauces de los ríos, y al crecimiento urbano en las zonas cercanas a los cauces en los últimos años, lo que ocasiona que lluvias menos

■ **Gráfica 11.** Precipitación promedio (mm/día) de la zona de estudio, generada por el huracán *Karl*, para el periodo del 12 al 23 de septiembre de 2010
Fuente: Falta

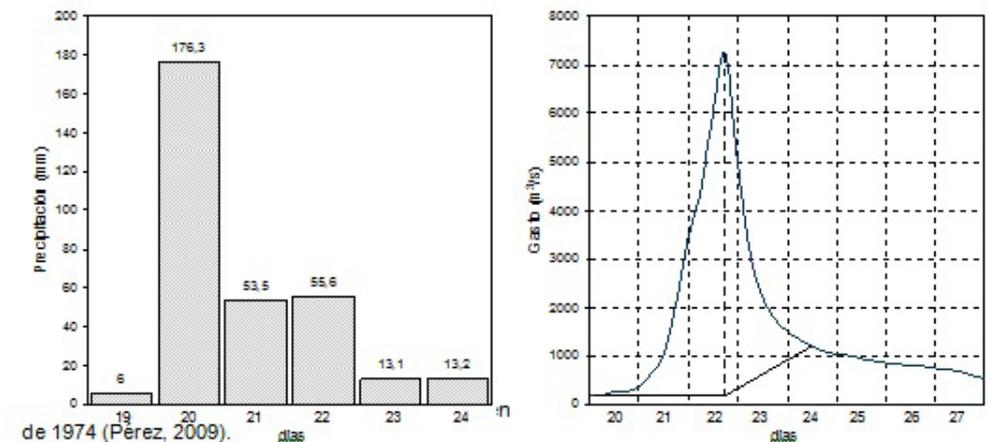


intensas puedan causar más daños debido a que hay menos infiltración, así como obstrucción del escurrimiento.

Cabe mencionar que en el estado de Veracruz ya se habían registrado precipitaciones similares a las que dejó *Karl*; por ejemplo, para la tormenta registrada del 9 al 14 de septiembre de 1974 en la cuenca del río Tecolutla, ocurrió el día 20 una precipitación promedio de 176.30 mm, que generó un escurrimiento de más de 7,000 m³/s (gráfica 12), el cual fue medido en la estación hidrométrica El Remolino (Pérez, 2009).

El mapa 39 muestra la distribución de la lluvia en toda la zona de estudio y, como se puede apreciar, la precipitación fue uniforme en la parte alta, que comprende las estaciones climatológicas de Las Vigas de Ramírez, La Joya, Xalapa, Coatepec, Teocelo, Huatusco e Ixhuatlán del Café, en la parte media, representada por Los Ídolos y Carrizal, y en la parte baja, Ciudad Cardel, El Tejar y Paso del Toro. El cambio en las isoyetas que mostró de una zona a otra se debe al desplazamiento del sistema y a la topografía del terreno. Debido a la intensidad y distribución de las lluvias ocurridas, y teniendo

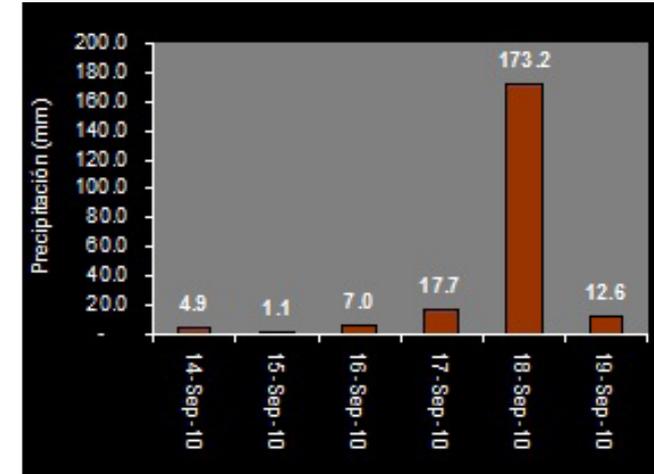
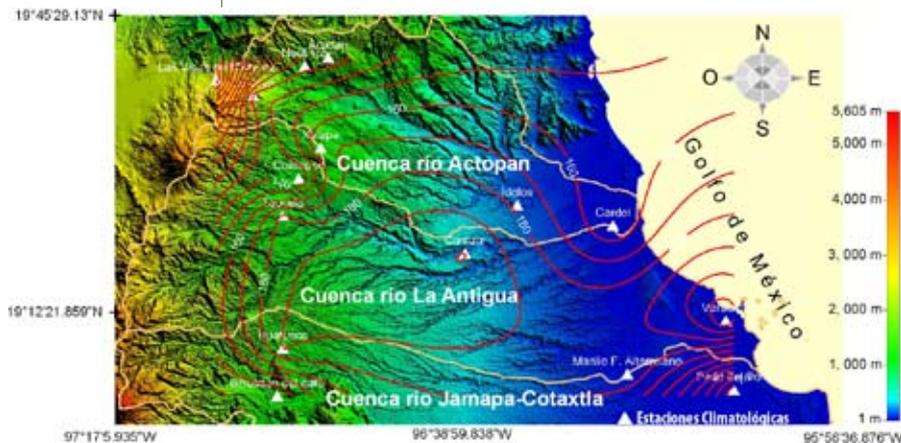
■ **Gráfica 12.** Hietograma e hidrograma de la tormenta registrada en la cuenca del río Tecolutla del 19 al 24 de septiembre de 1974 (Pérez, 2009)
Fuente: Pérez, 2009



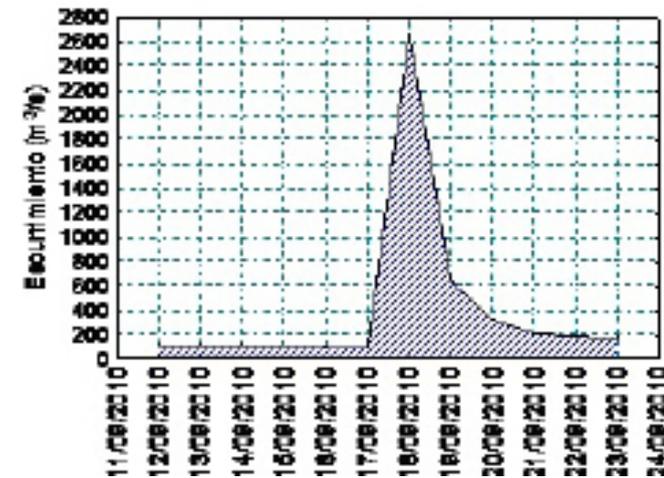
las cuencas en estudio una respuesta rápida a este fenómeno, era de esperarse un escurrimiento severo y repentino debido al cambio tan brusco que tiene la pendiente, que en menos de 60 km de longitud cambia de los 4 000 m, aproximadamente, a los 0 m en su desembocadura al mar.

En la gráfica 13 a se muestra la relación lluvia-escurrimiento para la cuenca del río La Antigua. Para obtener el hietograma promedio del 14 al 19 de septiembre de 2010 se tomaron los datos de precipitación de toda la cuenca del río La Antigua, y se encontró que el 18 de septiembre fue el día más lluvioso. Para el hidrograma (gráfica 13 b) se tomaron los días del 12 al 23 de septiembre de 2010; como se puede apreciar, el escurrimiento base de los primeros días fue de 107.68 m³/s y, entre el día 17 y 18, se incrementó de manera intensa, lo que dio como resultado un gasto máximo de 2,648.76 m³/s. Para el día 19 volvió a descender repentinamente y dio paso a un nuevo nivel de escurrimiento base, el cual fue descendiendo con el paso de los días por falta de lluvia en la parte alta. El descenso brusco de la curva del hidrograma indica que la cuenca del río La Antigua es de respuesta rápida con un buen drenaje al mar.

Mapa 39. Distribución de la lluvia en las tres cuencas hidrográficas
Fuente: Falta



Gráfica 13 a. Precipitación promedio (mm/día) registrada en la cuenca del río La Antigua, del 14 al 19 de septiembre de 2010
Fuente: Falta

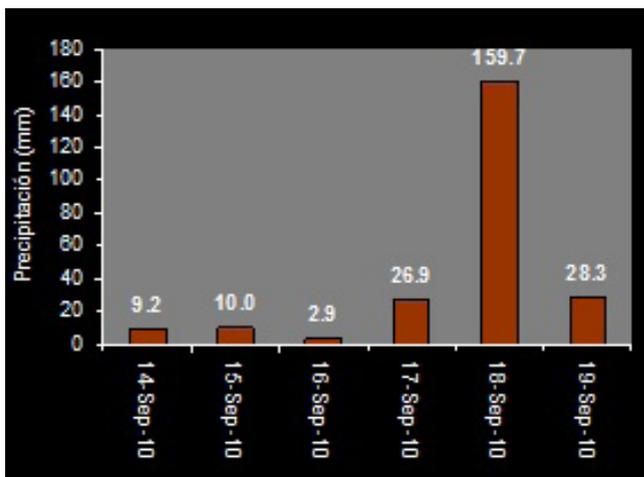


Gráfica 13 b. Escurrimiento (m³/s) reportado en la estación hidrométrica de Cardel, del 12 al 23 de septiembre de 2010
Fuente: Falta

La gráfica 14 a muestra el hietograma para la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla y la gráfica 14 b el hidrograma construido con los datos de los aforos de la estación hidrométrica El Tejar. En la gráfica 14 a se observa que la precipitación máxima de 159.17 mm se presentó el día 18 de septiembre, lo que generó un gasto máximo de 481.57 m³/s (gráfica 14 b), posteriormente a este dato se muestra la curva de descenso del hidrograma en forma discontinua, debido a la pérdida de datos durante la inundación generada por el huracán Karl.

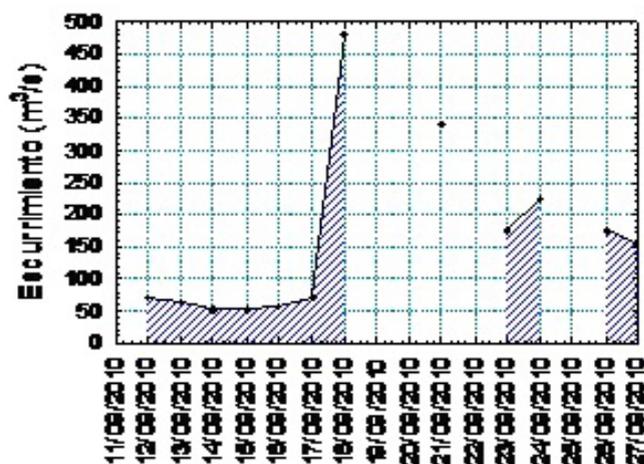
■ Gráfica 14 a.
Precipitación promedio (mm/día) en la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla, del 14 al 19 de septiembre de 2010

Fuente: Falta



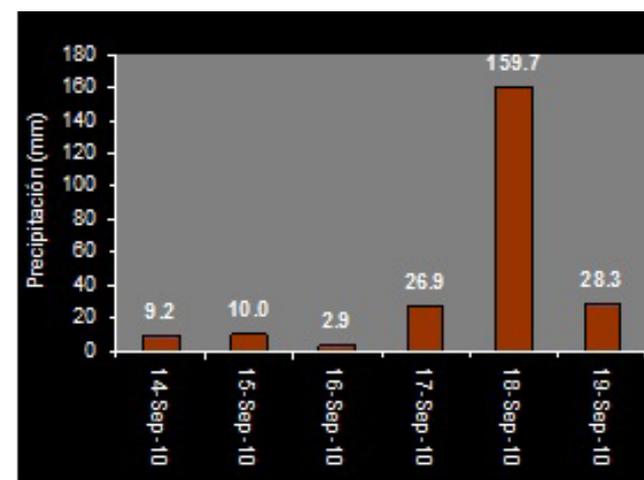
■ Gráfica 14 b.
Escorrentamiento (m³/s) reportado en la estación hidrométrica de El Tejar, del 12 al 23 de septiembre de 2010

Fuente: Falta



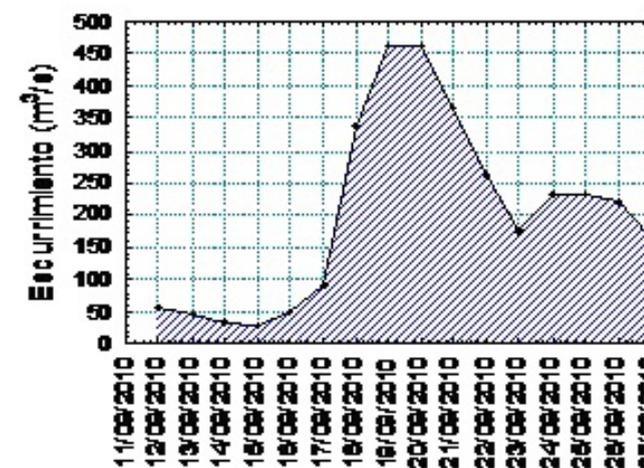
La gráfica 15 a muestra el hietograma para la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla y la gráfica 15 b muestra el hidrograma construido con los aforos de la estación hidrométrica Paso del Toro. La precipitación de 159.17 mm, registrada en la zona, también generó un escurrimiento máximo de 461.55 m³/s en la estación Paso del Toro (gráfica 15 b). En la figura 9 se observa que la curva de descenso tuvo un levantamiento, que fue originado por una segunda tormenta. Este levantamiento también se aprecia en el hidrograma de la estación El Tejar (gráfica 14 b), por lo que la deducción anterior es consistente.

En la gráfica 15 b se aprecia cómo el escurrimiento de la estación hidrométrica abarcó un área bajo la curva más grande a las anteriores, encontrando un gasto máximo para los días 19 y 20 del mes de septiembre, a pesar de que la precipitación acumulada no fue tan significativa como la del día 18 (gráfica 15 a), esto puede deberse a que el flujo no encontró su salida a tiempo como en las estaciones hidrométricas anteriores, debido a que una barrera de agua lo arremansó, produciendo una inundación más prolongada y causando daños socioeconómicos y ambientales en la zona.



■ Gráfica 15 a.
Precipitación promedio (mm/día) en la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla, del 14 al 19 de septiembre de 2010

Fuente: Falta

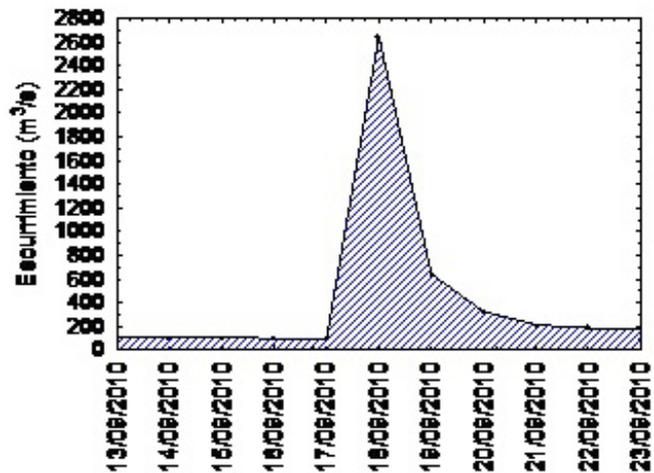
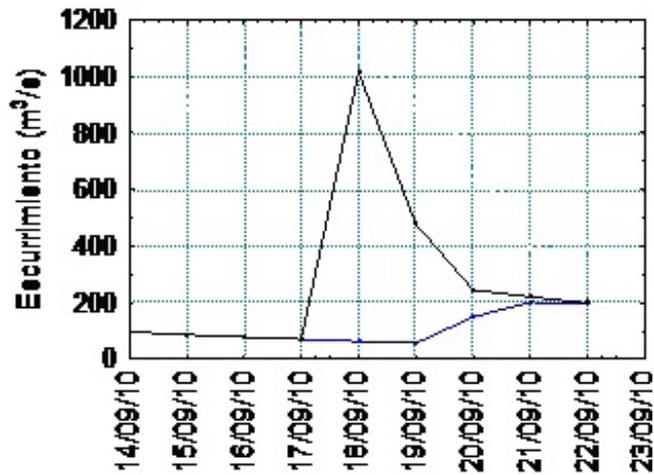


■ Gráfica 15 b.
Escorrentamiento (m³/s) reportado en la estación hidrométrica de Paso del Toro, del 13 al 23 de septiembre de 2010

Fuente: Falta

Simulación hidrológica

Las salidas del modelo HEC-HMS son muy aceptables, ya que simulan el gasto máximo para el mismo día 18 de septiembre, lo cual está de acuerdo con los datos observados (gráficas 16 y 17). En cuanto a la magnitud del escurrimiento máximo: para la estación hidrométrica Cardel el escurrimiento máximo simulado fue un 38% menor con respecto al observado (gráfica 16), mientras que para la estación hidrométrica El Tejar y Paso del Toro el gasto máximo simulado fue un 33% mayor

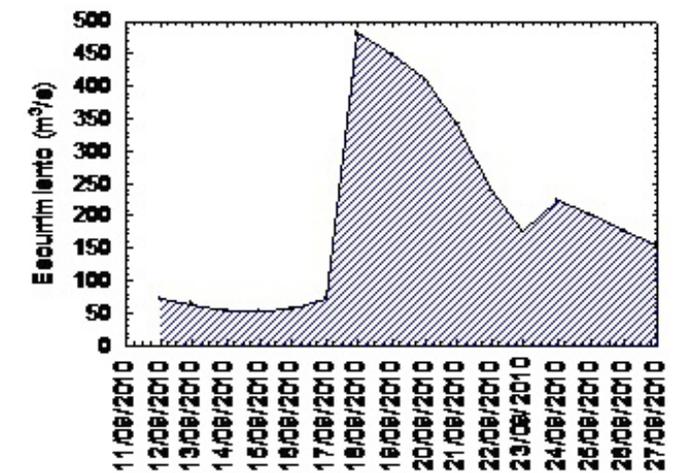
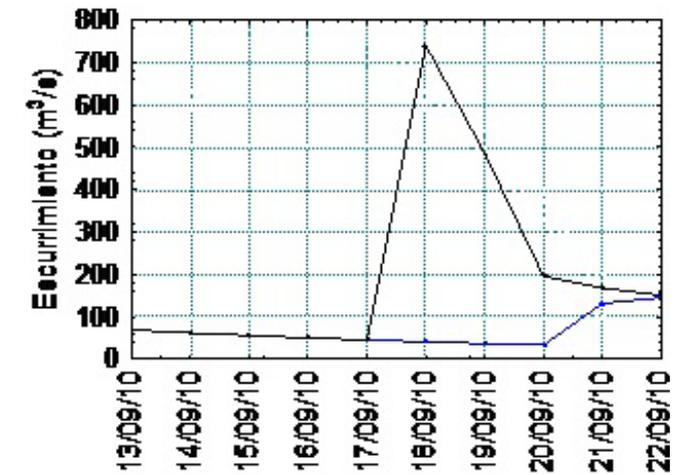


■ Gráfica 16 a. Escurrimiento estimado (m^3/s) en la estación hidrométrica de Cardel, cuenca del río La Antigua
Fuente: Falta

■ Gráfica 16 b. Escurrimiento observado (m^3/s) en la estación hidrométrica de Cardel, cuenca del río La Antigua
Fuente: Falta

al gasto observado (gráficas 17 y 18). Por otro lado el hidrograma observado para la estación hidrométrica Paso del Toro (gráfica 18 b) representa una retención del flujo, de tal manera que la curva se mantiene por más tiempo con un valor cercano a su valor máximo, y ésta decrece más lentamente.

El descenso de las curvas de las gráficas 17 b y 18 b se completaron con un promedio aritmético, de tal manera que éstas tuvieran continuidad. Los datos faltantes que se interpolaron fueron para los días 19, 20 y 22 (gráfica 17 b) y el día 16 de septiembre de 2010 (gráfica 18 b).

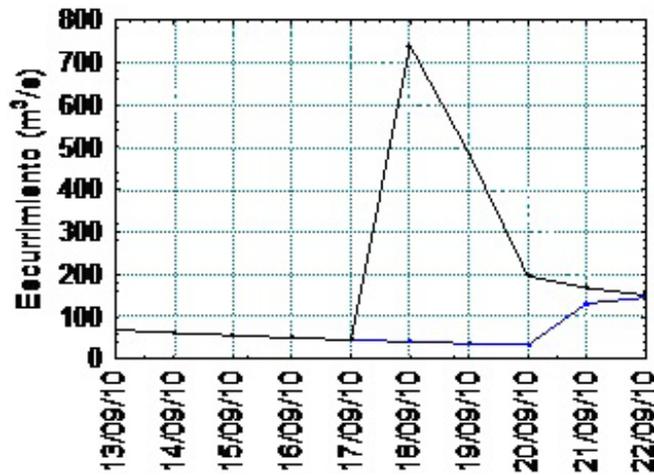


■ ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

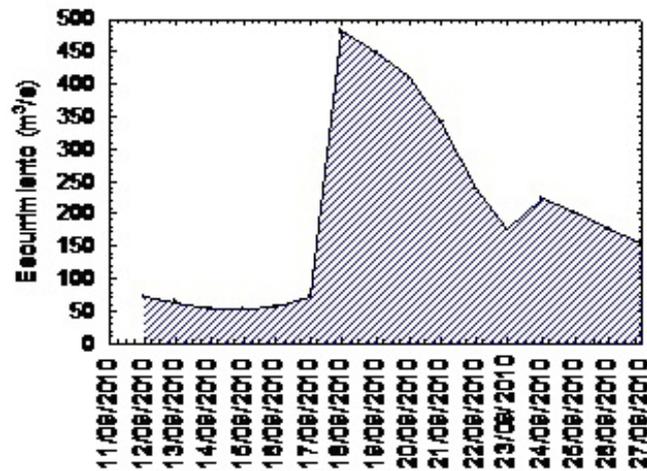
■ Gráfica 17 a. Escurrimiento estimado (m^3/s) en la estación hidrométrica El Tejar, cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

■ Gráfica 17 b. Escurrimiento observado (m^3/s) en la estación hidrométrica El Tejar, cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

■ **Gráfica 18 a.**
Escurrecimiento estimado (m³/s) en la estación hidrométrica Paso del Toro, cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta



■ **Gráfica 18 b.**
Escurrecimiento observado (m³/s) en la estación hidrométrica Paso del Toro, cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

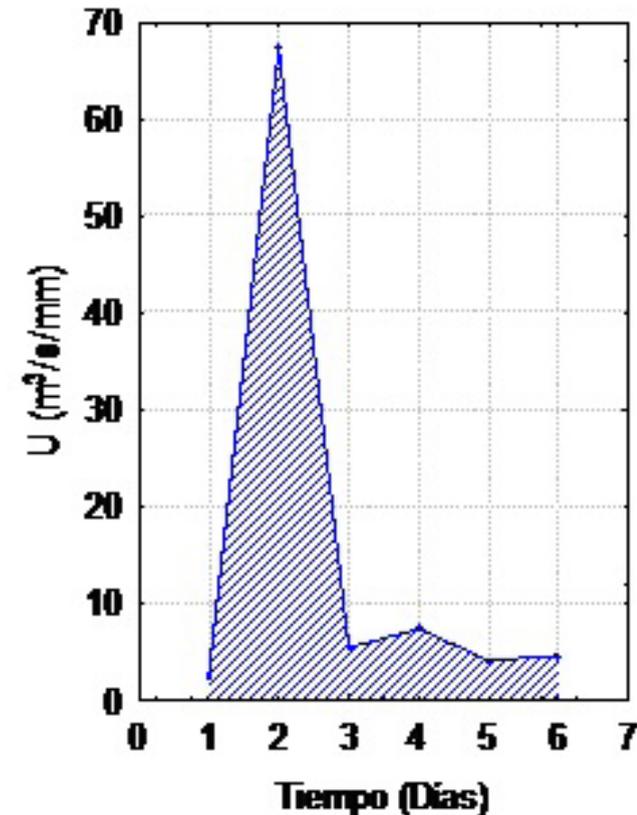


ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Para la simulación hidrológica, con el modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo se requiere conocer los datos de lluvia efectiva (hidrograma) y las ordenadas del HUI que se usarán en la simulación.

De los datos de precipitación y escurrecimiento registrados en la cuenca del río La Antigua se obtuvo lo que se conoce como la curva del HUI, luego con un lenguaje de programación de computadora Fortran 77 o Fortran 2000 se hizo el algoritmo que resuelve la ecuación (3). En la figura 19 a se aprecia la curva de las ordenadas del HUI, y con éste

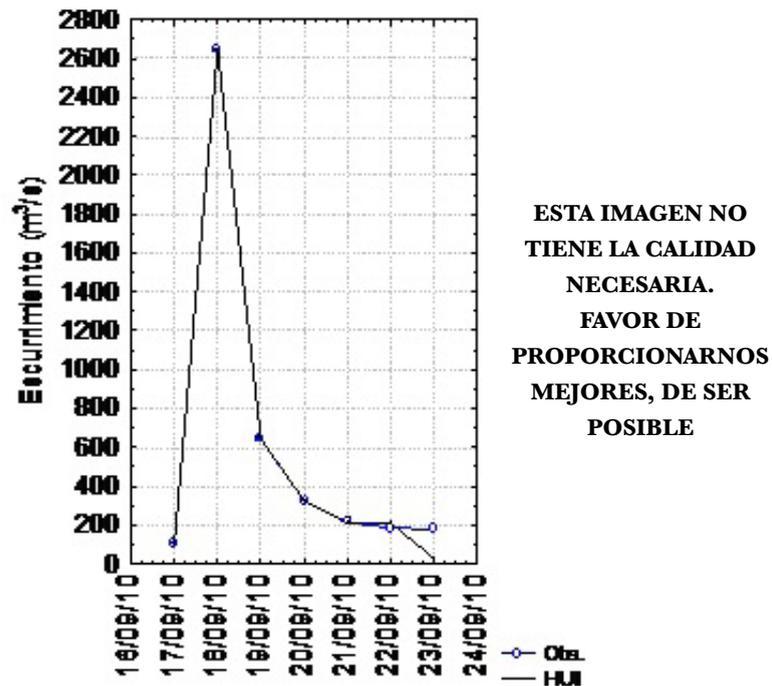
se pudo construir el hidrograma del escurrecimiento directo estimado y compararlo con el observado (gráfica 19 b), obteniéndose un error mínimo en el ajuste (gráfica 19 b), lo cual es lógico, ya que el HU fue generado con los mismos datos de la tormenta. Para tener un HU más representativo y confiable, que se pueda usar para otras tormentas, es necesario obtener varios hidrogramas unitarios y elegir los más representativos de la cuenca. Con las ordenadas de este hidrograma unitario se podrá estimar un nuevo escurrecimiento, sólo contando con datos de precipitación de una tormenta con características similares a las de este estudio.



■ **Gráfica 19 a.**
Hidrograma Unitario Instantáneo para la cuenca del río La Antigua, de los días del 17 al 23 de septiembre de 2010
Fuente: Falta

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

■ Gráfica 19 b. Comparación de los hidrogramas a) estimado por el modelo HUI (línea negra) y b) observados en la estación hidrométrica Cardel, cuenca del río La Antigua (línea azul)
Fuente: Falta



ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

Conclusiones

De los resultados generados por los modelos lluvia-escorrentamiento (gráficas 16 a, 17 a y 18 a), se puede concluir que éstos simularon bien los escurrimientos máximos observados en las estaciones hidrométricas Cardel, Paso del Toro y El Tejar; la primera en la cuenca del río La Antigua y las dos últimas en la cuenca del río Jamapa. Estos modelos podrían ser utilizados para la planeación, ya que permiten pronosticar los escurrimientos de las cuencas hidrológicas a partir de modificaciones en la misma. Sin embargo, para poder utilizar el potencial de los modelos utilizados, se requiere de una buena instrumentación en las cuencas hidrográficas, que permita obtener información suficiente, además de consistente y confiable, de los diferentes parámetros hidrológicos que se requieren en la simulación numérica.

Escenarios propiciatorios de las inundaciones en la zona costera de Veracruz: el caso de la cuenca del río Jamapa

Leonardo Ortiz-Lozano
Javier Bello-Pineda

SEPARADOR COMO
BIODIVERSIDAD MARINA
CON UNA FOTO
QUE SIRVA COMO
SEPARADOR

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de desastres en México es una de las principales causas de pérdidas patrimoniales para la población. La inversión de recursos públicos en la atención de víctimas y la reconstrucción de zonas afectadas por estos eventos representó para el año 2010 un monto aproximado de veinticinco mil millones de pesos mexicanos (Hofliger Topete, en Imagen del Golfo, 2010), los cuales se suman al valor incalculable de la pérdida de vidas humanas.

La magnitud e importancia de estos eventos en países tropicales en desarrollo es alta debido al grado de vulnerabilidad social de los habitantes de estas naciones, en condiciones de pobreza tales que los obligan a habitar en zonas identificadas como riesgosas ante la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos (Wisner, 2003).

Las inundaciones ocurridas en septiembre de 2010 en la región centro del estado de Veracruz resultaron ser uno de los eventos catastróficos más significativos en la historia del estado. Provocadas por la excesiva precipitación pluvial originada por el huracán *Karl*, estas inundaciones afectaron a miles de habitantes y dejaron evidencia de la carencia de estrategias públicas adecuadas para la protección de la población civil.

A pesar de contar con un antecedente similar inmediato, representado por las inundaciones generadas en la misma zona por el huracán *Stan* en 2005, cinco años no fueron suficientes para asimilar en la conciencia colectiva y en la práctica gubernamental las lecciones aprendidas para evitar que este tipo de fenómenos afectara nuevamente a la población.

Ante esta situación, surgen interrogantes desde diversos ámbitos que ponen sobre la mesa de discusión la eficacia de las aproximaciones técnico-científicas y administrativas empleadas en la planeación del desarrollo urbano y rural en el estado de Veracruz, y sobre todo la forma en que son diseñadas las políticas públicas de protección civil y de desarrollo urbano.

Siendo México un país altamente expuesto a fenómenos naturales potencialmente desastrosos, es necesario contar con instrumentos de planeación adecuados para reducir la vulnerabilidad de los habitantes ante éstos, de forma tal que sea factible discernir hasta dónde pueden generarse políticas públicas y acciones que prevengan la influencia de la naturaleza sobre el bienestar humano.

En el presente capítulo se plantea una aproximación conceptual para el análisis de los factores involucrados en la generación de un desastre como el ocurrido en septiembre de 2010 en el estado de Veracruz por el paso del huracán *Karl*, al tiempo que se introduce el uso de herramientas metodológicas como el análisis multicriterio para la identificación de escenarios propiciatorios y para la toma de decisiones en materia de política pública. Se explora la aplicabilidad de la teoría de escenarios propiciatorios al manejo de cuencas hídricas, considerando como estudio de caso la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla.

Marco conceptual.

Desastres y escenarios propiciatorios

Un desastre puede ser definido como un impacto rápido, profundo o instantáneo del sistema ambiental

sobre el sistema socioeconómico (Alexander, 1999). Para su ocurrencia es necesaria la presencia de un factor ambiental y un factor humano, de forma tal que si no existe la pérdida de vidas o bienes humanos, entonces, más que a un desastre, podemos referirnos a un fenómeno natural (Shimoyama, 2002).

Esta interacción entre el ser humano y la naturaleza en la construcción de los desastres, adquiere gran relevancia cuando una nación, estado o municipio se ve afectado continuamente por este tipo de tragedias y sobre todo cuando existe la necesidad de generar estrategias que disminuyan su ocurrencia. Por lo tanto, la construcción de políticas públicas adecuadas debe pasar por el entendimiento de la relación entre ambos componentes.

Para identificar las diferentes causas de los desastres es necesario separar los componentes que los integran, tomando como referencia el concepto de escenarios propiciatorios (Funtowicz y Ravetz, 1991; Peynador y Escofet, 2009), los cuales se conforman por la presencia de los factores físicos apropiados que, en conjunto con ciertas prácticas de manejo que son coherentes con políticas públicas particulares, se combinan para que un desastre ocurra (esquema 2); es decir, la combinación de las condiciones ambientales adecuadas con las decisiones humanas erróneas en el uso y manejo del territorio y sus recursos es la principal causa que genera las catástrofes.



Toma de decisiones y análisis multicriterio

Una forma de abordar el concepto de escenarios propiciatorios es a través del Análisis Multicriterio (AMC), el cual permite la integración de rangos o parámetros de referencia provenientes de diferentes disciplinas o enfoques, en la generación de Árboles de Decisión (AD). Este campo de estudio relativamente nuevo, denominado Toma de Decisiones Multicriterio (TDMC), incluye una variedad de métodos y herramientas para abordar problemas de planeación y asignación de recursos que envuelven tanto criterios como objetivos múltiples.

Las herramientas para el AMC se han utilizado en una variedad de campos que van desde análisis económicos hasta el análisis de impacto ambiental, pues proveen un marco sistemático para evaluar alternativas de acuerdo a criterios y preferencias muy variables. Considerando la relevancia del contexto espacial en la toma de decisiones, los denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han constituido en una de las principales herramientas para dicho proceso, debido a que son instrumentos poderosos de análisis espacial que permiten integrar datos de diversas fuentes y con una diversidad de formatos.

En los últimos años, los SIG han desarrollado herramientas de despliegue cartográfico para incorporar las virtudes de las herramientas de AMC, constituyendo los denominados Sistemas de Soporte para la Toma de Decisiones Espaciales (SSTDE).

Los SSTDE son sistemas computarizados destinados a mejorar el entendimiento de las interrelaciones entre variables cuantitativas y cualitativas,

tanto biofísicas, como socioeconómicas e institucionales, lo que permite mejorar la toma de decisiones espaciales.

Los SSTDE han sido utilizados en diversas áreas, en la elaboración de inventarios y mapas de distribución de recursos; en la evaluación de aptitud de uso de estos recursos; en la evaluación de costo-beneficio de toma de decisiones de manejo; en la optimización de objetivos múltiples, y en procesos de asignación de recursos y zonificación de áreas protegidas y en ordenamientos territoriales (Westmacott, 2001). Sin embargo, los SSTDE no pueden catalogarse dentro de estructuras rígidas, puesto que su implementación pertenece a un campo relativamente innovador y en franco desarrollo, para lo cual no existe un marco metodológico estricto, sino que ofrece múltiples oportunidades de investigación y búsqueda de aplicaciones a la resolución de problemas de decisión, pues su misma naturaleza multidisciplinaria le confiere flexibilidad y capacidad de incorporar nuevos elementos.

Método

Nuestro análisis parte del supuesto de que la conjunción de condiciones ambientales, por un lado, y las prácticas de manejo, por otro, generan los escenarios propiciatorios que hacen más o menos susceptibles a los poblados a lo largo de la cuenca Jamapa-Cotaxtla al efecto de diferentes tipos de inundaciones. También consideramos que el contexto espacial es determinante y que es posible modelar conceptual y espacialmente dichos escenarios mediante la integración de herramientas de análisis espacial y de análisis multicriterio.

Como caso de estudio, ejemplificamos el análisis de escenarios propiciatorios en la cuenca Jamapa-Cotaxtla, considerando por una parte algunas de las variables ambientales (físicas) que los componen y ciertas prácticas de manejo del territorio involucradas en la ocurrencia de los desastres.

Como herramientas del análisis, en el presente trabajo se integran dos tipos de *software*. Por un lado la plataforma Arc Map 9.3, que se utilizó para preparar gran parte de la información y para el despliegue de resultados; por otro lado se utiliza por primera vez en un caso de estudio, el *software* TreeDSS (Bello *et al.*, 2010), el cual recientemente fue desarrollado conjuntamente por el sector académico (Universidad Veracruzana) y la sociedad civil organizada (Pronatura, A.C.) para simular modelos espaciales de escenarios propiciatorios que permitan evaluar la susceptibilidad a diferentes tipos de inundaciones de los poblados costeros dentro de la cuenca Jamapa-Cotaxtla.

El *software* TreeDSS permite construir AD combinando múltiples criterios para llegar a soluciones. Tanto los criterios, sus rangos de variación, el orden en que son combinados y las soluciones son determinados por el usuario, por lo que la calidad de dichas soluciones depende enteramente de la calidad de los datos analizados y de la selección adecuada de los criterios y sus rangos por el mismo usuario o grupo de usuarios. En pocas palabras, este *software* permite construir problemas de decisión poco estructurados y utilizar valores tanto cualitativos como cuantitativos para codificar el conocimiento experto.

Los AD son bases de conocimiento organizadas en estructuras jerárquicas que son usadas para simular el razonamiento de un experto evaluando la

relevancia de un criterio a la vez en orden descendente de importancia (Rossiter, 1990). En la práctica, desarrollar modelos de evaluación usando el enfoque de AD consiste en codificar el conocimiento experto en términos de una jerarquía de reglas de decisión (Wandahwa y van Ranst, 1996). Los AD son especialmente útiles para desarrollar modelos de evaluación de aptitud de unidades de análisis respecto a diferentes escenarios de uso potencial o real, pero este enfoque puede ser aplicable de manera analógica a la evaluación de vulnerabilidad de unidades similares ante diferentes amenazas. Cuando se construyen AD las ramas representan posibles decisiones que se toman, dependiendo de los valores que cumplan requerimientos particulares (Ponce-Hernández, 1998). Las decisiones alcanzadas pueden servir para generar campos en tablas asociadas con mapas temáticos que permiten su integración a un SIG para su despliegue e incorporación a proyectos.

La metodología utilizada para la evaluación de los escenarios propiciatorios de inundaciones en la cuenca Jamapa-Cotaxtla fue dividida en tres etapas:

1. Preparación de información para el análisis espacial.
2. Generación de modelos conceptuales de los escenarios propiciatorios.
3. Representación espacial de los escenarios propiciatorios.

En estas etapas, se distinguen los componentes de los escenarios propiciatorios, de tal forma que se analizan por una parte las variables ambientales (el escenario físico) y por otra las prácticas de ma-

nejo territorial que contribuyen, en conjunto con las primeras, a la creación de escenarios propiciatorios de un desastre.

1. Preparación de información para el análisis espacial

La primera etapa del análisis espacial fue llevado a cabo utilizando el programa Arc Map 9.3 como la plataforma SIG para preparar la información de manera cartográfica, integrar información espacial de diferentes fuentes y, en su caso, corregir y estandarizar productos para hacerlos compatibles de modo que pudieran hacerse operaciones entre capas de información. Para la generación de los modelos, los datos se prepararon como capas de información en formatos raster y vectorial. Las capas generadas incluyeron variables biofísicas, socioeconómicas y división política.

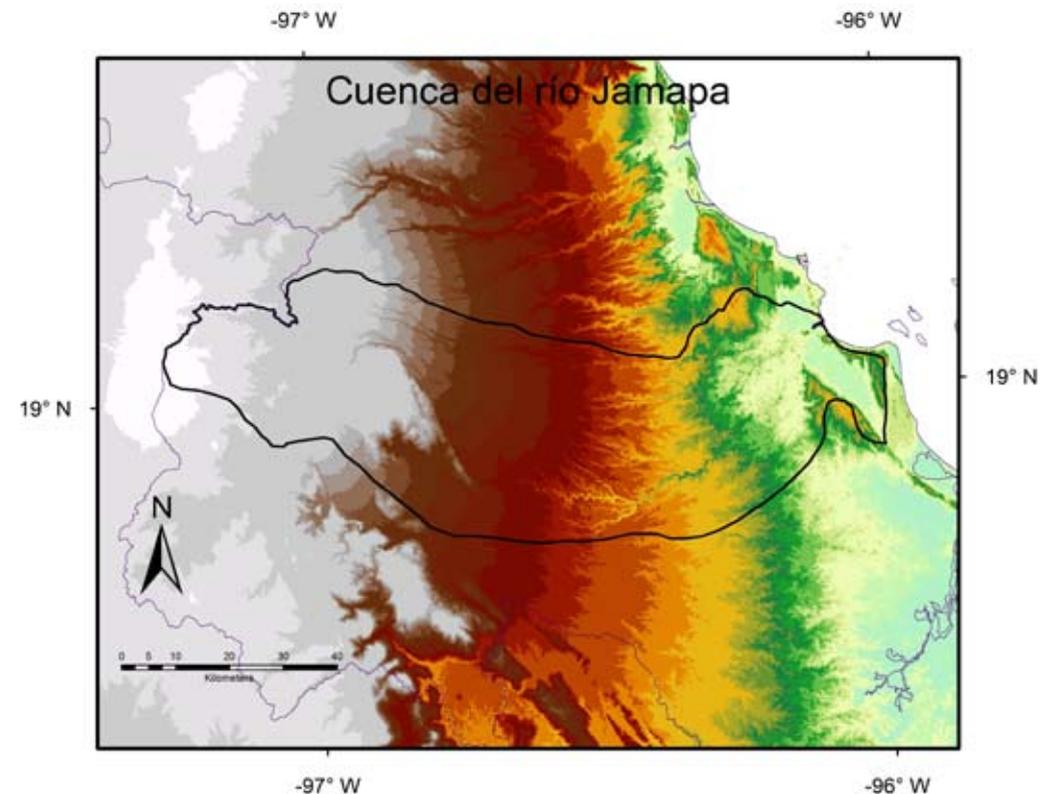
- **Variables Ambientales (escenario físico) y delimitación del área de estudio**

Se eligieron dos variables físicas relevantes para el análisis de procesos de inundación en zonas costeras. Por una parte, se consideró la elevación sobre el nivel medio del mar como una variable determinante para este fenómeno (McGranahan *et al.*, 2007), y por otra la pendiente del terreno como factor partícipe de la magnitud e impacto de los escurrimientos extraordinarios (Wisner, 2003). Para el análisis de ambas variables se utilizó como insumo un Modelo Digital de Elevación (MDE) en formato “raster” con una resolución espacial de 90

m (mapa 40), el cual fue obtenido del Consortium for Spatial Information, CGIAR (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Utilizando este MDE y las herramientas de “análisis hidrológico” disponibles en el *software* Arc Map 9.3, se generaron mapas de pendiente, contorno y aspecto. Con esta información y una capa vectorial de la línea de costa (Bello, 2009) se definieron, a su vez, los límites de la cuenca Jamapa-Cotaxtla y la dirección y acumulación de flujo de la cuenca (mapa 40). Los mapas fueron reclasificados para definir categorías de pendientes y recortar el área de análisis a la cuenca. Todos estos archivos fueron transformados a formato vector para realizar la siguiente etapa del análisis.

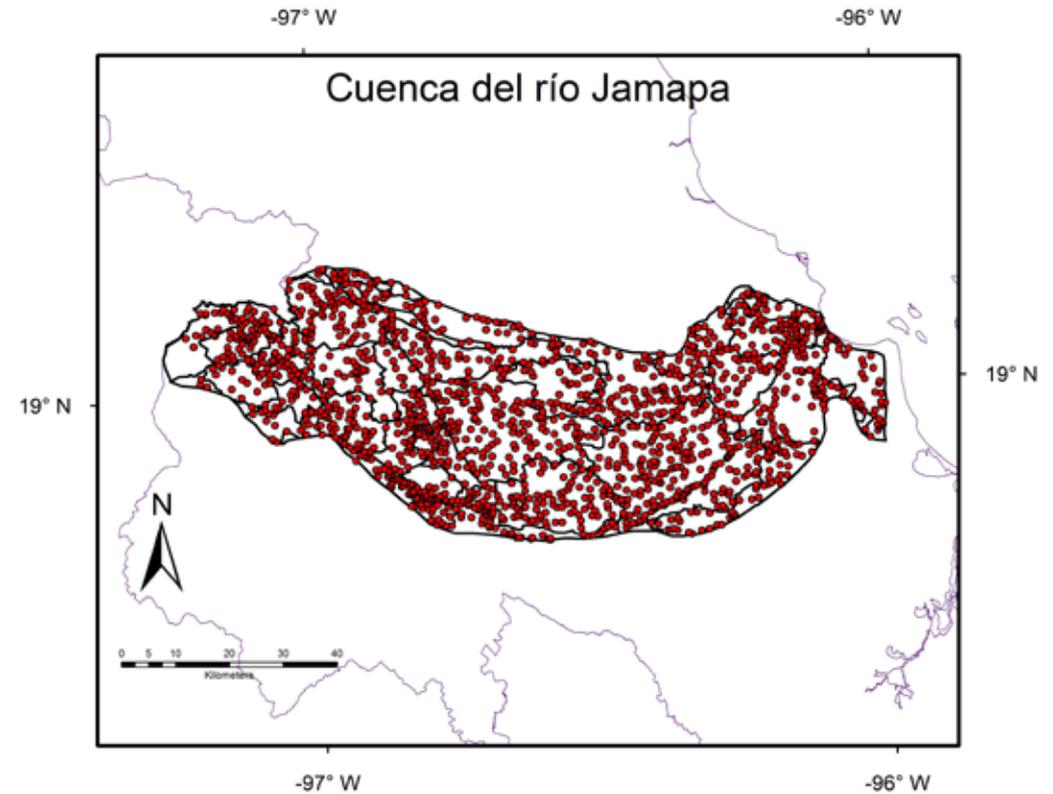
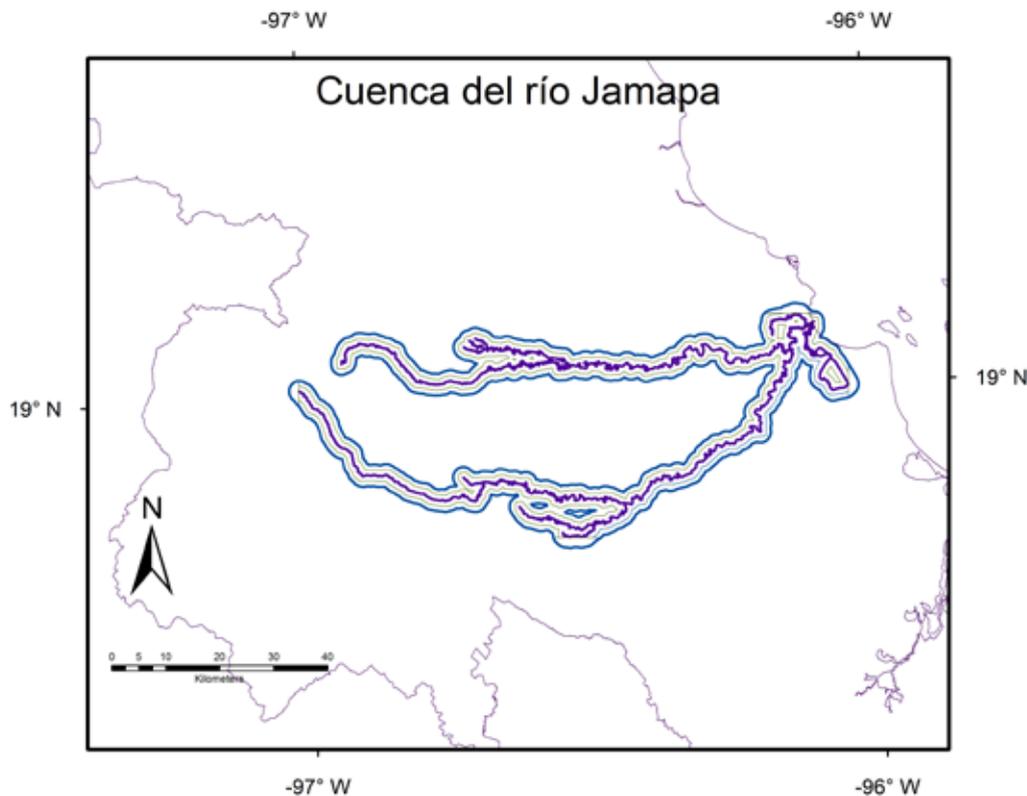
■
Mapa 40.
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta



- *Prácticas de manejo del territorio (variables socioeconómicas)*

La variable de mayor relevancia en la generación de los escenarios propiciatorios es la distancia de los poblados a los afluentes principales. Para estudiar esta variable, se utilizó una capa vectorial de los ríos pertenecientes a la cuenca. Utilizando la herramienta de “distancia” de Arc Map 9.3 y el vector de ríos se generó un mapa de buffer de 1, 2 y 10 km y se transformó a formato vector (mapa 41); y sobre éste se sobrepuso una capa conteniendo la ubicación de los poblados de la zona de estudio (mapa 42), con el fin de identificar cuáles de ellos se encuentran dentro de estas distancias.

■ **Mapa 41.**
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta



■ **Mapa 42.**
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

Los datos socioeconómicos en formato tabular se obtuvieron del Instituto Nacional de Ecología (2006) y fueron asociados a una capa vectorial de poblados para su despliegue. Dicha tabla incluyó información sobre población total, población por sexo, personas económicamente activas, habitantes por vivienda, índice y grado de marginación.

La capa de poblaciones fue sobrepuesta con las capas de clases de pendiente, altitud y distancia a ríos y su base de datos actualizada, con lo que a la base de datos original se le adicionaron los campos de altitud, pendiente y distancia al río. Esta base se constituyó en el insumo principal para la siguiente etapa de análisis.

2. Generación de modelos conceptuales de los escenarios propiciatorios

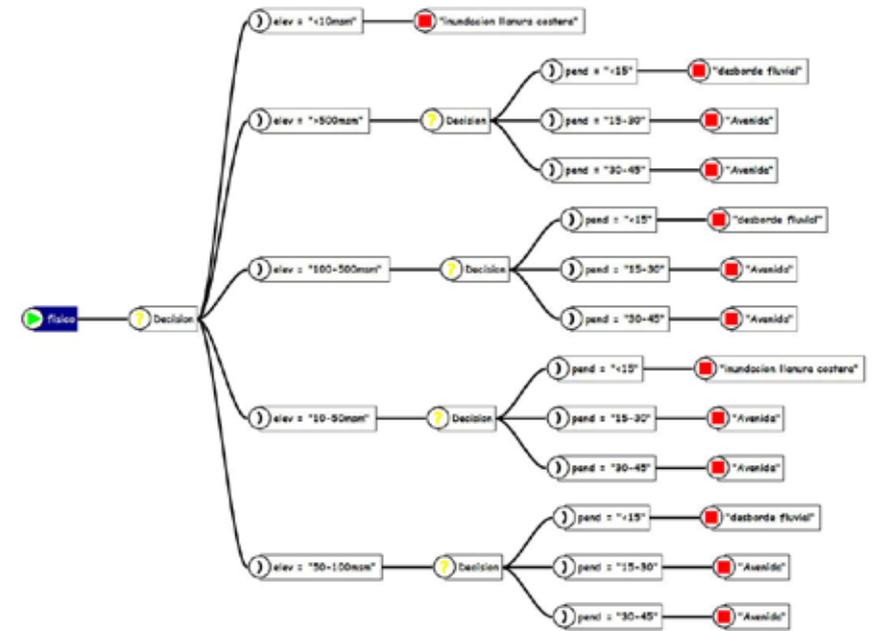
Para generar los modelos conceptuales representando los escenarios propiciatorios se utilizó el *software* TreeDSS. Esto consiste básicamente en construir AD combinando múltiples criterios para llegar a soluciones. Para construir los Árboles de Decisiones utilizamos como insumo la base de datos de los poblados que contiene la información generada del cruce con las capas de información biofísica y socioeconómica.

Se generaron tres árboles de decisión; el primero, denominado “físico” (AD 1), considera los criterios de elevación sobre el nivel del mar y pendiente del terreno para definir el tipo de inundación a la cual es susceptible el sitio (esquema 3).

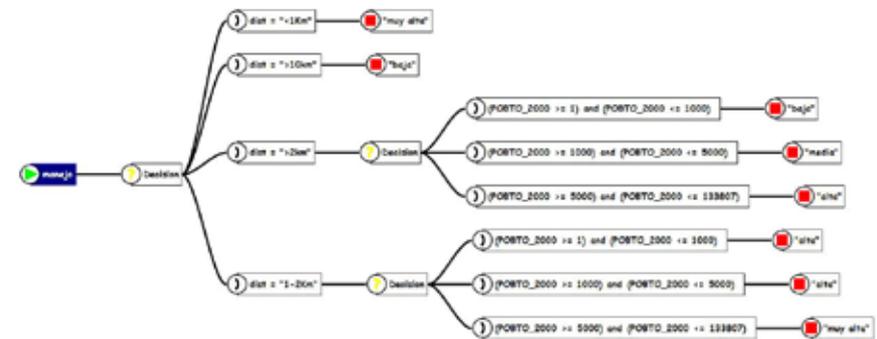
El segundo AD, denominado “manejo” (AD 2), considera la distancia existente entre los poblados y los principales afluentes, y el número de habitantes de cada poblado. De tal forma, se asignan rangos de susceptibilidad ante procesos de inundación (esquema 4).

La integración del componente ambiental (AD 1) con el componente de manejo del territorio (AD 2), da como resultado un tercer AD (esquema 4), que es el correspondiente a la representación práctica del marco conceptual de los escenarios propiciatorios (AD 3) que se presenta en el esquema 2.

Una vez construidos los AD en el programa TreeDSS, se corrió el proceso de análisis y se generó la tabla de resultados con los tres campos de salida correspondiente a los tres árboles analizados. A partir de esto, se construyeron las salidas cartográficas correspondientes para cada análisis.



Esquema 3.
Fuente: Falta



Esquema 4.
Fuente: Falta



Esquema 5.
Fuente: Falta

3. Representación espacial de los escenarios propiciatorios

Utilizando el módulo de despliegue del TreeDSS los resultados fueron exportados y desplegados automáticamente con el *software* Arc Map 9.3, en el que posteriormente se integraron al proyecto junto a los datos espaciales ya existentes para su posterior análisis.

Resultados y discusión

La ocurrencia de desastres provocados por fenómenos meteorológicos en Veracruz ha sido recurrente a lo largo de la historia del estado (Cuevas y Navarrete, 2006; Gómez-Ramírez, 2006). Si bien es complicado explicar las causas que se conjuntan para construir la elevada vulnerabilidad de la población veracruzana ante estos embates de la naturaleza, es factible encontrar *grosso modo* los factores responsables.

Para identificar dichos factores, en este capítulo analizamos la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla, en la región central del estado de Veracruz, usando el marco conceptual de los escenarios propiciatorios. Este marco permite distinguir los componentes ambientales y humanos, de forma tal que es posible establecer las causas que pueden ser atribuibles en gran medida a “la naturaleza” (escenario físico) y las que pueden ser responsabilidad netamente humana (prácticas de manejo).

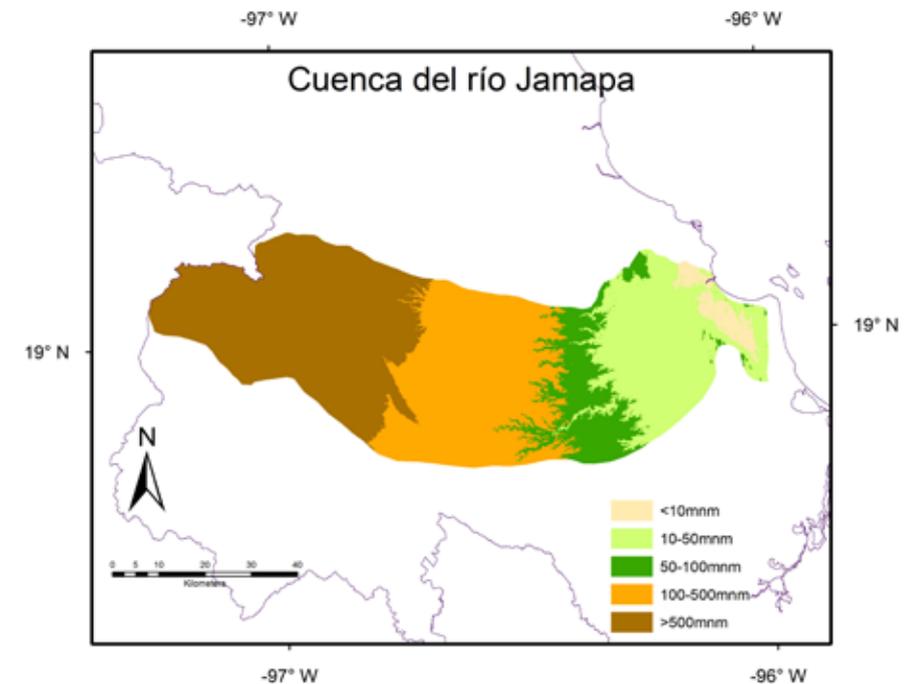
El escenario físico en la cuenca Jamapa

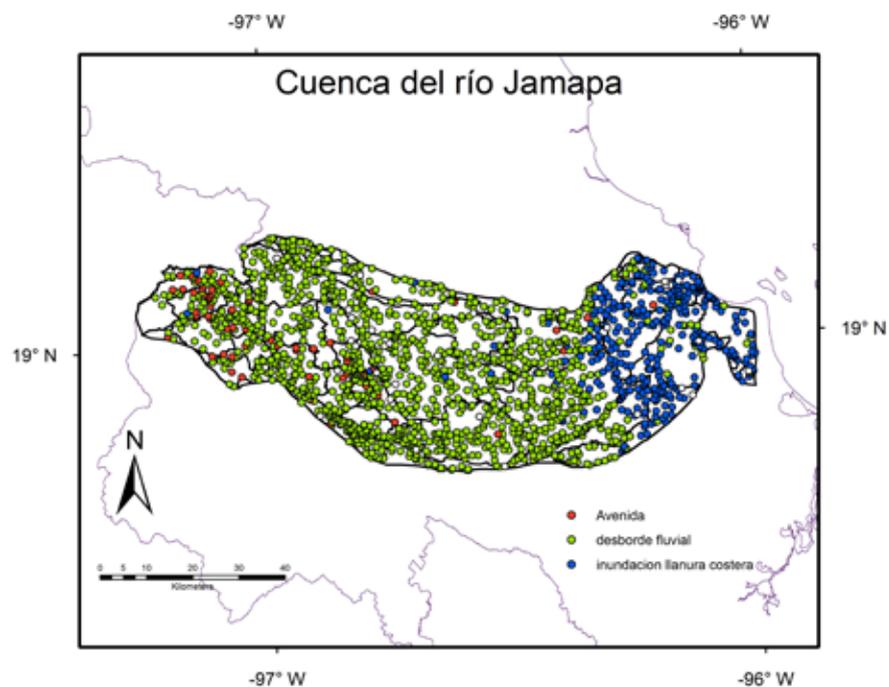
El territorio de la porción central del estado de

Veracruz cuenta con una geomorfología compleja, siendo dominado por la constricción de la planicie costera del Golfo de México ocasionada por la estribación oriental del Eje Neovolcánico Transversal (Ortiz-Lozano *et al.*, 2010). Dentro de esta región, la cuenca del río Jamapa es altamente heterogénea en cuanto a elevación sobre el nivel del mar y también con respecto a las pendientes del terreno. En el mapa 40 se observa que las pendientes son bajas (menores a 15°) en la cercanía de la costa y abruptas (mayores a 15° y hasta 30°) en la cabeza de la cuenca hidrológica.

En el mapa 43 se observan los rangos altitudinales de la cuenca, resaltando la división de ésta en tres grandes rangos de elevación: una tercera parte conformada por tierras altas con elevación mayor a los 500 msnm; una tercera parte central con elevaciones entre los 100 y los 500 msnm, y una región de planicie costera con tierras entre los 0 y los 100 msnm.

■ Mapa 43.
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta





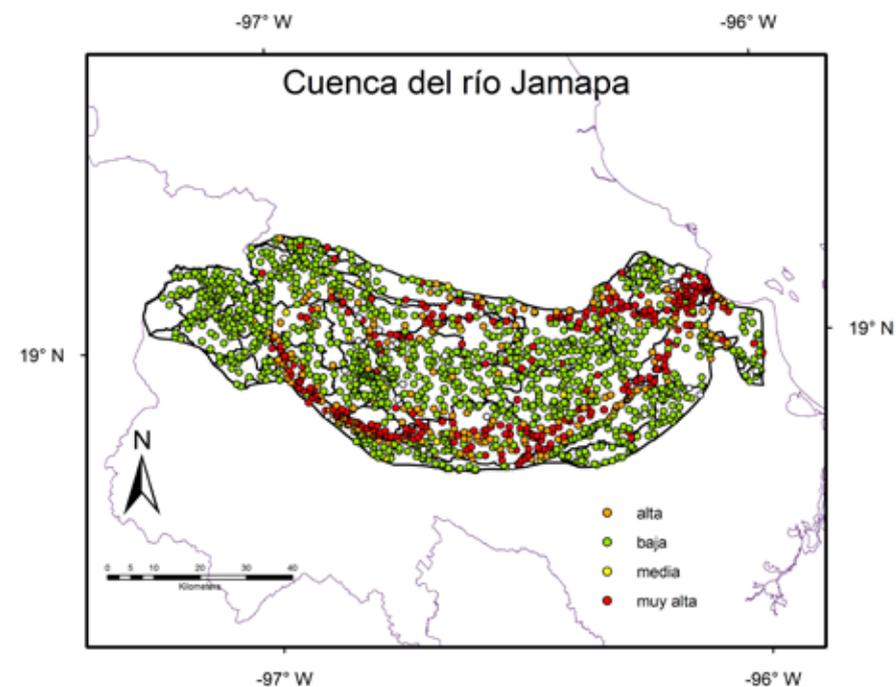
■ **Mapa 44.**
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

A partir del Árbol de Decisiones 1 (AD1, esquema 3), en el mapa 44 se observan los tipos de inundación a los cuales son susceptibles los poblados de la cuenca. Estas inundaciones están determinadas por la pendiente y la elevación del terreno, y representan el escenario físico que predispone a la generación de un desastre.

Prácticas de manejo del territorio

Si bien el escenario ambiental está “listo” para la ocurrencia de un desastre, son las prácticas de manejo del territorio las que actúan como catalizadores de la tragedia.

En el mapa 45 se observa la representación cartográfica del AD2 (esquema 4), en la cual se considera la presencia de asentamientos humanos en la



■ **Mapa 45.**
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

cuenca y la distancia que estos guardan con respecto a los afluentes principales. La severidad de un evento de inundación que pudiera afectar a estos poblados dependerá de la distancia que guarden con respecto a los cauces de los ríos y al número de habitantes de cada localidad, por lo que se puede apreciar el grado de severidad que pudiera presentarse a lo largo de los poblados de la cuenca.

Integrando el escenario propiciatorio: alcances y consecuencias

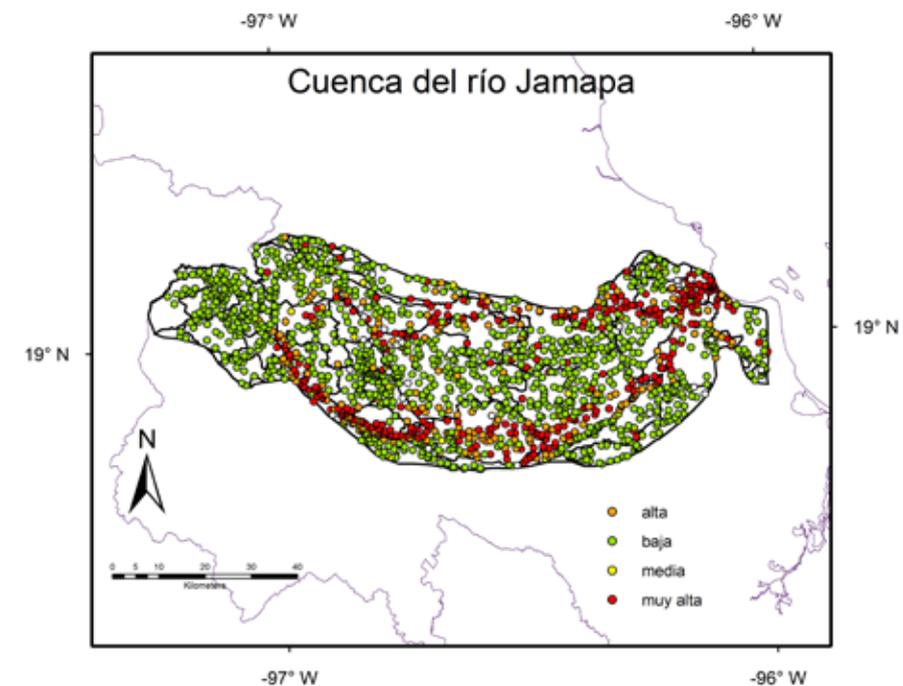
Partiendo del marco conceptual anteriormente planteado y de la metodología utilizada, podemos decir que en la cuenca del río Jamapa existe la conjunción adecuada de factores para la ocurrencia repetida de desastres. En el mapa 46 se observa la conjunción

de los factores ambientales analizados y las prácticas de manejo del territorio, lo que da como resultado la susceptibilidad de cada poblado y el tipo de inundación a la que es propenso, originando con ello los escenarios propiciatorios de la cuenca.

Es claro que los elementos ambientales que componen los escenarios propiciatorios de estos desastres son difícilmente modificables, ya que obedecen a procesos no solamente locales (primer orden), sino también a regionales y globales (por ejemplo, el efecto local y regional de la deforestación de bosques en laderas y el efecto global del incremento en la intensidad de fenómenos meteorológicos derivados del cambio climático [McGraham, 2007]).

Si bien el factor ambiental es poco moldeable, el elemento humano y las prácticas de uso del territorio sí pueden ser modificadas. Los procesos de segundo y tercer orden relacionados con estos factores están representados por las políticas públicas (municipales, estatales y federales), que son las fuerzas motrices que moldean las maniobras específicas que llevan al uso no adecuado del territorio y, por lo tanto, a la construcción de los escenarios propiciatorios.

La modificación de estas políticas públicas y de su aplicación en el territorio puede ser la clave para disminuir la vulnerabilidad social de la población asentada en la cuenca Jamapa-Cotaxtla. El desatender la relación causal entre políticas públicas y el uso de territorio, y la contribución de este uso en la construcción de escenarios propiciatorios es la receta perfecta para garantizar la incidencia permanente de los fenómenos hidrometeorológicos sobre la población, con la consecuente pérdida de vidas humanas y recursos privados y públicos.



La identificación de los escenarios propiciatorios es relevante para poder enfocar los esfuerzos sociales y gubernamentales en la atención de los factores modificables, con el consecuente ahorro de recursos monetarios y humanos. También es útil para establecer responsabilidades en la toma de decisiones, toda vez que permite distinguir las causas naturales de las humanas, destacando cuando una decisión es la responsable del desastre.

Conclusiones

El análisis aquí presentado es un ejercicio académico que tiene la finalidad de demostrar la utilidad del uso de marcos conceptuales integrados en el estudio de los desastres, como el ocurrido en 2010 en la región central de Veracruz. El presente ejercicio

■
Mapa 46.
Cuenca del río Jamapa
Fuente: Falta

muestra el potencial de integrar herramientas de análisis espacial y herramientas de análisis multicriterio para crear modelos sobre escenarios propiciatorios. Éstos modelos pueden auxiliar a las autoridades competentes en la toma de decisiones e incluso ayudar a definir estrategias de manejo que contribuyan a prevenir las condiciones que hacen vulnerable a la población civil ante los fenómenos hidrometeorológicos.

Muchas veces, el proceso de toma de decisiones se ve entorpecido por la carencia de datos confiables y de calidad o por la falta de capacidad técnica para el análisis de dichos datos. Sin embargo, consideramos que en el estado de Veracruz existen las capacidades, al menos potenciales, para mejorar el proceso de toma de decisiones y diseñar estrategias de prevención civil más eficaces. Existe la capacidad institucional para generar datos de calidad y se cuenta con recursos humanos capacitados o que pueden contribuir a la formación de dichos recursos para atender la demanda de análisis de información.

Por último, es importante destacar que el análisis se basó en información gratuita, disponible vía electrónica en su mayoría y que fue generada por agencias oficiales nacionales o extranjeras, lo que abre la posibilidad de realizar análisis con mayor detalle si se genera información de mayor escala.

Agradecimientos

Este capítulo fue generado bajo el marco del proyecto institucional “Sistema Integral de Planeación Ambiental de la Zona Costera Veracruzana”, a cargo del Dr. Leonardo Ortiz-Lozano del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad Veracruzana. También forma parte de la colaboración entre los cuerpos académicos Análisis y Síntesis de Zonas Costeras (CA-ASZCO) y Arrecifes Coralinos (CA-AC) de la Universidad Veracruzana.

Variaciones del nivel estático registradas en la parte baja del río Coatzacoalcos y su relación con las precipitaciones intensas, precursoras de inundaciones recurrentes

Juan Pérez-Quezadas
María del Rocío Salas Ortega
José Antonio Agustín Pérez-Sesma
Alejandra Cortés Silva

SEPARADOR COMO
BIODIVERSIDAD MARINA
CON UNA FOTO
QUE SIRVA COMO
SEPARADOR

INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz frecuentemente es afectado por importantes sistemas meteorológicos de escala sinóptica como frentes fríos, nortes y ciclones tropicales. Cuando se presenta un fenómeno meteorológico, suele generar grandes cantidades de lluvia que, al escurrir sobre suelos saturados, producen inundaciones en las partes bajas de algunas cuencas del estado, como es el caso de la cuenca del río Coatzacoalcos, la cual es considerada una de las cuencas de mayor incidencia de inundaciones dentro de la Región Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), por lo que se le ha catalogado como de alto riesgo; con impactos a las zonas urbanas e industriales de Minatitlán y Coatzacoalcos principalmente (Conagua, 2001).

Una inundación es un evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel del agua de los ríos o del mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay. Generalmente esto ocasiona daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura (Cenapred, 2010); razón suficiente para generar conocimiento acerca de la interacción del agua con el terreno y bajo éste.

Cabe señalar que el ciclo hidrológico implica un intercambio continuo del agua dentro de la hidrósfera, entre la atmósfera, agua superficial y subterránea y organismos vivos. La hidrología subterránea es la parte de la hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución del agua en la zona saturada de las formaciones geo-

lógicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico, y sus reacciones a la acción del hombre (Custodio y Llamas, 2001).

El origen principal del agua subterránea es la infiltración del agua de lluvia caída sobre el terreno. Una gota de lluvia puede sufrir múltiples procesos físicos. Puede suceder que ni siquiera llegue a la superficie del terreno, por intercepción de la vegetación que lo cubre, o por evaporación rápida en el proceso de caída. También puede llegar a mojar el terreno para evaporarse después, o caer sobre una cobertura impermeable y perderse después por la red pluvial. Asimismo, puede desplazarse por la superficie del terreno e incorporarse a la red de desagüe de aguas superficiales, en riachuelos, ríos y lagos, hasta volver al mar, es decir, ya sea porque esté cubierta de vegetación o porque esté en pendiente. El agua de lluvia se incorpora al agua subterránea a través de la infiltración, que consiste en que la gota, al caer sobre el suelo, empieza a descender por gravedad verticalmente a través de los intersticios del terreno llegando a la zona saturada de la roca o suelo. No obstante, el agua subterránea interacciona de forma importante con la circulación en superficie: a través de ríos que pierden parte del agua por el cauce o a la inversa, ríos que drenan un acuífero, etcétera. (FCIHS, 2010).

Por otro lado, el agua subterránea viaja con una velocidad muy baja comparada con otros componentes del ciclo hidrológico y sigue alimentando cuerpos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen, dependiendo de la roca que conforma el acuífero. Un acuífero consiste en una serie de rocas capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades rentables para

uso humano. Así, los cuerpos de agua alimentados por agua subterránea pueden presentar caudales más regulares que aquellos dependientes únicamente de las lluvias anuales.

A escala local, la recarga al acuífero origina una elevación del nivel de agua y después de ser tributada se extiende hacia los lugares de descarga, naturales o artificiales, dando origen a un descenso de niveles o recesión, que se mantiene hasta el siguiente periodo de recarga. Las curvas de recesión suelen tener una forma exponencial aproximada y son tanto más rápidas cuanto mayor es la transmisividad del acuífero, menor el coeficiente de almacenamiento y menor la distancia al lugar de salida de agua (Custodio y Llamas, 2001). Las variaciones estacionales quedan atenuadas con la profundidad, de modo que en acuíferos con un nivel freático profundo sólo pueden aparecer de forma marcada las diferencias en pluviometría de un año a otro. Además, cuanto más profundo es el nivel freático más retraso se produce en el efecto de recarga. El efecto amortiguador es mucho menor cuando la profundidad del nivel freático es casi constante en todo el acuífero. En acuíferos con nivel poco profundo en materiales arcillosos, la lenta circulación del agua de recarga en el medio no saturado debería producir un efecto lento de recarga y diferido; no obstante, en ocasiones, en épocas húmedas, se observa una respuesta inicial muy rápida que no puede explicarse normalmente, ya que no es posible con la baja permeabilidad del terreno; esto puede deberse a infiltración preferencial a través de discontinuidades creadas por raíces y grietas (Bonell, 1972).

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se propone en este trabajo analizar la condi-

ción del nivel estático histórico del agua subterránea de la parte baja del río Coatzacoalcos (acuífero costera de Coatzacoalcos) y su probable evolución en presencia de fenómenos hidrometeorológicos, como es el caso del paso del huracán *Karl* en el estado de Veracruz.

Zona de estudio

La cuenca del río Coatzacoalcos se encuentra localizada entre el cuadrante definido por las coordenadas UTM (1840000, 840000) y (2040000, 1074000), con un área aproximada de 21 091 km², distribuida en los estados de Oaxaca y Veracruz, en la Región Hidrológica 29 de Coatzacoalcos, en la vertiente del golfo de la zona ístmica, como se muestra en el mapa 47; parte de la región corresponde al sur de Veracruz. Esta región es la tercer-

Mapa 47.
Hidrografía de la cuenca del río Coatzacoalcos
Fuente:
Pereyra et al., 2010

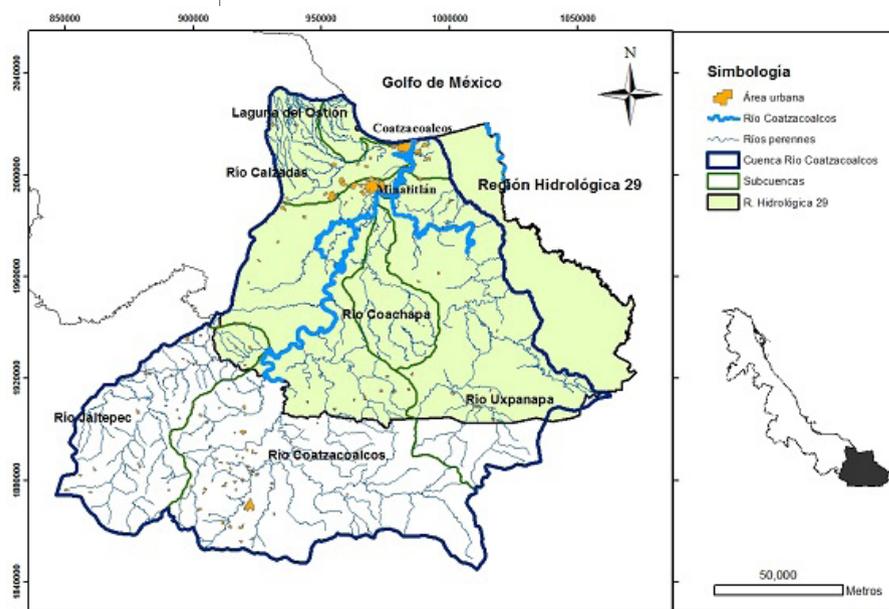


Figura 1. Hidrografía de la cuenca del río Coatzacoalcos. Fuente: Pereyra et al., 2010.

ra en extensión dentro del territorio veracruzano (14 419 km², 19.80% del total de las regiones y el 19.21% del total de la superficie territorial estatal). Los principales aportes fluviales a esta región son el río Coatzacoalcos y el sistema lagunar estuarino de la laguna del Ostión.

Hidrografía

El sistema hidrográfico del río Coatzacoalcos es el tercero en importancia del país por su caudal, después de los sistemas Grijalva-Usumacinta y Papaloapan. Este sistema está constituido por importantes afluentes, entre los que destacan los ríos Uxpanapa, Jaltepec, Coahuila y Calzadas. Los primeros nacen en las sierras que delimitan el parteaguas del Istmo de Tehuantepec y el último en la sierra de los Tuxtlas. El río Coatzacoalcos nace en el estado de Oaxaca, en la Sierra Atravesada, a una altura de 2 000 msnm; tras recorrer unos 37 km hacia el noroeste cambia su dirección hacia el oeste y la conserva hasta Santa María Chimalapa. Aguas abajo de este poblado continúa hacia el norte a través de un cauce muy sinuoso y, a la altura de Suchiapa, Ver., adquiere una dirección NNE, que conserva hasta su desembocadura en la Barra de Coatzacoalcos, junto a la ciudad de este nombre (mapa 47).

Es importante hacer notar que el río Coatzacoalcos es de los pocos que aún es navegable en gran parte de su recorrido y en algunos afluentes por embarcaciones medianas y, en un tramo pequeño, aguas arriba de su desembocadura, por barcos petroleros de gran calado que llegan a la laguna de Pajaritos; esto último es posible gracias

a que ha sido dragado constantemente para eliminar el azolve que baja de las partes altas (Pereyra y Pérez, 2006).

Estatigrafía

En este apartado se resumen las características de las unidades litológicas principales que se considera constituyen el acuífero principal en extracción. Se cree que para un análisis más exhaustivo de éstas se debe realizar una cartografía detallada, por consiguiente un proyecto de mayor magnitud que el que se aborda en este libro.

Desde el punto de vista geológico, esta región pertenece a la Cuenca Salina del Istmo y está formada por las siguientes unidades litológicas (Conagua, 2009).

- **Formación Concepción Encanto Superior e Inferior**

Esta formación proviene de la edad del Terciario y su espesor es del orden de 474 a 1 595 m. Es una unidad arcillosa que comprende a las lutitas marinas, areniscas y conglomerados con estructura en capas masivas. Sus afloramientos son expuestos en los lomeríos deformados por intrusión salina.

- **Formación Cedral, Fisiola, Paraje Solo y Agueguexquite**

Esta formación subyace a los depósitos aluviales, proviene de la edad del Terciario, y consiste en cuerpos arenosos que forman lomeríos. Los espesores que presenta esta formación van desde 474 a 1597 m, hacia los límites con el estado de Tabasco, presentando interstratificaciones de arena

arcillosa con contenido de arcilla carbonosa, tobas limosas y minerales de mica.

- **La formación aluvial**

Esta formación es de edad reciente, teniendo un espesor de 20 a 30 y hasta 50 m, y comprende depósitos aluviales, palustres, eólicas constituidas por gravas y arenas empacadas en arcilla, arcillas orgánicas y limos, arcillas orgánicas de pantano y arenas de médano. Esta formación presenta morfología de lomerío y llanura.

De acuerdo a lo anteriormente recopilado, actualizado al 2009, y que el análisis se lleva a cabo en pozos y no en piezómetros, de los cuales se tiene poca información, se infiere que este análisis piezométrico se realiza en un acuífero libre, constituido por sedimentos arenosos cubiertos por depósitos aluviales, y confinados con formaciones arcillosas terciarias que pudieran estar funcionando como basamento hidrogeológico. Se cuenta con datos de transmisividad provenientes de pruebas de bombeo de corta duración, en los cuales la transmisividad varía de 0.20 a $4.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, y de 0.53 a $3.81 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; y un coeficiente de almacenamiento de 3.4×10^{-4} (Conagua, 2009).

Metodología

Para alcanzar el objetivo propuesto, se consultaron trabajos realizados en la zona relacionados con la geología, hidrología superficial y subterránea, topografía y climatología provenientes del Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como de datos de precipitación proporcionados

por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dependiente de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Además, se contó con un registro de niveles estáticos medidos en pozos y norias facilitado por la Conagua, así como la evaluación actualizada de la disponibilidad de agua subterránea de este acuífero objeto de estudio. De los pozos localizados en el área de estudio, se seleccionaron cinco, debido a sus amplias variaciones del nivel estático (metros), las cuales son imperceptibles en los pozos localizados en la planicie (centímetros). Esto permitió hacer conjeturas del comportamiento del sistema, con lo cual se alcanzó el objetivo planteado. De los cinco pozos, dos se localizan en los lomeríos al oriente y al poniente, y tres ubicados en los alrededores de las zonas de inundación. Con los datos de niveles de los cinco pozos seleccionados y de precipitación de varios años, se elaboraron gráficas para analizar su comportamiento. Finalmente, se procesó la información geográfica utilizando programas informáticos como ArcGis 9.2 y Global Mapper v 8.3.

Resultados y discusión

Con base en los antecedentes planteados, la discusión de este trabajo se centra en el análisis del comportamiento del nivel estático (N.E.), registrado en pozos localizados en la parte baja de la cuenca del río Coatzacoalcos. De acuerdo a los niveles reportados, en la figura 2 se muestran los pozos en los cuales se tiene registro del N.E., así como las zonas de inundación sobre un mapa hipsométrico dentro de la cuenca del río Coatzacoalcos. Simultáneamente se observa que la dirección de flujo

del agua subterránea, perpendicular a las curvas isopiezas correspondientes al año 2000, se dirigen a las partes topográficamente bajas, donde se localizan zonas de inundación y cuerpos de agua superficiales.

Considerando que: 1) de los pozos y norias se extrae agua de un acuífero libre constituido por las rocas mencionadas con anterioridad y que, como su nombre lo indica, no son piezómetros; 2) el agua que entra a la zona saturada del acuífero, cualquiera que sea el origen, es recarga para éste; se observa que la dirección de flujo preferencial se dirige hacia las partes topográficamente más bajas. Los niveles estáticos —someros en estas partes bajas (1 msnm) y la profundidad de los cuerpos de agua, dragado del río Coatzacoalcos — evidencian un aporte lateral de agua subterránea a éstos.

Mapa 48. Zonas de inundación, rasgos topográficos, puntos muestreados, agua superficial e isopiezas correspondientes al mes de julio de 2000
Fuente: FALTA

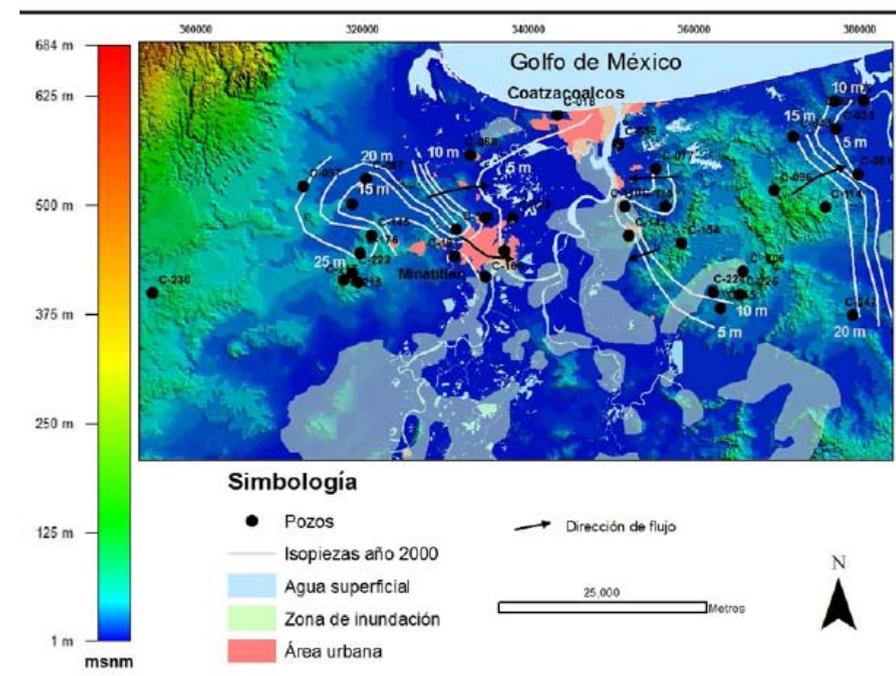


Figura 2. Mapa de zonas de inundación, rasgos topográficos, puntos muestreados, agua superficial e isopiezas correspondientes al mes de julio de 2000

Por el flanco este, es posible que el parteaguas superficial coincida con el que describe el agua subterránea, el cual divide a la cuenca del río Coatzacoalcos con la del río Tonalá.

Las gráficas 20 y 21 muestran la correlación que existe entre la variación del nivel estático medido en el pozo C-154, y la lluvia mensual y anual acumulada en la estación meteorológica Coatzacoalcos. Para el año 2003 la información de esta estación se encuentra fragmentada en temporada de secas. El pozo se localiza en los lomeríos de la porción oriente, donde se origina un flujo lateral. Se distinguió que el punto máximo del nivel freático fue de 61 msnm, durante la temporada de lluvias del año 1999. Tendió a descender hasta el año 2003, donde se presentó la temporada de lluvias con menor precipitación. Posteriormente se observó un aumento del nivel de 1 m hasta la temporada de lluvias 2005, oscilando entre los valores 57.5

■ Gráfica 20.
Lluvia anual acumulada
Fuente: FALTA

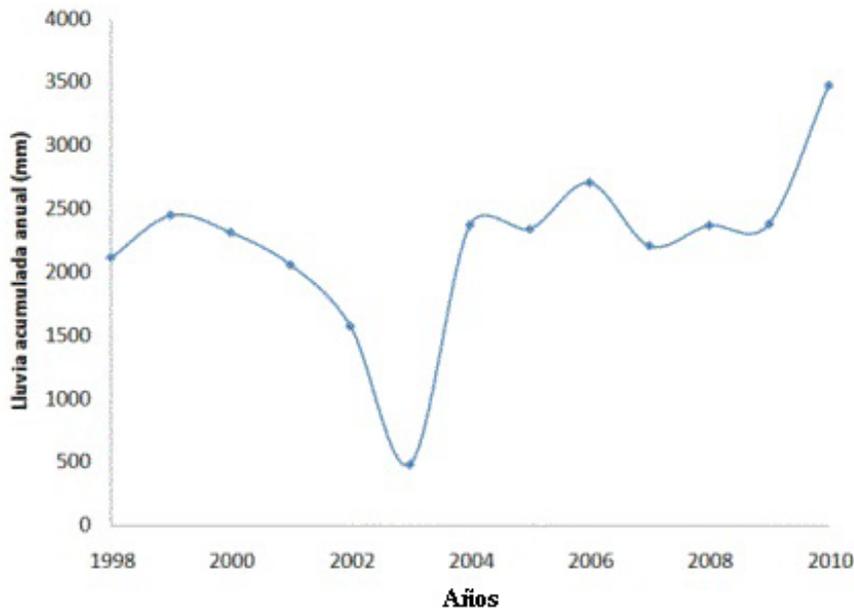


Figura 3. Lluvia anual acumulada.

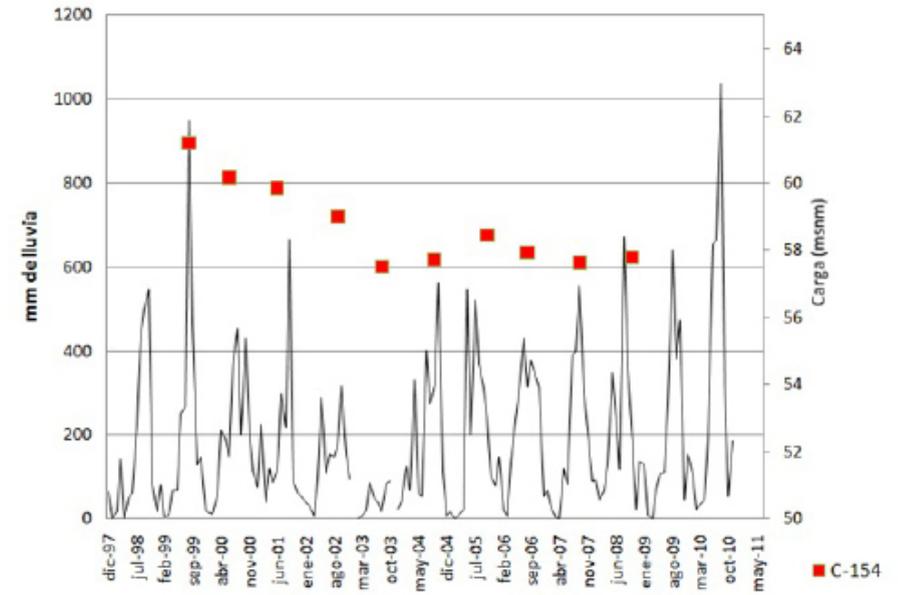


Figura 4. Comportamiento del nivel estático del pozo C-154 y su relación con la lluvia mensual acumulada.

y 58.5 msnm, poco coincidente con la cantidad de precipitación, debido a que la precipitación no varía de forma importante como en los años 1999 a 2003. Esto se refleja en la corta variación del nivel, entre 57.5 y 58.5 msnm.

■ Gráfica 21.
Comportamiento del nivel estático del pozo C-154 y su relación con la lluvia mensual acumulada
Fuente: FALTA

Claramente el nivel medido en este pozo, C-154, responde de forma casi inmediata a la precipitación, recargando al acuífero. Bajo esta observación, se establece que si los alrededores de la ciudad de Coatzacoalcos se ven afectados por un evento hidrometeorológico extremo (como fue el caso de las inundaciones de 1999, 2005 y 2010), el acuífero se recarga de forma inmediata, lo que implica un aporte de agua subterránea al agua superficial o zona de descarga localizada en las partes bajas. Debido a que el drenaje de agua a través de una roca es más lento que el drenaje del agua superficial, el tiempo que tardan en estabilizarse los niveles estáticos agrava el fenómeno de inundación.

La gráfica 22 muestra el mismo comportamiento del nivel freático en el pozo C-176, el cual se encuentra localizado en los lomeríos al poniente de la ciudad de Minatitlán, a una cota topográfica de 51 msnm, y refleja un comportamiento más atenuado que el pozo C-154, sin dejar de describir de forma general la misma tendencia.

En la gráfica 23 se muestra el comportamiento del pozo C-142, que se encuentra localizado a menos de 10 km de distancia del pozo C-154, dentro de la zona de inundación (mapa 48). La cota topográfica se encuentra aproximadamente a 20 msnm. La distancia de la cota al nivel freático oscila entre 11.4 y 14.7 m; menor en temporada de recarga, correspondiente a la temporada de lluvias durante los años 1999 y 2005. Evidentemente, el agua superficial acumulada en la superficie no se encuentra en contacto con el acuífero, por lo que en esta zona el acuífero se recarga por efecto de la inundación.

■ **Gráfica 22.**
Comportamiento del nivel estático del pozo C-176 y su relación con la lluvia acumulada mensualmente
Fuente: FALTA

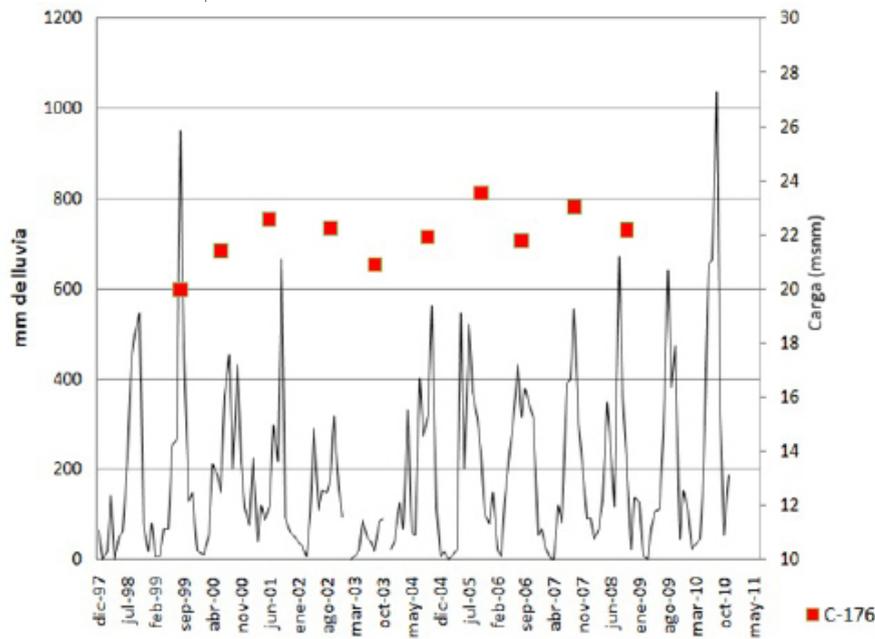


Figura 5. Comportamiento del nivel estático del pozo C-176 y su relación con la lluvia acumulada mensualmente.

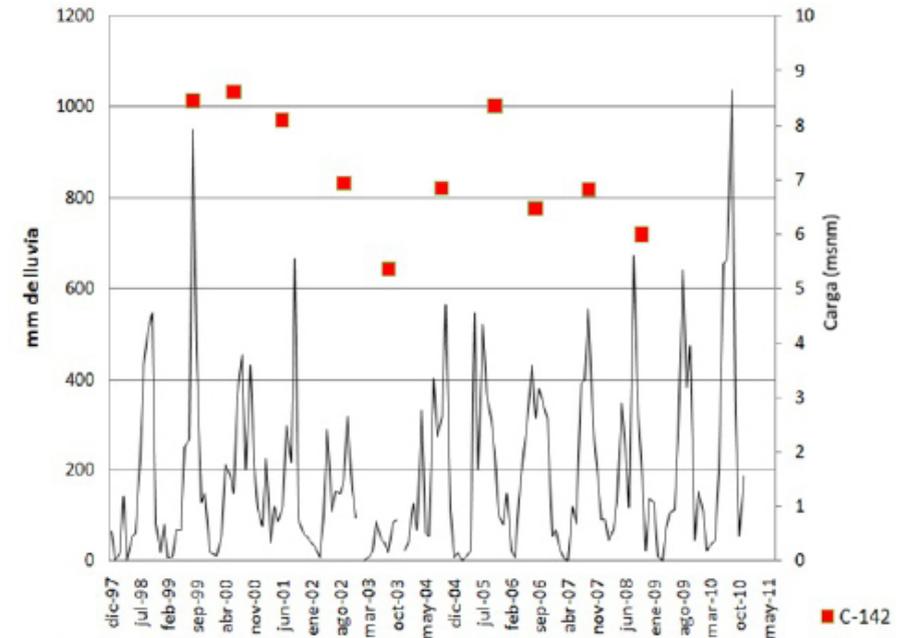


Figura 6. Comportamiento del nivel freático en el pozo C-142 y su relación con la lluvia acumulada mensual.

■ **Gráfica 23.**
Comportamiento del nivel freático en el pozo C-142 y su relación con la lluvia acumulada mensual
Fuente: FALTA

El pozo C-166 (gráfica 24) se localiza entre la ciudad de Minatitlán y el río Coatzacoalcos, dentro de una zona de inundación. La cota topográfica se encuentra a 15 msnm aproximadamente. La distancia de este punto al nivel freático oscila entre 7 y 10 m. Este pozo también refleja que se pudiera dar recarga importante debido a la inundación. Pero su cercanía al río, menor a 1 km de distancia, así como la falta de detalle en la nivelación, hacen suponer que el agua subterránea puede estarse descargando en el río, lo cual incrementa el riesgo de inundación principalmente en las partes bajas inmediatas, aumentando el caudal del río por efecto de la descarga de agua subterránea.

Finalmente, la gráfica 25 presenta la variación del nivel estático y su relación con la lluvia mensual acumulada correspondiente al pozo C-059. Este pozo se localiza al norte de la zona de estudio a menos de 5 km de distancia al mar y a menos de 700 m

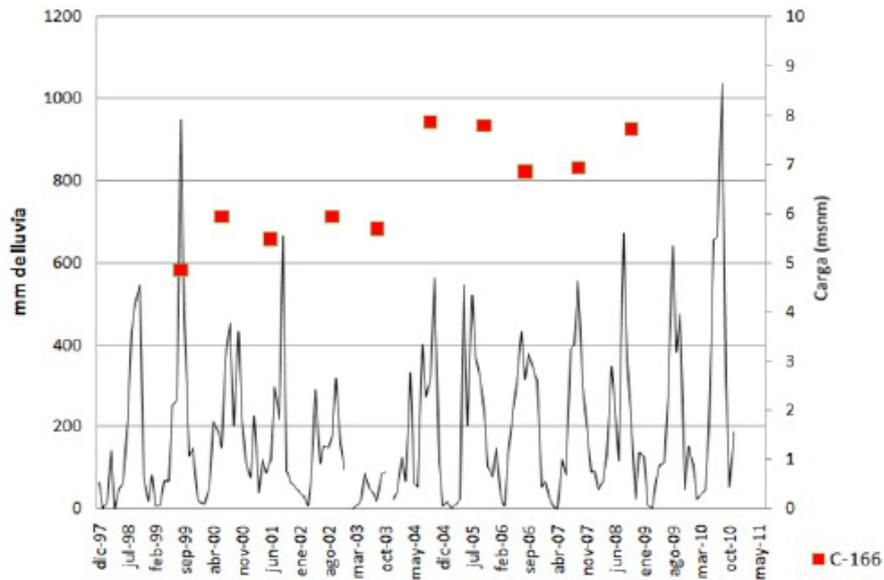


Figura 7. Correlación entre la variación del nivel estático y la lluvia mensual acumulada para el pozo C-166.

Gráfica 24. Correlación entre la variación del nivel estático y la lluvia mensual acumulada para el pozo C-166

Fuente: FALTA

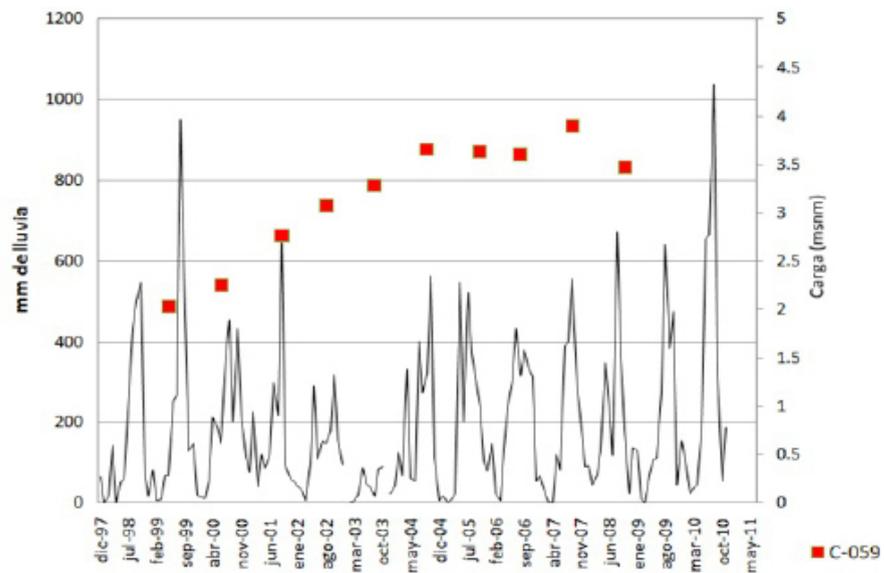


Figura 8. Variación del nivel estático medido en diferentes campañas y su relación con la lluvia mensual acumulada.

Gráfica 25. Variación del nivel estático medido en diferentes campañas y su relación con la lluvia mensual acumulada

Fuente: FALTA

de distancia al río Coatzacoalcos. La elevación topográfica en este punto es de 5 m aproximadamente. Las variaciones de la distancia al nivel freático oscilan entre 3 y 1 m. Esto demuestra la conexión que existe entre el agua subterránea y el río.

La tendencia al ascenso del nivel freático en este pozo, y su posterior estabilización, refleja la independencia del efecto que la lluvia anual o mensual acumulada ocasiona en el nivel registrado en este pozo, pero también pudiera estar localizado en un lugar donde la descarga del acuífero está aumentando.

Conclusiones

El monitoreo del nivel estático en pozos y norias es una metodología adecuada para determinar la dinámica de un sistema hidrogeológico. En este trabajo fue la principal herramienta utilizada para evaluar la interacción con las condiciones meteorológicas actuales; por supuesto, tomando en cuenta las características de las rocas presentes, pero considerándolas constituyentes de un acuífero libre.

El resultado de este análisis preliminar indica que las variaciones del nivel estático somero, registrado en algunos pozos, se encuentra íntimamente relacionado con recarga de agua de origen meteorológico contemporáneo que pudiera tener un tiempo de residencia muy corto. Cuando se trata de acuíferos confinados y dependiendo de las rocas que los constituyan, en algunos casos no es posible apreciar el impacto del agua de lluvia sobre el agua subterránea, de ahí la importancia de esta investigación.

La recarga y su posterior descarga del acuífero puede agravar el problema de inundaciones en

la zona de estudio, originando descargas a través de pozos o del propio terreno, que pudiera arrastrar materia orgánica de fosas, drenaje o cualquier obra confinante, los cuales pueden convertirse en brotantes, como es el caso de algunos pozos localizados en el municipio de Moloacan.

Las variaciones del nivel estático se observan principalmente en pozos donde la distancia del nivel topográfico al nivel freático contrasta o son considerables comparadas con las variaciones del nivel estático (cm) registradas en la planicie. Esto se debe a que el flujo es horizontal principalmente y el acuífero se encuentra en contacto con el agua superficial.

Debido a lo anterior, la relación que guarda el régimen de flujo de agua subterránea, recarga y descarga (variaciones de presión hidráulica) con la localización de nueva infraestructura, fraccionamientos, puentes, carreteras, gasolineras, industria, etcétera, deberá ser evaluada con mayor rigor para una mejor planeación.

La correlación espacial y temporal de parámetros químicos con la hidrología del sistema ayudará a sustentar un modelo de funcionamiento más completo que permita evaluar afectaciones al agua subterránea y superficial, así como prevenir deterioros ambientales y que pongan en riesgo la salud de la población, agravándose durante la presencia de inundaciones, como fue el caso de las inundaciones en los años 1999, 2005 y 2010. Para lograr un mejor análisis de la relación que existe entre el agua de lluvia y la subterránea, así como la velocidad de drenado, se recomienda un monitoreo permanente y continuo de niveles estáticos, lo cual se puede lograr con la instalación de pozos de observación y piezómetros. Se sugiere colocar Data-

logger en sitios bien seleccionados para tener un registro continuo, sistematizado y lograr un mejor balance.

El monitoreo del nivel freático en tiempo más corto —no mediciones anuales o semestrales— en puntos estratégicos, permitirá conocer la velocidad de impacto que tienen las lluvias en el acuífero y, por lo tanto, saber qué tan rápido se drenan estos centímetros o metros de agua ingresados al acuífero; dicho en otras palabras, una mejor correlación temporal de la precipitación y el nivel freático.

Adoptada esta metodología, bajo ciertas hipótesis hidrogeológicas, se podría anticipar y cuantificar la descarga del agua subterránea a la superficial, de tal forma que la respuesta del acuífero a la recarga y descarga rápida (cuestión de horas o días), permitiría plantear un programa de manejo de agua subterránea para almacenar parte de la que proviene de la lluvia, que se sumaría a las demás actividades planteadas por diferentes expertos para un mejor control de las inundaciones.

Cabe mencionar que a pesar de la información fragmentada y la dificultad para obtener datos confiables y actualizados, se realizó un esfuerzo considerable para alcanzar el objetivo planteado.

La restauración ecológica como estrategia para la reducción del riesgo de desastre ante inundaciones. Estudio de caso: la cuenca del río Coatzacoalcos

Samaria Armenta Montero
Juan Carlos López Acosta
Ernesto Rodríguez Luna
Edward Allan Ellis
Silvia del Amo Rodríguez
Arturo Gómez Pompa
María Cristina Mac Swiney González
Aníbal Niembro Rocas
Odilón Sánchez Sánchez
Mario Vázquez Torres
Noé Velázquez Rosas

SEPARADOR COMO
BIODIVERSIDAD MARINA
CON UNA FOTO
QUE SIRVA COMO
SEPARADOR

INTRODUCCIÓN

Actualmente el impacto de las actividades humanas sobre la calidad del ambiente y los recursos naturales es un tema prioritario en la agenda de los gobiernos. A nivel mundial, la continua devastación de los ecosistemas terrestres está asociada al incremento de las consecuencias negativas de los fenómenos meteorológicos extremos (Vitousek, 1997; Balvanera *et al.*, 2009). Esto es especialmente relevante en países como México que, debido a su ubicación geográfica, está expuesto directamente al impacto de fenómenos meteorológicos como ciclones tropicales y lluvias severas, causantes de deslaves e inundaciones, que han aumentado en frecuencia e intensidad, así como en sus impactos negativos que vulneran el bienestar de las poblaciones humanas (Chapin *et al.*, 2000; Conabio, 2008).

Acciones como el cambio de uso de suelo (principalmente la deforestación) están siendo ejes de cambios radicales en la calidad de los servicios ambientales importantes para el desarrollo humano. Esto determina la pérdida de poblaciones de plantas y animales, modificando ciclos biogeoquímicos que regulan en gran medida el comportamiento climático e incrementa el riesgo de inundaciones cuando existen eventos meteorológicos extremos.

El cambio en la cobertura de los ecosistemas por deforestación, además de provocar una sustancial pérdida de su biodiversidad asociada, trae consigo una pérdida de los servicios ecosistémicos (MEA, 2005). Estos servicios han sido catalogados como de provisión (alimento, materias primas), soporte (formación de suelo, producción primaria), cul-

turales (religiosos, recreación), de regulación (del clima, control de enfermedades); servicios que, de ser deteriorados, afectan directamente la calidad de vida de las poblaciones humanas (Chapin *et al.*, 2000; Gómez, 2004).

Si bien todos los servicios ambientales son fundamentales para el desarrollo y bienestar humano, actualmente se ha puesto un especial énfasis en el estudio de los servicios de regulación, los cuales incluyen procesos ecosistémicos complejos que regulan las condiciones del ambiente –incluyendo el clima, la erosión de los suelos y la capacidad de los ecosistemas de mitigar los eventos de inundación u otros desastres (Manson, 2004; Balvanera *et al.*, 2009)–. La atención mundial se ha enfocado sobre este tipo de servicios, ya que los impactos negativos de los fenómenos meteorológicos se han magnificado, ocasionando grandes desastres con cuantiosas pérdidas económicas y vidas humanas (Balvanera *et al.*, 2009). De 1995 a 2005, en el mundo se ha incrementado un 300% la incidencia de los desastres, comparado con la década de los sesenta; y los costos económicos de estos desastres han crecido en un 900% (MEA, 2005). El deterioro ambiental en México es un tema central de la agenda asociada a la conservación y recuperación del capital natural.* En términos económicos, se ha calculado que los costos monetarios de este deterioro (incluyendo los desastres) representaron un promedio anual de 10.36% del PIB entre 1996 y 2003. En términos sociales, la factura es aún más cara, cuando se considera la pérdida de vidas a causa de los desastres, así como la disminución de la calidad de vida y el bienestar social de la población. Esta rea-

* Acervo de recursos naturales y servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas que generan un flujo de bienes y servicios útiles o renta natural a lo largo del tiempo (Costanza y Daly, 1992).

lidad pone de manifiesto la necesidad de asegurar el mantenimiento y la recuperación de la provisión de servicios ambientales en el mediano y largo plazos (Conabio-Semarnat, 2009).

Se ha planteado que el incremento en la frecuencia de las inundaciones está asociado a los cambios en los patrones de precipitación, ocasionados en parte por el cambio climático global o la variabilidad climática interanual. Sin embargo, el incremento del impacto negativo de estos desastres en las poblaciones humanas tiene un origen multifactorial (Manson *et al.*, 2009). Es por esto que, para analizar las consecuencias negativas de eventos extremos, es necesario considerar las distintas estrategias del uso de suelo, el papel de los ecosistemas naturales para regular la cantidad y calidad del agua y sus capacidades intrínsecas para responder a éstos, así como los modelos de desarrollo económico en las zonas altas y bajas de las cuencas hidrológicas (Bruijnzeel, 2001; Naiman y Décamps, 1997; Lara *et al.*, 1998).

En México, los efectos negativos de los desastres han quedado claros en las inundaciones registradas en 2005 en Chiapas, en el 2007 en Tabasco y más recientemente en el 2010 en Veracruz. Estas catástrofes ocasionaron millonarias pérdidas, miles de damnificados y, lamentablemente, la pérdida de muchas vidas humanas. Para el caso de Veracruz, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2005) reportó que en el periodo comprendido entre 1993 y 2000 se perdió el 4.8% de la vegetación natural. Ellis y colaboradores (2010) registraron que en el estado de Veracruz existe una superficie deforestada de 340 932 ha, sólo el 26% corresponde a vegetación natural, y tan sólo el 8.6% está cubierto por vegetación conservada.

Por ello, el paisaje veracruzano está caracterizado por pequeños fragmentos de vegetación primaria inmersos dentro de amplias zonas de ha, respectivamente **IDEA INCOMPLETA**. Los principales factores que modulan la deforestación y pérdida de vegetación natural en Veracruz han sido la expansión de actividades agropecuarias, la construcción de infraestructura vial y la urbanización determinada por el crecimiento poblacional (Ellis *et al.*, 2010).

Aunado a este deterioro del capital natural, la ubicación del estado de Veracruz en una región intertropical lo hace especialmente vulnerable a los embates de ciclones tropicales con alto potencial de afectación humana, ya que tan sólo en su zona costera albergaba hace una década una población de 6.7 millones de habitantes (Cenapred, 2001). Un ejemplo de impactos y daños se reportó para el huracán *Diana*, que en 1990 arrojó un saldo de pérdidas por más de 250 000 millones de pesos en Veracruz y 50 000 damnificados (Cenapred, 2001). El huracán *Karl* en 2010 causó daños en 50 000 viviendas de 94 municipios y las pérdidas económicas se estimaron en 70 000 millones de pesos (comunicado de prensa del gobernador de Veracruz, 26/09/10). Asociado a estos fenómenos, las inundaciones y deslaves son comunes dentro del estado. Por ejemplo, entre 1950 y 1988 Veracruz fue el estado que más eventos de inundaciones tuvo, con un total de 417, cuyas consecuencias fueron los daños de los bienes materiales, la muerte de personas, la erosión del suelo y depósito de sedimentos, además de afectar a los cultivos y a las poblaciones de fauna y flora local.

Entre los principales factores que condicionan a las inundaciones están la distribución espacial de la

lluvia, la topografía, las características físicas de los arroyos y ríos, las formas y longitudes de los cauces, el tipo de suelo, la pendiente del terreno y, de manera particular y contemporánea, la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo, así como una urbanización descontrolada (Cenapred, 2001).

Muchos de estos graves problemas ambientales y sociales surgen del inadecuado uso y conservación de los recursos naturales, además de la falta de aplicación de un manejo integrado de cuencas en los procesos y políticas de desarrollo regional. Actualmente, la gestión sustentable a escala de las cuencas hidrográficas es una necesidad fundamental para resolver los problemas hídricos, ecológicos, económicos y sociales, los cuales a su vez tienen su origen en factores directos e indirectos de transformación antropogénica. Hay que tomar en cuenta que las cuencas hidrográficas son sistemas abiertos, con entradas y salidas de energía y materia, influenciadas por factores físicos, biológicos o socioeconómicos (Moreno y Renner, 2007), siendo el ciclo del agua uno de los más alterados en la actualidad.

Como se ha venido insistiendo en este documento, los problemas ecológicos a nivel de cuenca son ocasionados principalmente por el cambio de uso del suelo, de la sustitución de cubierta forestal por áreas para uso agrícola y/o pecuario, tala inmoderada, sobreexplotación de los mantos acuíferos y el uso irracional de pesticidas (Manson, 2004). En particular, los bosques influyen directamente sobre los procesos hidrológicos, no sólo en lo que se refiere a la captación del agua de lluvia, sino también en cuanto a que pueden modificar los patrones de precipitación a través de la regulación del clima regional (Manson, 2004). La remoción

de la cobertura boscosa y su reemplazo por casi cualquier otro uso de suelo puede reducir la tasa de evapotranspiración, aumentar la escorrentía superficial y la pérdida de suelos. Los sedimentos son transportados por escorrentía superficial cuenca abajo, propiciando el azolve y la contaminación de cuerpos de agua y, por ende, el incremento del riesgo por inundaciones.

No obstante, el estado actual de la cobertura vegetal y de las cuencas en México y especialmente en Veracruz, no es producto de un cambio repentino, sino de una historia de transformación territorial y de percepción de los recursos naturales en los paisajes regionales, por lo que es importante reflexionar sobre el estado actual de los recursos naturales como el resultado de una interacción múltiple entre aspectos sociales, culturales y económicos que modulan la percepción de la naturaleza y su aprovechamiento. Esta interacción de factores no es estática en el tiempo, sino que varía con las circunstancias históricas. Por lo tanto, el efecto antropogénico adquiere un impacto diferencial de acuerdo con una época histórica determinada, lo cual influye directamente sobre el balance de las transacciones de incremento o reducción del bienestar humano. Consecuentemente, el estado actual de las inundaciones, tiene fuertes efectos sinérgicos con la transformación de la cobertura vegetal y requiere de una perspectiva integral que nos ayude a interpretar los factores de cambio que han modulado al paisaje veracruzano. Esta interpretación ayuda a desarrollar propuestas concretas que garanticen la persistencia del capital natural y el bienestar social.

Como un ejercicio de esta integración de concepciones, este documento intenta integrar tres tó-

picos complementarios: 1) una visión histórica de la transformación de los recursos naturales, tomando como ejemplo el cambio histórico del Puerto de Veracruz; 2) un estudio que aborde la problemática del cambio de uso de suelo y su impacto en el paisaje de la cuenca del río Coatzacoalcos, que realice un modelo del comportamiento hidrológico y analice la vulnerabilidad a los fenómenos hidrometeorológicos, y 3) una visión integradora de la recuperación de servicios ecosistémicos a través de la restauración ecológica desde la cuenca alta en la zona del Uxpanapa, lo cual contribuiría a disminuir y/o mitigar los desastres en la parte de la cuenca baja.

Una visión histórica de la transformación de los recursos naturales del territorio veracruzano

Las poblaciones humanas siempre han dependido de sus entornos naturales para subsistir. Para ello, a lo largo de la historia de la humanidad se han practicado distintas estrategias de ocupación y transformación territorial. Desde primitivas formas de recolecta vegetal y cacería hasta las modernas urbanizaciones y desarrollos agroindustriales, cada una de ellas con diferente impacto ambiental. De acuerdo con el planteamiento de McNeill (2003), la moderna historia medioambiental del planeta y la historia socioeconómica de la humanidad sólo adquieren sentido si se contemplan conjuntamente.

Como ejemplo tomaremos la transformación territorial del puerto de Veracruz. Al reflexionar sobre la imagen del puerto de Veracruz en el año

1864, tal como lo apreciaba Casimiro Castro desde la perspectiva que le daba su posición en un globo aerostático, podemos reconocer al Veracruz amurallado como defensa al ataque de los piratas. En ese momento Veracruz tenía más de tres siglos de haberse consolidado como puerto clave en el intercambio comercial entre España y la Nueva España, primero, y el México independiente, después. La colonización del sitio exigió una transformación territorial que paulatinamente hizo desaparecer los ecosistemas costeros (dunas y lagunas, entre otros) que caracterizaban fisiogeográficamente al paisaje natural. En aquel momento, el desafío ambiental lo representaban los pantanos a los que se asociaba el origen de distintas dolencias, entre ellas la fiebre amarilla o el vómito negro, lo que ocasionó que durante la Colonia se le llamara a la ciudad de Veracruz “El cementerio de españoles”. Como medidas sanitarias se secaron los pantanos y se derribaron las murallas del puerto. Este cambio radical en la configuración territorial fue producto de una problemática temporal, y tuvo como consecuencia la pérdida de elementos del sistema lagunar veracruzano que actualmente está influenciando la dinámica hídrica de la zona (Rodríguez-Luna *et al.*, 2011).

Algunos registros históricos reportaban la existencia de más de 200 lagunas, de las cuales actualmente sólo se registran 18 (Sarabia, 2004). Es importante hacer notar que, dada su geomorfología, la principal característica de estas lagunas veracruzanas es la calificación de “caminantes”, es decir, efímeras, ya que aparecían y desaparecían. Por esta razón, es difícil saber su número exacto, ya que se formaban entre las crestas de los médanos y su agua era suministrada por el man-



to freático y pluvial; el viento, al llegar, levantaba la arena de los médanos y entonces brotaban las lagunas. A principios del siglo XX, diversas actividades industriales, como la apertura de Astilleros de Veracruz, en 1902; la fábrica de acero Tenaris (antes Tamsa), en 1953, y la firma del convenio trilateral entre México, Estados Unidos y Canadá, en 1993, han reconfigurado en mayor medida al sistema lagunar, ya que atrajeron gente de otros sitios hacia Veracruz donde se necesitaba mano de obra y como consecuencia se incrementó la necesidad del cambio de uso de suelo del municipio (Rodríguez-Luna *et al.*, 2011). Esta profunda transformación del paisaje costero ha ocasionado desequilibrios ecológicos, los que se han acelerado con el crecimiento urbano sin la debida planeación, entre ellos el relleno de las lagunas, lo

■
Perspectiva aérea
del Puerto de Veracruz
1864

Fuente:
Casimiro Castro, 1864

cual ha provocado la falta de retención del agua de lluvia y por consecuencia escurrimientos mayores hacia la ciudad de Veracruz e inundaciones en las poblaciones circunvecinas (Rodríguez-Luna *et al.*, 2011), predicciones probadas por los eventos catastróficos de 2010.

Nota: Al derrumbarse las murallas, la expansión urbana del puerto obligó al secado de arroyos y lagunas, a la remoción de dunas y a una progresiva ganancia de terrenos al mar, estos hechos históricos han moldeado el paisaje del Puerto de Veracruz.

Actualmente se puede reconocer a la fortaleza de San Juan de Ulúa rodeada de las gigantescas grúas que requiere el moderno comercio ultramarino. Del Veracruz colonial sólo permanecen algunos vestigios y, lo que fuera un islote, ahora es una porción conectada a tierra firme por terrenos ganados al mar. Asimismo, se advierte que la problemática ambiental contemporánea es distinta a la del paisaje contemplado por Casimiro Castro. En la actualidad estos problemas están relacionados con las inundaciones en la zona conurbada, la destrucción del sistema arrecifal, la contaminación por actividad agroindustrial y urbana, así como un intenso cambio de áreas de dunas y humedales por desarrollos urbanísticos e industriales. En este escenario se reconoce una problemática de escala global que coincide con la propiamente local y regional.

Nota: El desarrollo del puerto de Veracruz deja ver aún algunas evidencias de su pasado. Las necesidades históricas de sus pobladores ha sido el factor de modulación que ha configurado el paisaje.



Como lo muestra este ejemplo, se puede desarrollar una narrativa histórica de la transformación del territorio veracruzano. En esa historia de la transformación de Veracruz se pueden reconocer distintas formas de entender la relación del hombre con sus entornos naturales, y cómo éste ha modelado los paisajes regionales, de tal modo que para cada región es factible reconocer una superposición de visiones y usos territoriales que da forma a un mosaico que abarca desde ecosistemas naturales hasta los marcadamente antropizados, los cuales imponen el reto de recuperarlos y manejarlos para asegurar el bienestar de las futuras generaciones.

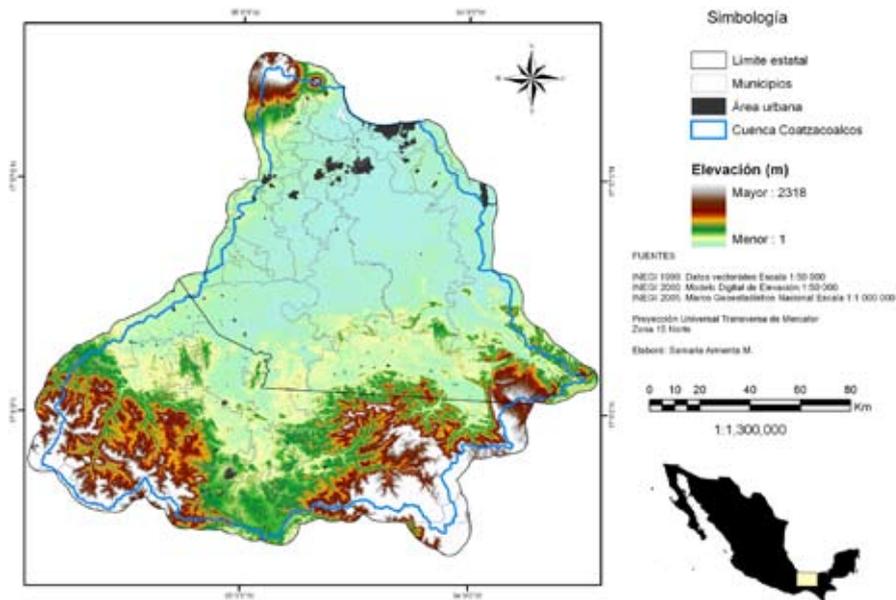
- **Cuenca del río Coatzacoalcos: estudio de caso**

La cuenca del río Coatzacoalcos forma parte de la Región Hidrológica-Administrativa X Golfo Cen-

■
Área de carga y
descarga en el Puerto
de Veracruz
Fuente: FALTA

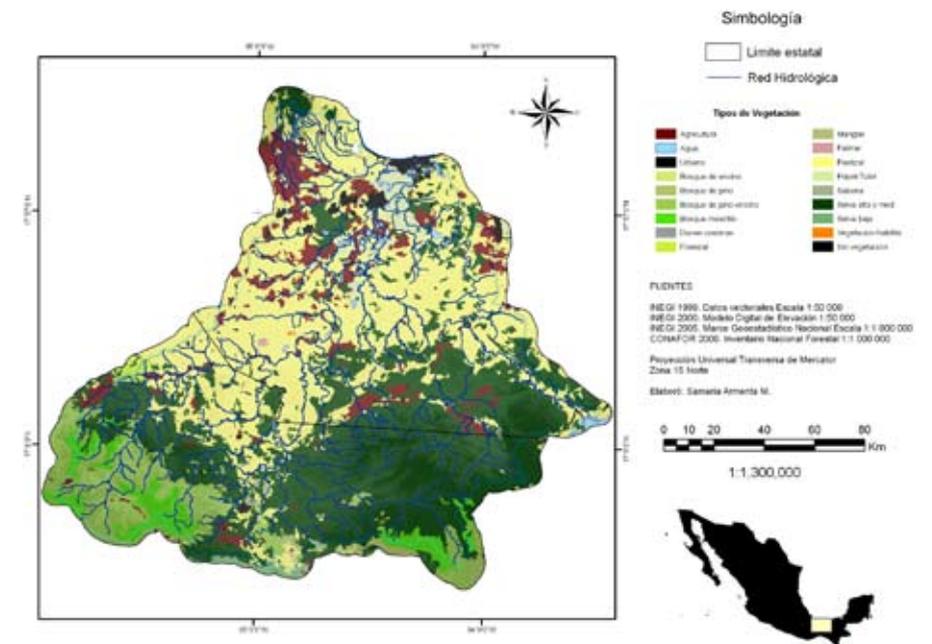
tro y de la región Hidrológica 29 de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Se encuentra geográficamente entre 16° 38' y 18° 22' latitud norte, y 94° 11' y 95° 45' longitud oeste (mapa 49). Tiene un área aproximada de 17 369 km², distribuida entre los estados de Oaxaca y Veracruz (Pereyra y Pérez, 2006). La cuenca abarca 40 municipios, de los cuales 15 pertenecen al estado de Oaxaca y 25 a Veracruz, comprendiendo una población de 1.3 millones de habitantes. Los municipios que tienen mayor cantidad de habitantes son: Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque (INEGI, 2005 b). El área presenta altitudes desde el nivel del mar, con un 80% de su superficie menor a los 200 m, pocos lomeríos, y el punto más alto alcanza los 2 100 m en la parte final de la Sierra Madre del Sur (Sierra Norte de Oaxaca) y la parte inicial de la Cordillera Centroamericana (Sierra Atravesada).

Mapa 49.
Ubicación de la cuenca del río Coatzacoalcos
Fuente: Citro, 2011
(¿CITRO significa Centro de Investigaciones Tropicales?)



El sistema hidrográfico del río Coatzacoalcos es el tercero más importante del país por su caudal, después de los sistemas Grijalva-Usumacinta y Papaloapan (Conagua, 2007). El volumen de agua utilizada en la cuenca asciende a 355.2 hm³, de los cuales el 11.5% se obtiene de extracción subterránea y el 88.5% de fuentes superficiales; el 74.8% se destina a actividades industriales, el 24.3% a uso público-urbano, el 0.8% a la agricultura y el 0.1% restante a otros usos (Consejo de Cuenca del río Coatzacoalcos, 2010). El río Coatzacoalcos está constituido por importantes afluentes, entre los que destacan los ríos Uxpanapa, Jaltepec, Coachapa y Calzadas (mapa 50). Los primeros nacen en las sierras que delimitan el parteaguas del Istmo de Tehuantepec y el último en la Sierra de los Tuxtlas (Pereyra y Pérez, 2006). El clima es cálido húmedo y subhúmedo con lluvias en verano, excepto la

Mapa 50.
Tipos de vegetación y la red hidrológica en la cuenca del Coatzacoalcos
Fuente: Citro, 2011
(¿CITRO significa Centro de Investigaciones Tropicales?)



zona montañosa de Oaxaca, donde es semicálido húmedo. La temperatura promedio anual es mayor a los 26 °C y la precipitación media anual es de 1 700 mm en la planicie costera y de 3 000 mm en la zona del río Uxpanapa.

Los tipos de vegetación presentes, de acuerdo a diversas clasificaciones (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978; Sousa, 1968), son diez: bosque mesófilo de montaña (2.1%), bosque de pino (1%), bosque de pino-encino (7.9%), encinar (0.1%), selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia (26%), selva baja (12.2%), sabana (0.8%), popal-tular (1.4%), manglar y vegetación halófila, además de otros usos como el palmar y plantaciones forestales, como el hule (*Hevea brasiliensis*). El uso de suelo predominante y más extenso son los potreros, con un 38.6% de su superficie, y 7.3% de agricultura (mapa 50).

Extensas áreas del paisaje de la cuenca comprenden potreros, debido a que gran parte de las selvas originales fueron deforestadas severamente desde los años setenta, debido al poblamiento del Valle del Uxpanapa y a programas gubernamentales que promovían erróneamente el desmonte masivo para la agricultura, proyecto que resultó en un rotundo fracaso y ecocidio nacional (Aguilera, 2004). Como muestra de lo que sucede en las selvas mexicanas, Masera y colaboradores (1997) estimaron que este ecosistema cubría alrededor de un 20% de la superficie nacional, pero entre 1976 y 1980 la deforestación anual fue de 160 000 ha/año, y para el año 2000 cambió a 10 800 km² por año, siendo las selvas las más afectadas, y el cambio de uso de suelo como la principal causa de desaparición (Conagua, 2007).

Modelación. Para este ejercicio se desarrolló un modelo y se determinaron las características hidrológicas de la cuenca del río Coatzacoalcos, se evaluaron las relaciones con la cobertura de vegetación y uso del suelo en el paisaje. Para la modelación hidrológica de la cuenca se aplicó el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), el cual está basado en características físicas específicas como la topografía, el tipo de suelo, de vegetación y las prácticas de manejo, así como el clima (Benavides *et al.*, 2008). Este modelo se desarrolló para evaluar el impacto de las prácticas agronómicas sobre la calidad y producción de agua, y sedimentos en cuencas grandes y complejas (Guzmán *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2004). Las características físicas empleadas permiten evaluar los procesos y patrones hidrológicos, y determinar los impactos que pueden ocurrir en una cuenca en relación con las variables y condiciones climatológicas, cambios de cobertura y uso de suelos e incluso distintos tipos de manejo o sistemas agroforestales desarrollados.

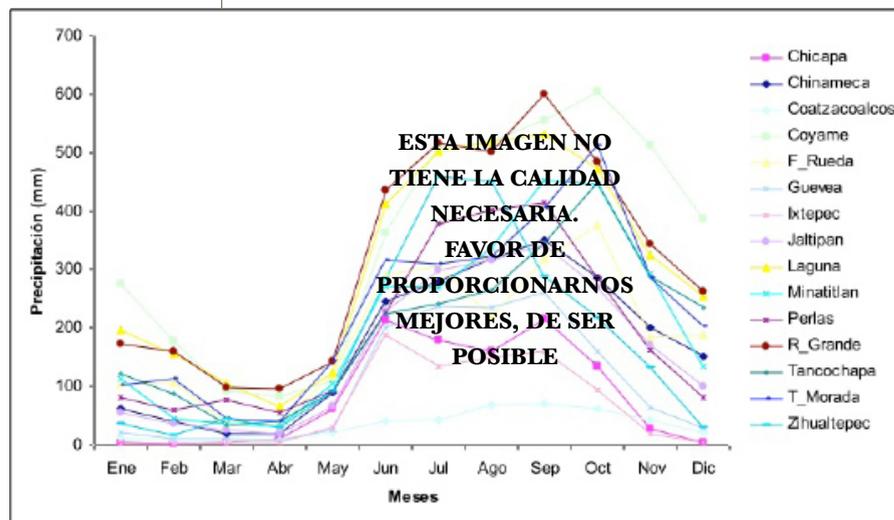
Para la caracterización hidrológica, aplicando el modelo SWAT, es necesario integrar datos climatológicos, topográficos, edafológicos, de vegetación y uso del suelo. Adicionalmente, el modelo permite la integración de tipos de manejo e insumos agropecuarios presentes en una cuenca. En este estudio se emplearon los datos climatológicos obtenidos por la Conagua, la red hidrológica georreferenciada del INEGI (1983), datos edafológicos georreferenciados de Conabio (1995), integrados con datos fisicoquímicos de suelos de la FAO-ISRIC-SICS(1999), el modelo de elevación (90 m) de INEGI (2000), y datos georreferenciados de vegetación y uso de suelo del Inventario Nacional Forestal (Conafor, 2000).

Los datos climatológicos fueron procesados con información de los años 1982 a 2005, proveniente de 15 estaciones climatológicas que se encuentran dentro y alrededor del área analizada. El procesamiento requiere de información de precipitación, temperaturas, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Cabe mencionar que el clima es uno de los elementos más influyentes en el modelo, por lo que su integración es sumamente importante y valiosa. La gráfica 26 muestra el promedio de la precipitación mensual de las estaciones empleadas.

Los tipos de vegetación y uso de suelo clasificados en el modelo fueron agricultura (AGRL), pastizales (PAST), bosque mesófilo (FRSD), bosque mixto (FRST), selva alta y mediana perennifolia (FRSE), pino (PINE), manglares (WETF), popal y tular (WETN), áreas urbanas (URML) y cuerpos de agua (WATR). En base a las categorías definidas, SWAT integra las características biofísicas de los ecosistemas y agroecosistemas que influyen en los procesos hidrológicos, como la evapotranspiración y percolación.

■ **Gráfica 26.**
Promedio de las precipitaciones mensuales (1982-2005) de las 15 estaciones utilizadas en el modelo SWAT

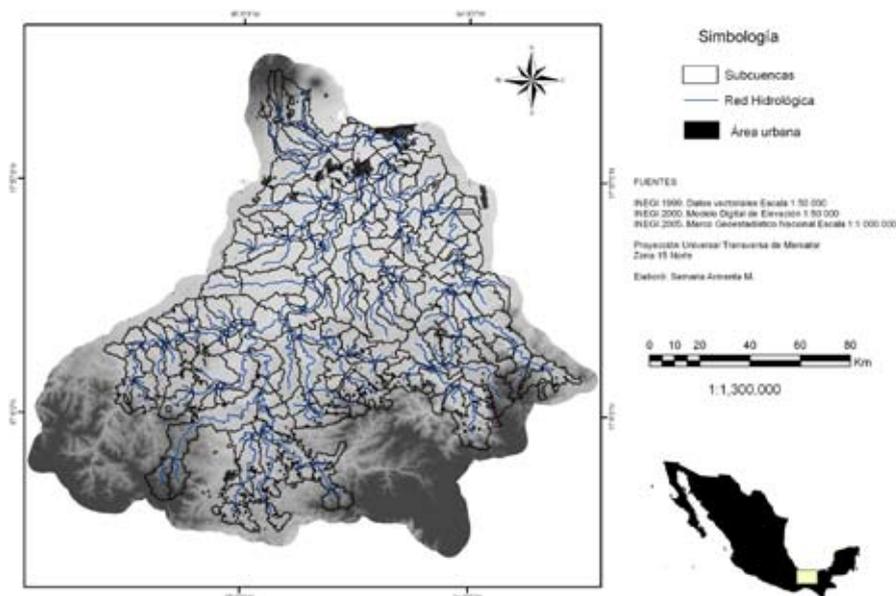
Fuente: FALTA



De manera similar, se recategorizaron los tipos de suelos usando la clasificación correspondiente a la base de datos de la FAO, de donde se integraron parámetros físicoquímicos del suelo, como porosidad, textura, conductividad hidráulica y eléctrica, entre otros. La inclusión de las propiedades físicas y químicas en el modelo SWAT son esenciales para la modelación hidrológica, ya que éstas intervienen significativamente en los procesos de drenaje, escurrimiento superficial y sedimentación. Los tipos de suelos considerados en el modelo fueron un total de 28, siendo los más predominantes el acrisol, luvisol y regosol (INEGI, 1995).

Resultados y discusión

El modelo hidrológico SWAT, de acuerdo a la topografía de la cuenca, analiza la superficie susceptible de relacionar, por lo que el área final observada es de 15 293.75 km², es decir, el 88.05% del total de la superficie de la cuenca. Dentro de esta superficie, SWAT generó un total de 265 microcuencas (mapa 51), permitiendo determinar la distribución espacial y detallada de las características hidrológicas en cada microcuenca y su relación con las características de uso de suelo, tipos de suelo, topografía y los datos climatológicos de más de veinte años. Se compararon los datos reportados por la Conagua (2001, 2007) y los estimados por el modelo SWAT de gasto medio anual en la desembocadura y escurrimiento total, considerando el área analizada, siendo 440.8 m³/s vs 577.5 m³/s para el gasto medio, y 28 839 hm³/año vs 20 171.4 hm³/año de escurrimiento total, por lo que los datos estimados son considerados como aceptables.



■ **Mapa 51.**
Subdivisión de la cuenca (88%) por el modelo SWAT
Fuente: FALTA

El modelo SWAT, de acuerdo a las características físicas generales y al porcentaje de superficie que ocupa cada tipo de vegetación, finalmente agrupó ocho tipos de uso de suelo y vegetación (cuadro 5). La agricultura y el pastizal ocupan casi el 60% de la superficie total de la cuenca, arriba de las cifras estimadas para el país, que es del 21% (Velásquez *et al.*, 2000); las selvas presentes en un 35%, lo que indica la representatividad de este ecosistema en el sureste mexicano; y el resto de la superficie con otros ecosistemas. Es curioso la imperceptible representación del bosque mesófilo (0.92 %) y un porcentaje aceptable de los humedales (3.74 %).

CUADRO 5

Tipo de uso de suelo y vegetación estimado por el modelo SWAT

Uso de suelo	Area (%)
Pastizal (PAST)	54.20
Selva alta y mediana (FRSE)	34.64
Agricultura (AGRL)	5.81
Popal-Tular (WETN)	3.74
Bosque mesófilo (FRSD)	0.92
Bosque mixto (FRST)	0.40
Urbano (URML)	0.27
Cuerpos de agua (WATR)	0.02

Se logró la caracterización hidrológica de la cuenca. En el cuadro 6 se muestran los principales procesos hídricos. Es notable que el 49% de la precipitación y 96% de la producción del agua se pierda por escurrimientos superficiales, lo cual indica la poca infiltración en la cuenca, y la existencia, de inicio, de un grave problema de inundación para la cuenca media y baja, por ser una de las zonas con altas tasas de precipitación. La evapotranspiración es de 1304.9 mm, es decir, el 49% de la precipitación, lo que indica la posibilidad de almacenamiento y captación del agua si se empiezan a mejorar las condiciones paisajísticas y de los ecosistemas.

CUADRO 6

Distribución de las principales características hidrológicas en la cuenca del río Coatzacoalcos

Características hidrológicas	Valor anual
Precipitación (PREC)	2686.6 mm
Escorrentía superficial (SURQ)	1318.9 mm
Escorrentía lateral (LATQ)	13.5 mm
Escorrentía subsuperficial (GWQ)	40.2 mm
Evaporación (E)	16.6 mm
Recarga de acuíferos (AQ)	2.8 mm
Recarga total al suelo (AQT)	56.5 mm
Producción de agua (WYLD = SURQ+ LATQ+ GWQ-TLOSS)	1369.5 mm
Percolación profunda (PERC)	56.9 mm
Evapotranspiración (ET)	1304.9 mm
Evapotranspiración potencial (PET)	25 860.4 mm
Pérdidas por transmisión (TLOSS)	β.1 mm
Producción de sedimentos (TSED)	36.3 ton/ha

Se compararon un año de inundaciones (1989) y un año normal (1997) para mostrar diferencias bajo distintas condiciones climáticas en la cuenca (cuadro 7). Existe un aumento del 32% de precipitación, del 68% de producción de agua y del 31% del escurrimiento subsuperficial en 1989, lo que indica mayor probabilidad de inundación al

tener más agua escurriendo cuenca abajo y mayor permanencia de la misma en el subsuelo, lo que permite que se almacene y que su salida sea más lenta en un evento de inundación. Es importante resaltar el aumento del 272% del transporte de sedimentos en 1989, es decir, que al aumentar la cantidad de precipitación también aumentan la pérdida de suelo.

CUADRO 7

Comparación de dos años distintos de acuerdo a sus características hidrológicas en la cuenca del río

Año/ Parámetro	1997 (Normal)	1989 (Inundaciones)	Cambio %
PREC	2491.8 mm	3300.16 mm	32
SURQ	1068.6 mm	1821.5 mm	70
LATQ	15.22 mm	15.89 mm	4
GWQ	36.72 mm	48.28 mm	31
PERC	48.75 mm	69.59 mm	43
SW	75.14 mm	50.81 mm	-32
ET	1390.6 mm	1408.04 mm	1
WYLD	1117.23 mm	1882.53 mm	68
TSED	20.71 ton/ha	76.98 ton/ha	272
NO ₃ _SURQ	5.65 kg/ha	7.61 kg/ha	35

Se muestra el año 2005 para ejemplificar las condiciones más recientes en la cuenca, encontrando la variable del escurrimiento superficial (SURQ) y el transporte de sedimentos en el río (SED_OUT) como los más representativos. Los resultados muestran que existe una alta escorrentía superficial en las subcuencas que están relacionadas directamente con la presencia de pastizales y en menor proporción con agricultura o selvas (cuadro 8).

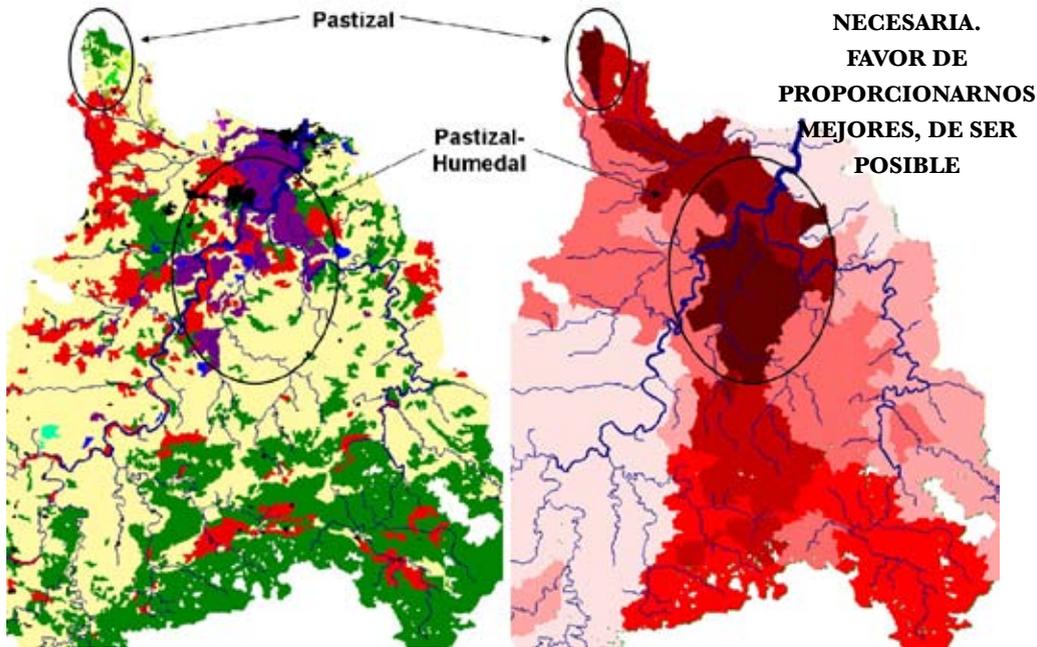
El afluente Coachapa, en el municipio de Minatitlán (cuenca baja), presenta la zona más extensa con fuertes escurrimientos superficiales (hasta 3 526.7 mm/año), área con más del 90% de superficie con pastos, además de tener una precipitación anual por encima de los 4 000 mm, con lo que au-

CUADRO 8

Subcuencas con alta escorrentía superficial (SURQ) en la cuenca del río Coatzacoalcos

Microcuenca	Afluente principal	Municipio	Uso de suelo	Altitud (m)	Área (ha)	Surq (mm)
1	Calzadas	Soteapan	Pastizal-selva	638	3442.5	3707.1
2	Calzadas	Soteapan	Pastizal-selva	682	3856.5	3548.9
52	Coachapa	Minatitlán	Agricultura-Pastizal-Humedal	28	3363.7	3526.7
90	Coachapa	Minatitlán-Hidalgotitlán	Pastizal	19	15059.3	3418.6
80	Uxpanapan	Minatitlán	Pastizal	20	4542.7	3407.9
68	Coachapa	Minatitlán	Pastizal	5	4502.2	3400.1
40	Coachapa	Minatitlán	Agricultura-Humedal	5	4970.2	3361.5
59	Uxpanapan	Minatitlán	Pastizal	10	6736.5	3356.7
51	Uxpanapan	Minatitlán	Pastizal-Humedal	5	2506.5	3339.4
33	Coatzacoalcos	Cosoleacaque	Pastizal-Urbano	10	3557.2	3317.0
71	Uxpanapan	Minatitlán	Pastizal	7	580.5	3295.1
46	Coatzacoalcos	Minatitlán	Pastizal-Humedal	5	3532.5	3267.6
45	Coatzacoalcos	Minatitlán	Pastizal-Agricultura-Humedal	5	6018.7	3252.8
67	Coachapa	Hidalgotitlán-Minatitlán	Pastizal-Humedal	5	11781.0	3234.6
39	Coatzacoalcos	Minatitlán	Agricultura-Pastizal	5	859.5	3228.4

mentan los volúmenes de agua transitables hacia la cabecera del mismo municipio y los humedales. La parte alta del río Calzadas (recibe el nombre de río Huazuntlán), microcuenca que nace en las faldas del volcán Santa Marta y transformada para pastizales, muestra los más altos valores de escurrimientos (3 707.1 mm/año), que bajan directamente a los municipios de Chinameca y Cosoleacaque, aumentando la probabilidad de inundación (mapa 52). Estos datos indican que grandes áreas de agricultura y pastizal responden más rápido a eventos de lluvia extrema, ya que aumentan los valores de escurrimientos superficiales como lo mencionan también Benavides y colaboradores (2008) en la cuenca Tapalpa, Jalisco.



Mapa 52. Zonas con mayores escurrimientos superficiales en la cuenca del río Coatzacoalcos
Fuente: FALTA

ESTA IMAGEN NO TIENE LA CALIDAD NECESARIA. FAVOR DE PROPORCIONARNOS MEJORES, DE SER POSIBLE

En el caso de los sedimentos, las áreas con problemas están localizadas principalmente en el parteaguas de las cuencas de los ríos Coatzacoalcos y Calzadas, en la zona de humedales en la cuenca baja y en la parte alta y media del río Uxpanapan (cuadro 9). La zona donde inicia el río Coatzacoalcos se caracteriza por remanentes de selva y/o acompañada de pastizal o agricultura, con pendiente pronunciada, donde el río transporta alrededor de 2 668 000 ton/año de sedimentos. Una vez más, la cuenca alta del río Calzadas (río Texizapan en su nacimiento) cubierta por pastizales en su totalidad y localizada en los bajos del volcán Santa Marta, aporta 316.3 ton/ha/año de sedimentos, transportando alrededor de 1 164 000 ton/año en el río. Cabe mencionar que el río Texizapan es uno de los tributarios del Sistema Yuribia, acueducto que abastece a las poblaciones de Minatitlán y Coatzacoalcos, por lo que con estas

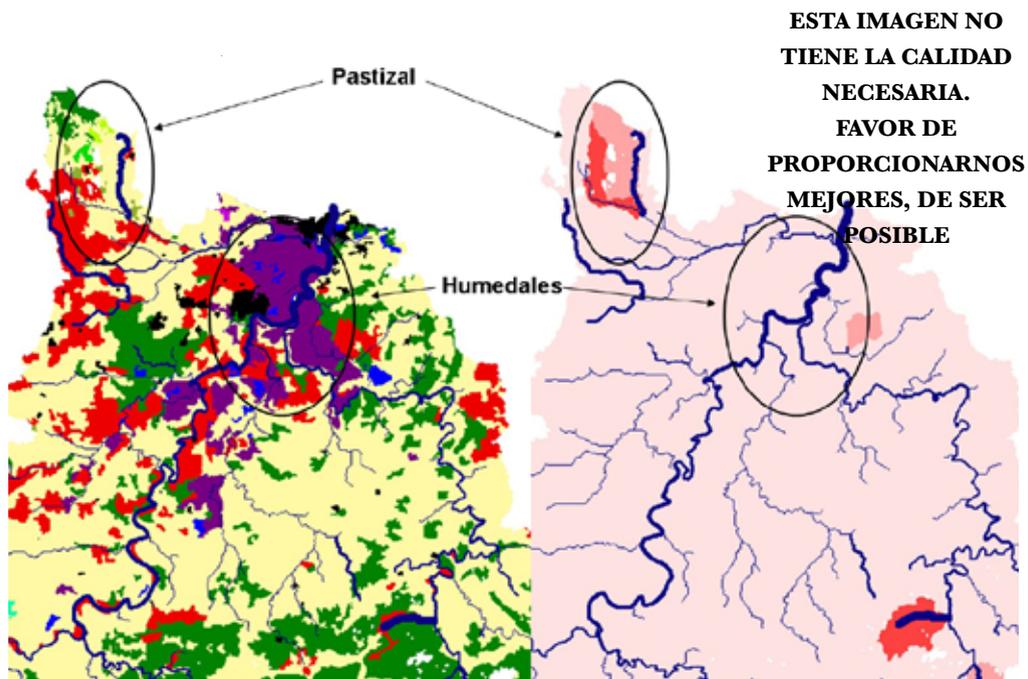
grandes cantidades de sedimentos, no es extraño que el sistema cierre frecuentemente sus válvulas por aumento de turbiedad.

La cuenca baja del río Coatzacoalcos, zona de humedales localizada entre los poblados de Minatitlán, Cosoleacaque y Coatzacoalcos, es la que presenta graves problemas de transporte de sedimentos en el río, hasta de 2 178 000 ton/año (mapa 53); este lugar ha sido víctima de frecuentes inundaciones. La cantidad concentrada de sedimentos es una de las posibles causas de inundación y aumento en la proliferación de enfermedades dermatológicas y diarreas por azolvamiento del río.

CUADRO 9

Subcuencas con alto transporte de sedimentos (SED_OUT) en la cuenca del río Coatzacoalcos

Micro cuenca	Afluente principal	Municipio	Uso de suelo	Altitud (m)	Área (ha)	Sed_out (ton/año)
261	Coatzacoalcos	Santa Ma. Chimalapa	Selva	560	4061.2	2 668 000.0
265	Coatzacoalcos	Coatzacoalcos	Urbano-Pastizal	10	2281.5	2 178 000.0
9	Coatzacoalcos	Coatzacoalcos	Selva-Humedal	10	639.0	2 176 000.0
133	Uxpanapan	Minatitlán	Agricultura-Selva	173	8529.7	1 920 000.0
24	Coatzacoalcos	Ixhuatlán del Sureste-Minatitlán	Pastizal	28	2004.7	1 849 000.0
21	Coatzacoalcos	Cosoleacaque-Ixhuatlán del Sureste	Pastizal-Humedal	5	5238.0	1 848 000.0
14	Coatzacoalcos	Cosoleacaque-Nanchital	Pastizal-Urbano-Selva	10	627.7	1 848 000.0
25	Coatzacoalcos	Minatitlán	Humedal	5	1905.7	1 829 000.0
31	Coatzacoalcos	Minatitlán	Humedal-Urbano	5	2729.2	1 269 000.0
36	Coatzacoalcos	Minatitlán	Pastizal-Humedal-Agricultura	5	981.0	1 213 000.0
4	Calzadas	Soteapan-Tatahuicapan-Mecayapan	Pastizal	227	10327.5	1 164 000.0
194	Coatzacoalcos	Uxpanapa	Agricultura-Selva	121	7035.7	1 148 000.0
223	Uxpanapan	Uxpanapa-Sta. Ma. Chimalapa	Agricultura-Selva	98	6972.7	1 051 000.0
257	Coatzacoalcos	Asunción Ixtaltepec-Barrio de la Soledad	Pastizal-Selva	308	11695.5	983 500.0
88	Coatzacoalcos	Hidalgotitlán-Textistepec	Pastizal-Agricultura	10	9391.5	977 900.0



■ Mapa 53. Transporte de sedimentos en zona de humedales de la cuenca del río Coatzacoalcos
Fuente: FALTA

Por último, en la parte alta del Uxpanapa en los tramos La Ceiba y Tenochtitlan con 1 051 000 ton/ha/año y 1 920 000 ton/ha/año, respectivamente, áreas que presentan una combinación de agricultura con remanentes de selva, lo cual indica que esta región ya está mostrando las consecuencias del mal manejo de las partes altas. Es necesario mencionar que la zona del río Uxpanapa es uno de los afluentes más importantes en la región, contribuye con el 25.2% de los escurrimientos en la cuenca (Consejo de Cuenca del río Coatzacoalcos, 2010) y provee a la zona industrial de Coatzacoalcos a través del Acueducto Uxpanapa-La Cangrejera.

Conclusiones

El modelo SWAT simuló las características hidrológicas en la cuenca Coatzacoalcos de manera acep-

table, analizando el 88.05% del total de la superficie de la cuenca. Presenta el 60% de la superficie ocupada por sistemas agropastoriles, el 40% con algún tipo de selva, bosque o humedal, siendo selvas las de mayor representatividad en un 35%. Las selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias son sistemas complejos, con una gran biodiversidad y servicios ecosistémicos, el cual incluye formar parte esencial del ciclo del agua. **CONFUSO**

Se evaluaron procesos del ciclo del agua, es decir, las características hidrológicas en la cuenca del Coatzacoalcos, y se encontró que la mayor cantidad de la producción del agua se pierde por escurrimientos superficiales (96%), lo que explica el problema recurrente que presenta la cuenca baja por fenómenos meteorológicos o tormentas, ya que casi el 49% de lo que llueve se está perdiendo en escurrimientos, aumentando también los sedimentos hacia el río. Cuando aumentan la cantidad de lluvia, los escurrimientos y la producción del agua, también aumenta la probabilidad de inundación cuenca abajo. Al tener mayor entrada al sistema, el subsuelo empieza a saturarse y el agua tarda más en salir.

Las variables que presentan problemática en ciertas áreas de la cuenca del Coatzacoalcos son el escurrimiento superficial y el transporte de sedimentos. Las áreas con mayor escurrimiento superficial (3 707-3 228 mm) son el río Coachapa, el cual desemboca 5 km arriba del poblado de Minatitlán; también la cuenca alta del río Calzadas, el cual nace en el volcán Santa Marta y desemboca en la ciudad de Coatzacoalcos. Dichas áreas coinciden con zonas agropecuarias, principalmente de pastizales, es decir, que existe una relación entre la existencia de potreros y los escurrimientos.

El transporte de sedimentos en el río (2 668 000 ton/año) se presenta en áreas con algún tipo de alteración, tanto en zonas con pendientes como en la cuenca baja. Una gran cantidad de sedimentos se transporta desde el parteaguas de dos de los principales afluentes, el río Coatzacoalcos y el río Calzadas; concentrándose en la zona de humedales (2 178 000 ton/año). Es necesario resaltar que estos ríos desembocan y transitan por los poblados de Minatitlán y Coatzacoalcos, lo que indica un azolvamiento de estos tramos hidrológicos, al disminuir el potencial de mitigación que tienen estos afluentes en eventos de lluvias torrenciales. En varias ocasiones se ha comunicado la necesidad de dragar el río Coatzacoalcos, pero a pesar de que en el Golfo de México cada año se dragan 100 millones de toneladas de sedimentos (Rivera y Borges, 2006), se ha notado que esto no es suficiente para revertir la frecuencia y los impactos de las inundaciones.

El río Uxpanapa es uno de los tributarios más importantes de la cuenca –que nace en una zona biológicamente interesante por mantener los últimos manchones de selva alta–, razón por la que existe una gran preocupación, debido a las considerables cantidades de sedimentos transportados en este río, consecuencia, probablemente, de la deforestación masiva recurrente desde los años setenta. Como nos podemos dar cuenta, el planteamiento de conservación y reforestación con especies nativas, la organización de las comunidades afectadas o beneficiadas y de propietarios de remanentes de zonas forestadas en la cuenca alta y media del río Uxpanapa son realmente inaplazables.

Muchas de las acciones en torno a la cuenca del Coatzacoalcos se han enfocado en la continuidad

del abastecimiento del agua para la zona industrial y el servicio público, pero muy poco se ha hecho en relación al tratamiento de las aguas residuales e industriales, la regulación de los sistemas agropecuarias, el uso de fertilizantes o herbicidas en los cultivos, el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y la reforestación o conservación de las partes altas de la cuenca.

Como ya se ha señalado, la ocupación y transformación de los territorios regionales de Veracruz ha ocurrido como consecuencia de distintas formas de apropiación de los recursos naturales, que se originan de distintos valores de uso de los entornos naturales (basta tomar como ejemplo el impacto de la explotación petrolera o de la destrucción de selvas para ampliar el área agropecuaria). Actualmente, el 74% del territorio veracruzano está fuertemente antropizado, y esta transformación territorial se ha asociado a una creciente problemática ambiental expresada de distintos modos, entre los que destaca la pérdida de biodiversidad, de recursos naturales y de servicios ambientales, lo cual repercute y potencializa los impactos del cambio climático.

Es necesario hacer esfuerzos que conjuguen diferentes visiones, analizando la historia social y ambiental que han configurado el paisaje; con estas bases y paralelamente con un compromiso social, la tarea de recobrar el capital natural de Veracruz es viable. En este mismo sentido, es preciso encontrar una línea de trabajo definida para el área de la cuenca del río Coatzacoalcos, cuyas modificaciones de origen antrópico dirigidas al cambio de uso de suelo han modelado el paisaje actual y han desencadenado problemas de inundaciones en zonas bajas de la cuenca. Asimismo, se requiere

plantear acciones específicas de restauración ecológica, dirigidas a recobrar el capital natural de la zona de Uxpanapa a través de un reconocimiento de su propia diversidad, en un esquema de inclusión social, promoviendo la participación de los habitantes locales en el compromiso de recuperar sus recursos históricamente modificados.

Bajo el escenario actual, donde los ecosistemas naturales se encuentran muy fragmentados y una gran proporción de éstos han sido convertidos en zonas agrícolas y ganaderas, se ha planteado la restauración ecológica como la alternativa viable para la recuperación de los ecosistemas depauperados. Esto tiene como fin último la recuperación de los servicios ecosistémicos y del bienestar social.

Estratégica restauración ecológica

Es ampliamente reconocido que para regular las inundaciones es fundamental el mantenimiento de condiciones adecuadas del suelo (profundidad, textura y contenido de materia orgánica), de la cobertura vegetal (tanto en las partes altas de las montañas como a lo largo de los ríos y de las costas), de los humedales y de los lagos (Balvanera *et al.*, 2009). Por ello, se ha propuesto que acciones como la reforestación de los ecosistemas terrestres y costeros –aplicable para las principales cuencas del estado de Veracruz–, que incrementen la cobertura vegetal, pueden ser muy relevantes para mitigar los impactos negativos de las inundaciones, (Manson *et al.*, 2009). Esto es de suma importancia para el estado, debido a que su territorio recibe el 12% de la precipitación total nacional y el 28% del escurrimiento pluvial del país (CNA, 2002 **¿QUÉ**

SIGNIFICA CNA? ES LA Conagua?), que aunado a la gran pérdida de cobertura vegetal, que hoy en día continúa, colocan en gran riesgo el desarrollo de la planicie costera del estado y de sus poblaciones.

En la actualidad, la ecología de la restauración ofrece un cuerpo teórico que puede servir como base para establecer prácticas de recuperación de los procesos ecosistémicos. La estrategia de restauración pretende acelerar los procesos ecológicos mediante la reintroducción de especies nativas, utilizando como criterio de elección sus características funcionales y sus efectos en la funcionalidad del ecosistema. Por lo que los grupos funcionales pueden ser implantados en relación a la situación que se desee restaurar en cada ecosistema y de acuerdo al grado de deterioro. Con esto se podría reactivar y acelerar la dinámica natural de los ecosistemas; por ejemplo, para restituir zonas de pastizales asociados a selvas tropicales altas se podrían seleccionar especies típicamente pioneras, de crecimiento rápido, con hojas anchas y alta producción de semillas. Estas características permiten modificar el microambiente, permitiendo la llegada y establecimiento de especies con otras historias de vida, como las especies primarias.

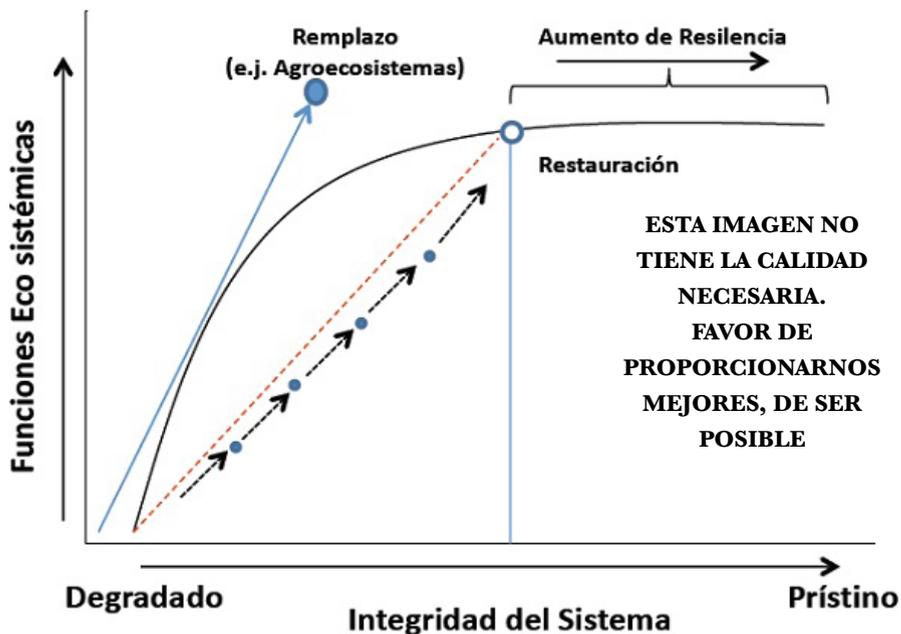
En la gráfica 27 se presenta el esquema conceptual de la propuesta de restauración, en el que se puede apreciar la relación entre las funciones ecosistémicas y la integridad del sistema. Al integrar grupos funcionales claves a un ecosistema degradado se pueden recobrar la mayoría de sus funciones. Para esto es necesario detectar el punto de integridad en el que se encuentra el sistema (puntos pequeños en la gráfica 27) y determinar el o los grupos funcionales pertinentes para acelerar

el proceso de restauración. Una vez que la mayoría de los procesos se han recobrado en el sistema (círculo sin relleno, ver gráfica 27), se debe aumentar la redundancia funcional para garantizar la resiliencia del sistema. En sistemas intensamente dañados y/o con fuerte presión antrópica (áreas rurales-urbanas adyacentes) se puede optar por desviar la trayectoria natural del sistema (línea azul continua, ver gráfica 27) y reemplazar las áreas por sistemas diferentes (agroecosistemas, parcelas comunales, parques etcétera; círculo sólido, ver gráfica 27), diseñadas de tal manera que puedan proveer bienes y servicios sociales y ambientales, además de funciones ecosistémicas con una menor diversidad taxonómica.

Tomando esta definición conceptual, la propuesta práctica general de la estrategia de restauración ecológica se resume en cuatro fases principales (esquema 6), las cuales se describen a continuación:

■ **Gráfica 27.**
Relación entre la integridad del ecosistema y las funciones ecosistémicas

Fuente: FALTA



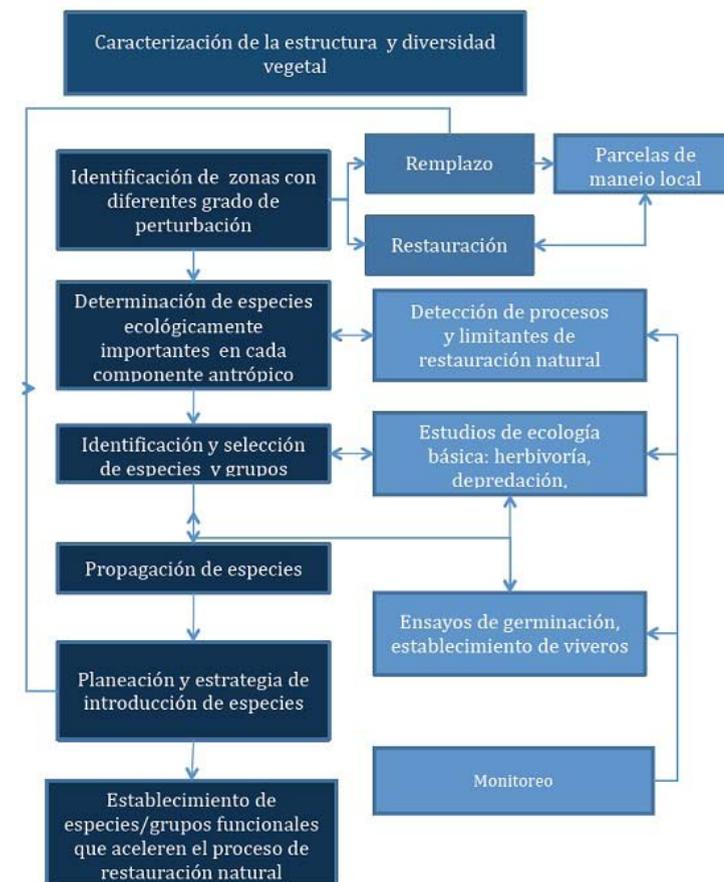
- *Identificación de zonas con diferentes grados de perturbación.* En cada zona por restaurar se debe realizar un diagnóstico para identificar la problemática ecológica y social. A través de un análisis cartográfico se delimitan sus áreas naturales, urbanas y se determina el estado actual del uso del suelo. Esto sirve para establecer la estrategia de muestreo y la caracterización ecológica de la zona y para detectar los sitios que será necesario restaurar. La definición de la estrategia de restauración será consensuada con los pobladores locales, para definir el tipo de especies nativas que son de su interés o según el caso el tipo de uso que se le dará a la zona. Se debe dar prioridad al uso de especies locales que puedan recuperar las funciones básicas del ecosistema original.

- *Determinación de especies ecológicamente importantes en cada componente antrópico.* Para áreas naturales con distintos niveles de integridad y con el potencial de ser restauradas se realiza una caracterización de la estructura y diversidad vegetal actual. A través de muestreos de la vegetación para determinar la frecuencia, dominancia y densidad de cada especie en los distintos componentes del mosaico de regeneración natural y la presencia de plántulas, lo cual representa el potencial de regeneración *in situ*. Para establecer la función potencial de cada especie en las distintas etapas de sucesión natural se desarrolla un análisis de similitud de la composición florística de todas las fases del mosaico de regeneración natural. Esta etapa representa una buena oportunidad para detectar en campo los procesos limitantes de la restauración natural (herbivoría, procesos de densodependencia, demografía, impacto

de polinizadores-dispersores, depredación, nutrientes en el suelo, entre otros), sobre los procesos de desarrollo y establecimiento de plántulas en su ambiente natural.

- *Identificación y selección de especies y grupos funcionales.* Apoyados en los análisis de estructura de vegetación y con la documentación de la historia natural de cada una de las especies (síndrome de dispersión-polinización, tasa de crecimiento, tamaño-número de semillas, área foliar específica, asociaciones con micorrizas, etcétera), se pueden construir e introducir grupos funcionales que impulsen la recuperación de las funciones de cada una de las zonas y aceleren los procesos de regeneración natural. De manera paralela, para las especies que formarán los grupos funcionales de restauración, se realiza una exhaustiva búsqueda en la literatura sobre sus principales características de historia de vida. Asimismo, se desarrollarán pruebas de viabilidad de semillas, ensayos de germinación y generación de protocolos óptimos para la producción de plantas que se podrán utilizar en el proceso de restauración. Es importante señalar que el germoplasma para realizar esta actividad será colectado, preferentemente, en la misma zona, para aprovechar adaptaciones locales de los ecotipos a las condiciones ambientales propias de la zona.
- *Establecimiento de especies/grupos funcionales que aceleren el proceso de restauración natural y monitoreo de acciones.* Con la información generada se diseña la estrategia de introducción de especies, la cual no incluye solamente la reintroducción de

especies a la zona a restaurar, sino también la aplicación de técnicas como la translocación de plántulas, la facilitación para el desarrollo de las plantas existentes o la inserción de árboles instantáneos. Como un paso fundamental para validar la implementación de estas estrategias, se debe establecer paralelamente un programa de monitoreo. En éste se realizarán medidas del desempeño de las especies, definición de los grupos funcionales y de las características ecosistémicas de la zona restaurada, y cuando sea el caso se incluirán nuevos insumos que incrementen la funcionalidad y/o aumenten la resiliencia de los ecosistemas.



■ **Esquema 6.** Estrategia de restauración. Los cuadros oscuros indican las etapas principales y los cuadros claros las etapas complementarias. Fuente: FALTA

Estrategia piloto de restauración ecológica: Uxpanapa. La zona de Uxpanapa, Veracruz, está ubicada en el límite con los estados de Oaxaca y Chiapas, dentro de la cuenca del Coatzacoalcos, parteaguas de los ríos Uxpanapa y Coatzacoalcos. La superficie del área contemplada ocupa parte de los municipios de Las Choapas, Sayula de Alemán, Minatitlán, Hidalgotitlán, Jesús Carranza y Uxpanapa, abarcando un gradiente altitudinal que va de los 50 a los 1 400 msnm.

Esta zona constituye el relicto más extenso de selvas tropicales mejor conservadas en el estado de Veracruz y puede considerarse como uno de los centros de diversidad biológica más importantes del país, ya que en ella se encuentran especies de vertebrados endémicos y especies que se encuentran en peligro de extinción, amenazadas, bajo protección especial y raras. Muestra de esto es que en unas pocas hectáreas podrían hallarse más de 1 000 especies de plantas (incluyendo musgos, helechos y epífitas), de las cuales por lo menos alrededor de 244 tendrían alguna utilidad potencial para el uso humano (Caballero *et al.*, 1978).

A pesar de que tales factores determinan que esta región sea especialmente importante desde el punto de vista biológico, ha sido fuertemente castigada por decisiones políticas erróneas que han disminuido dramáticamente su cobertura vegetal. Parte de estas decisiones fue la construcción de la presa Cerro de Oro en el estado de Oaxaca, en 1972. Esta obra se planeó en el marco del programa de sistemas de presas asociadas a ríos tributarios del Papaloapan, con la consigna de controlar definitivamente las inundaciones y satisfacer la demanda de energía eléctrica y de distritos de riego. Esto contribuiría a la satisfacción de los requerimientos

alimenticios y energéticos nacionales, meta que no se alcanzó. Para la realización de esta obra se llevó a cabo un plan de reacomodo de la población de la zona inundada en Oaxaca hacia las zonas de selva del Uxpanapa. Para lograr este acomodo, se inició un plan que involucraba el desmonte de miles de hectáreas de selvas tropicales lluviosas y un costoso plan de reubicación de los indígenas desplazados, por lo que los nuevos pobladores se enfrentaron a un ambiente inhóspito y sin servicios, del cual desconocían sus formas de manejo básico y no tenían el arraigo que los estimulara al cuidado de sus nuevos recursos naturales. Esto en conjunto propició uno de los mayores “ecocidios” suscitados en la historia del trópico mexicano.

Actualmente los factores antrópicos siguen teniendo una fuerte presión sobre la región, el aumento de la frontera ganadera y agrícola es una de las mayores fuerzas de cambio para la zona. Esto ocasiona una rápida disminución de las áreas boscosas remanentes que quedan reducidas a fragmentos, los cuales están limitados a pendientes muy pronunciadas y suelos calizos. Un efecto sinérgico a la ganadería extensiva en la zona es la transferencia de contaminantes entre fragmentos, ya sea vía hidrológica o biológica, y la transferencia de carga de sedimentos derivados de la erosión del suelo hacia zonas bajas de las cuencas, susceptibles a la colmatación, lo que incrementa el riesgo de inundación en estas zonas.

Es urgente realizar acciones que mitiguen los efectos negativos de la deforestación y de manera particular sus efectos en los riesgos de inundación en la región del Uxpanapa, la cual por sí sola constituye el 30% de la superficie total de la cuenca del Coatzacoalcos. Recientemente se han realizado las

primeras aproximaciones encaminadas a establecer una estrategia de restauración ecológica que favorezca la recuperación de cobertura vegetal en la región del Uxpanapa. Y actualmente se ha desarrollado la etapa de identificación de zonas con diferentes grados de perturbación, así como la determinación de especies ecológicamente significativas en cada componente antrópico.

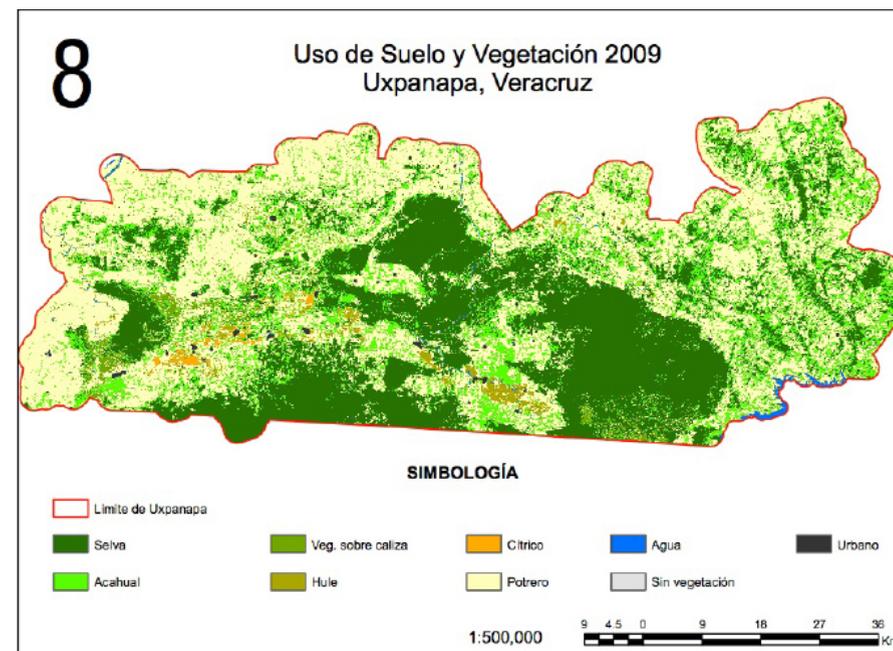
Estas primeras aproximaciones muestran que esta región está fuertemente antropizada, compuesta de un mosaico de distintos usos de suelo, los cuales van desde pastizales de uso ganadero hasta áreas de selva tropical en buen estado de conservación. Entre estos dos extremos encontramos coberturas intermedias como los pastizales abandonados, cultivos de cítricos, plantaciones de hule, acahuals en diversas etapas de sucesión, cercas vivas, vegetación de galería. En conjunto estas coberturas tienen la capacidad de retener una amplia diversidad de especies vegetales, siendo el inóculo de planes de restauración para la zona.

En el cuadro 10 se puede observar la cobertura de los diferentes componentes del paisaje que conforman actualmente la zona de Uxpanapa. Los tres componentes más representativos de Uxpanapa son los potreros, las selvas y los acahuals, que juntos integran el 96% de la cobertura total de la zona (mapa 54).

CUADRO 10

cobertura de los principales componentes del mosaico de la vegetación natural

Tipo de Cobertura	Area (Km ²)
Potreros	209316.3900
Selva	192215.2300
Acahuals	98140.3200
Vegetación afectada por incendios	8634.8900
Plantación de hule	5067.5800
Cuerpos de agua	3713.6600
Cultivo de cítricos	2570.0300
Urbano	1795.3000
Sin vegetación	60.1000



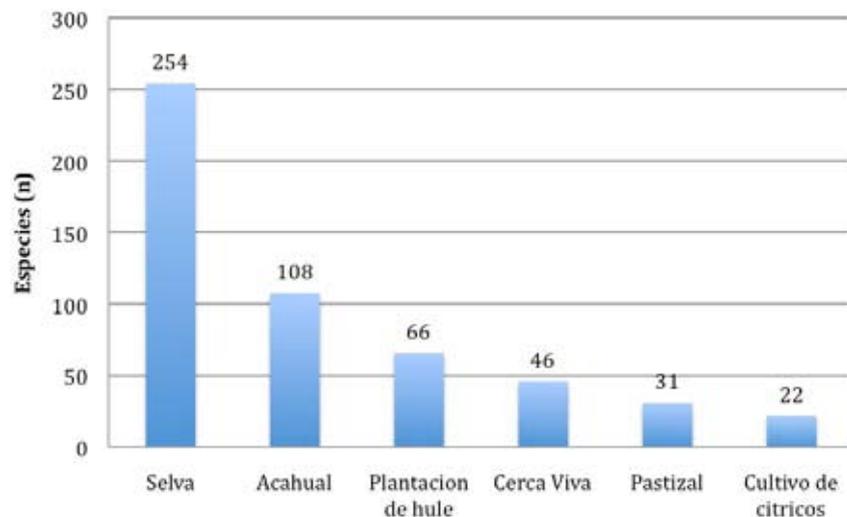
Existe otro grupo de usos de suelo cuya cobertura es de menor área (2.3% de la superficie total de la zona), y está integrado por plantaciones de hule, plantaciones de cítricos y por las zonas que fueron severamente dañadas por los incendios de 1998 y que mantiene a estas áreas en un proceso natural de sucesión, diferente al que se manifiesta dentro de los acahuals. **PÁRRAFO CONFUSO**

Desde el punto de vista cuantitativo la pérdida de cobertura de vegetación natural en la zona es alarmante, ya que sólo se preserva el 36.8% de selva, la cual en su mayoría se mantiene en fragmentos aislados de vegetación o en zonas con pendientes muy pronunciadas. Sin embargo, desde el punto de vista de restauración ecológica, la configuración actual de la zona presenta el potencial de retener componentes de diversidad importantes, los cuales pueden servir para iniciar programas de restauración para la zona.

Mapa 54.
Coberturas de uso de suelo y vegetación en la zona de Uxpanapa
Fuente: FALTA

Como parte de la metodología para la determinación de especies ecológicamente importantes en cada componente antrópico, se realizó un muestreo prospectivo del estrato arbóreo de los distintos componentes del paisaje de la zona. En este trabajo se registraron 374 especies en total de árboles mayores a 10 cm de diámetro, a la altura de 1.3 m del suelo. Las zonas de selva tuvieron la mayor riqueza arbórea con un total de 254 especies, seguidas por los acahuals que presentaron 108 especies. En las zonas fuertemente intervenidas, como las plantaciones de hule, se registraron 66 especies. Dentro de este mosaico destaca en el paisaje la presencia de “cercas vivas”, las cuales se usan para limitar las propiedades (usualmente pastizales) y que muestran también una importante retención de diversidad vegetal, en ellas se registraron 46 especies diferentes de árboles. Este tipo de cercas tienen el potencial de conectar fragmentos y de ser catalizadores de la conversión de pastizales a zonas restauradas. Dentro de los pastizales se registraron 31 especies arbóreas y en los cultivos de cítricos 22 (gráfica 28).

■ **Gráfica 28.** Número de especies registradas en cada uno de los elementos del paisaje de Uxpanapa, para árboles mayores a los 10 cm de diámetro
Fuente: FALTA



Además de la riqueza de diversidad vegetal que guarda cada uno de los elementos del paisaje de Uxpanapa es fundamental analizar el tipo de especies que dominan en cada uno de estos ecosistemas (cuadro 11 **NO ESTÁ**). Por ejemplo, en las zonas de selva persisten especies de crecimiento lento y muchas de ellas de gran biomasa como *Dialium guianense* o palmas típicas de zonas conservadas como *Astrocaryum mexicanum*; además, una importante presencia de *Rinorea guatemalensis*, especie que es reportada como elemento de regeneración de otras selvas medianas y altas perennifolias de México (Gómez, 1985). Por ello, es conveniente coleccionar semillas de estas especies para enriquecer los acahuals y acelerar la recuperación a estadios más avanzados de la sucesión.

En cuanto a las especies encontradas en los acahuals (108), muchas de ellas son especies pioneras de rápido crecimiento (*Myriocarpa longipes*, *Croton pyramidale*, *Cecropia obtusifolia*, *Heliocarpus appendiculatus*), lo que confiere una estructura poco consolidada de estas asociaciones vegetales, por lo que prestan la misma calidad de los servicios ecosistémicos a la zona. No obstante, los acahuals resguardan especies típicas de zonas conservadas como *Pouteria sapota*, *Rinorea guatemalensis* y la palma *Astrocaryum mexicanum*. Esto es indicativo de que existen condiciones ambientales para el establecimiento de especies típicas de zonas conservadas.

En las zonas típicamente consideradas con baja diversidad (plantaciones de hule, cercas, pastizales) se registró un componente arbóreo heterogéneo, en cuanto a diversidad taxonómica y también de grupos funcionales que se encuentran representados. Por ello, las prácticas de manejo que no im-

pliquen la limpieza total de estos sistemas pueden a mediano plazo retener y mantener una amplia diversidad en estas zonas, inclusive con la capacidad de sostener poblaciones de vertebrados de la región.

En el caso de los pastizales para la zona, son toleradas especies como *Cordia alliodora* y *Schizolobium parahyba* (especies también reportadas por Del Amo y Ramos, 1993), las cuales proveen de sombra al ganado y contribuyen a la deposición de semillas que enriquecen el banco de plántulas dentro de los mismos pastizales. Además, los pastizales pueden ser diversificados con especies forrajeras que ayuden a la rehabilitación de la sobrecarga y a la compactación de suelo, y que, además, mejoren los ingresos de los pobladores.

Las cercas vivas cuando son utilizadas de manera adecuada pueden contribuir a la retención de diversidad vegetal (Dirzo *et al.*, 2009; Pulido y Renjifo, 2011). Sin embargo, en la zona no son una práctica generalizada. Un muestreo en esta área indicó que las cercas vivas son utilizadas en el 70% de los pastizales, dejando el restante 30% a cercas muertas que tienen nula capacidad de funcionar como corredores biológicos o sitios de percha para aves que transportan semillas. Por ello, es importante promover el uso de cercas vivas y diversificarlas con especies que atraigan dispersores de semillas que aceleren los procesos de sucesión natural (Martínez y González, 2002).

Es importante señalar que las propuestas de las rutas de restauración discutidas hasta el momento se basan en un análisis de gran escala, en el que se distinguen los usos de suelo y vegetación más conspicuos y más fácilmente detectables por sistemas de percepción remota para la zona. Sin embargo,

a pequeña escala existen otros elementos que pueden ser considerados en las estrategias de restauración, por ejemplo, el uso de elementos de traspatio, solares o huertos familiares, cultivos abandonados, zonas riparias, etcétera. Muchas de estas zonas están en contacto directo con la población y requieren de una intervención integral que establezca estrategias de restauración etnoecológicas, en común acuerdo con los pobladores locales, diversificando con especies nativas y adoptadas (Del Amo *et al.*, 2010). Para lograr esto es sustancial el uso de estrategias participativas que permitan construir espacios de diálogo entre los diferentes actores, sociales y gubernamentales, que intervienen en el manejo y conservación del patrimonio natural del estado. Además de asumir el hecho de que los pobladores locales son los guardianes a largo plazo de los servicios ecosistémicos, creando así una cultura de arraigo para la zona.

Ante la compleja y grave situación actual del ambiente es primordial una visión holística de esta problemática, la cual nos permita identificar los factores raíz del incremento de las consecuencias negativas de las inundaciones y establecer estrategias que mitiguen estos efectos negativos. Sin duda, algunas de las acciones más importantes para mitigar estos efectos negativos están relacionadas con la recuperación de la cobertura vegetal de cuencas de la región del Uxpanapa. Por lo que, los planes y modelos de restauración ecológica, como el aquí planteado, con objetivos claros y acordes con la problemática local, pueden ser relevantes para disminuir el riesgo de inundación en las zonas bajas de las cuencas, además de contribuir a incrementar el bienestar social de los veracruzanos.

Recomendaciones adicionales

- Evitar la tala en la parte alta y media de las cuencas.
- Mantener y/o cultivar árboles nativos.
- Reforestar las zonas ribereñas a lo largo de la cuenca.
- Fomentar la diversificación productiva entre las áreas de cultivo.
- Producir especies maderables nativas de la selva.
- Incluir y capacitar a los pobladores.
- Llevar a cabo reuniones con las comunidades y asociaciones organizadas para iniciar la educación ambiental.
- Integrar el conocimiento local en materia de preservación y utilización de los distintos ecosistemas.
- Integrar el apoyo de grupos multidisciplinarios.
- Buscar conciliación entre las políticas públicas de desarrollo y las políticas ambientales de todas las instancias involucradas en la cuenca.

SIGLARIO

SIGLA	SIGNIFICADO
AD	Árboles de Decisión
AMC	Análisis Multicriterio
AO	Oscilación del Atlántico
Cenapred	Centro Nacional de Prevención de Desastres
Citro	Centro de Investigaciones Tropicales
Conabio	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Conafor	Consejo Nacional Forestal
Conagua	Comisión Nacional del Agua
CT	Ciclones Tropicales
ENSO	El Niño/Oscilación del Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés)
FCIHS	Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea
FONDEN	Fondos de Desastres Naturales
GFS	Global Forecast System (por sus siglas en inglés)
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
HEC-HMS	Hydrologic Modeling System
hPa	hectopascales
HUI	Hidrograma Unitario Instantáneo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
MDE	Modelo Digital de Elevación
NAO	Oscilación del Atlántico Norte
N.E.	Nivel Estático
NHCNational	Hurricane Center (por sus siglas en inglés)
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico
PIB	Producto Interno Bruto
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SSTDE	Toma de Decisiones Espaciales
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
Tc	Tiempo de concentración
TDMC	Toma de Decisiones Multicriterio
USSCS	United States Soil Conservation Service

Bibliografía

- Aceves Lozano J.E. (1994), "Sobre los problemas y métodos de la historia oral", en G. de Garay (coord.), *La historia con micrófono. Textos introductorios a la historia oral*, México, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, pp. 33-46.
- _____ (1995), *Historia oral e historias de vida. Teorías, métodos y técnicas. Una bibliografía comentada*, México, CIESAS (Colección Miguel Othón de Mendizábal).
- Aguilera, R.S. (2004), Desarrollo, población y uso de los recursos naturales en el Valle del Uxpanapa, tesis de licenciatura, Xalapa, Universidad Veracruzana, 89 pp.
- Aguirre Beltrán G. (1991), "Tlacotalpan: génesis, significados y ubicación en el pantano", en *La Palabra y el Hombre*, núm. 79, Xalapa, Universidad Veracruzana, julio-septiembre.
- Alexander, D. (1999), *Natural Disasters*, Países Bajos, Kluwer Academic Publishers, 621 pp.
- Alexander, L., X. Zhang, T. Peterson *et al.* (2006), "Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation", en *Journal of Geophysical Research*, núm. 111, vol. 5, 22 pp.
- Alexandersson, H. y A. Moberg (1997), "Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends", en *International Journal of Climatology*, vol. 17, núm. 1, pp. 25-34.
- AMIS (2005), *Informe Anual de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros*, México, AMIS.
- Anthes, R., R. Corell, G. Holland, J. Hurrell, M. MacCracken y K. Trenberth (2006), "Hurricane and Global Warming: Potential Linkages and Consequences", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 87, núm. 5, pp. 623-628.
- Aparicio, M.F.J. (2004), *Fundamentos de hidrología de superficie*, México, Limusa, 303 pp.
- Aparicio, M.F.J. (2008), *Fundamentos de hidrología de superficie*, México, Limusa, 303 pp.
- Arlen, D.F. (2000), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual*, Washington, D.C., Army Corps of Engineers, 149 pp.
- Arriola Molina R. (1993) *Recuerdos, gestorías y obras en la cuenca del Papaloapan*, Xalapa, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Balvanera, P., H. Cotler *et al.* (2009), "Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos", en R. Dirzo, I. March y R. González-Montagut (comps.), *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, México, Conabio.
- Bello Pineda, J., V. Obregón Noriega y J.C. Grageola Núñez (2010), *Tree Decision Support System: Un sistema de soporte para la toma de decisiones basado en árboles de decisiones. Reporte técnico*, Mazatlán, Pronatura, 46 pp.
- Benavides, S.J.D., M.J. González Guillén, C. López Paniagua y J.R. Valdez Lazalde (2008), "Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales", en *Madera y Bosques*, vol. 14, núm. 2, pp. 5-38.
- Bicknell, J., D. Dodman y D. Satterthwaite (2009), *Adapting cities to climate change. Understanding and addressing the development challenges*, Londres, Earthscan Climate.
- Blázquez Domínguez, C. (comp.) (1986), "Informe que rinde el C. Gobernador del Estado ante la XXXIII H. Legislatura por Adalberto Tejeda", en *Informe de sus gobernadores 1826-1986*, vol. 12, México, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Bonell, M. (1972), "An Assessment of Possible Factors Contributing to Well Level Fluctuations in Holderness Boulder Clay, East Yorkshire", en *Journal of Hydrology*, vol. 16, núm. 4, pp. 361-368.
- Bravo, H. *et al.* (2006), "Riesgo químico asociado a fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz", en A. Tejeda y C. Welsh (comps.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, México, Universidad Veracruzana.
- Bruijnzeel, L.A. (2001), "Hydrology of Tropical Montane Cloud Forest: a Reassessment", en *Land Use and Water Resources Research*, vol. 1, pp. 1-18.
- Brunet, M., O. Soladié *et al.* (2008), *A Case Study/Guidance on the Development of Long-Term Daily Adjusted Temperature Datasets*, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial, (Serie World Climate Data and Monitoring Programme, 66).
- Caballero, J., V.M. Toledo, A. Argueta, E. Aguirre, P. Rojas y J. Viccon (1978), "Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz. Flora útil o el uso tradicional de la plantas", en *Biótica*, núm. 3, México, Instituto Nacional de Investigaciones en Recursos Bióticos, pp. 103-144.
- Campos, D.F. (1998), *Procesos del ciclo hidrológico*, San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Cenapred (2001), *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*, México, Secretaría de Gobernación-Sistema Nacional de Protección Civil, 225 pp.
- _____ (2010), *2000-2009, Publicaciones electrónicas*, México, Secretaría de Gobernación-Sistema Nacional de Protección Civil.
- _____ y Coordinación General de Protección Civil (2001), *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgo de desastre en México: Atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*, México.
- Chapin III, F.S., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, R.L. Naylor, P.M. Vitousek, H.L. Reynolds, D.U. Hooper, S. Lavorel, O.E. Sala, S.E. Hobbie, M.C. Mack y S.
- S. Díaz (2000), "Consequences of changing biodiversity", en *Nature*, vol. 405, núm. 6783, pp. 234-242.

Chow, V. T., D.R. Maidment y L.W. Mays (1994), *Hidrología Aplicada*, Colombia, MacGraw-Hill, 584 pp.

Collado Herrera, M. del C. (1994), "¿Qué es la historia oral?", en G. de Garay (Coord.), *La historia con micrófono. Textos introductorios a la historia oral*, México, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

Conabio (2008), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, México, Conabio, 620 pp.

_____ y Semarnat (2009), Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Conabio.

Conafor (2000), Inventario Nacional Forestal. Escala 1:250000.

Conagua (2001), *Compendio básico del agua en México. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*, México, Semarnat, 96 pp.

_____ (2001), *Programa nacional hidráulico*, México, 177 pp.

_____ (2002), *Compendio básico del agua en México*, México, Comisión Nacional del Agua.

_____ (2007), *Estadísticas del agua en México*, México, Semarnat, 259 pp.

_____ (2008), "Disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas de los ríos Actopan, La Antigua, Jamapa, Cotaxtla, Jamapa-Cotaxtla y llanuras de Actopan", en *Diario Oficial de la Federación*, 3 de noviembre. Véase <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA/Noticias/dof_03-11-2008.pdf>.

_____ (2009), *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea, acuífero (3012), Costera de Coatzacoalcos estado de Veracruz*, 22 pp.

_____ (2011) *Manual para el control de inundaciones*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Consejo de cuenca del río Coatzacoalcos (2010). Véase <<http://www.cuencacoatza.org/tucuenca.php>> [Consultado en diciembre de 2010].

Constanza, R. y H. Daly (1992), "Natural Capital and Sustainable Development", en *Conservation Biology*, vol. 6, núm. 1, pp. 37-46.

Cuevas Fernández, H., y M. Navarrete Hernández (2006), *Los huracanes en la época prehispánica y en el siglo XVI*, en A. Tejeda y C. Welsh (eds.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, México, Universidad Veracruzana.

Custodio, E. y Llamas, R. (2001), *Hidrología subterránea*, España, Omega, 1157 pp.

Del Amo, R.S. y J.M. Ramos (1993), "Use and Management of Second Vegetation in a Humid Tropical Area", en *Agroforestry Systems*, vol. 21, núm. 1, pp. 27-42.

_____ M.C. Vergara-Tenorio, J.M. Ramos Prado y L. Porter Bolland (2010), "Community Landscape Planning for Rural Areas: a Model for Biocultural Resource Management", en *Journal of Society & Natural Resource*, vol. 23, núm. 1, pp. 436-450.

Diario de Xalapa (dx), Xalapa, Veracruz.
 25 de septiembre de 1980.
 17 de septiembre de 1984.
 4 de septiembre de 1988.
 8 de agosto de 1990.
 22 de septiembre de 1993.
 18 de octubre de 1995.
 24 de agosto de 1996.
 6 de octubre de 1999.
 6 de octubre de 2003.
 7 de octubre de 2005.
 24 de agosto de 2007.

Díaz, S.C. (2010), "Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México", en *Interciencia*, vol. 35, núm. 4, pp. 306-310.

Dirzo, R., A. Aguirre y J.C. López (2009), "Diversidad florística de las selvas húmedas en paisajes antropizados", en *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, vol. 1, núm. 1, México, INE-Semarnat, pp. 17-22.

Ellis, E.A., M. Martínez Bello, R.M. Monroy Ibarra (2010), "Focos rojos para la conservación de la biodiversidad en el estado de Veracruz", en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, México, Conabio, pp. 969-985.

Enríquez Durán, O. (2010) *Tuxtilla y mis recuerdos*, México, Instituto Veracruzano de Cultura/Conaculta (Colección Bicentenario-Centenario).

ESRI (2006), ArcGis 9.2, EUA.

_____ (2006), ArcGIS, 9.2, EUA, Environmental Scientific Research Institute [CD-ROM].

_____ (2007), Global Mapper v8.3, EUA.

FAO-ISRIC-SICS (1999), "Base referencial mundial del recurso suelo", en *Informe sobre recursos mundiales de suelos*, núm. 84, Roma, FAO, 90 pp.

FCIHS (2010), *Comisión docente: Curso internacional de hidrología subterránea*, Madrid, 277 pp.

Ferat de Zamacona, A. (1975), *Semblanzas de Valle Nacional a Catemaco*, México, publicación de la autora.

Funtowicz, S. y J.R. Ravetz (1991), "A new Scientific Methodology for Global Environmental Issues", en R. Constanza (ed.), *Ecological Economics, the Science and Management of Sustainability*, Nueva York, Columbia Press University, pp. 137-152.

García, R. (1994) *Prontuario de contingencias en el siglo XX mexicano*, México, Secretaría de Gobernación.

Garnica Peña, R. y I. Alcántara Ayala, (2004), "Riesgos por inundaciones asociadas a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz", en *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, núm. 55, México, UNAM, pp. 23-45.

Giddings, L., C. Chiappy, M. Soto y L. Gama (1996), "Modificaciones ecológico-paisajísticas del estado de Veracruz", en *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, núm. 33, México, UNAM, pp. 31-39.

- Golden Software (2006), Surfer(R), *Surface Mapping System*. Version 8. Golden Software, Inc., 809 14Th Street, Golden Software, Colorado 80401, EUA [CD-ROM].
- Gómez Ramírez, M. (2006), "Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron el estado de Veracruz de 1930 al 2005", en *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. 10, núm. 218, Barcelona, Universidad de Barcelona. Véase <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-15.htm>>.
- Gómez, P.A. (1985), *Los recursos bióticos de México (reflexiones)*, México Alhambra Mexicana.
- Gómez, A. (2004), "The Role of biodiversity Scientists in a Trouble World", en *BioScience*, vol. 54, núm. 3, pp. 217-225.
- Guzmán, E., J. Bonini y D. Matamoros (2004), "Aplicación del modelo hidrológico SWAT (Soil Water Assessment Tool) para la predicción de caudales y sedimentos en una cuenca hidrográfica caso de estudio: cuenca del río Chaguana", en *Revista Tecnológica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*, vol. 17, núm.1, pp. 152-161.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker y D.B. Wolf (2007), "The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales", en *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, pp. 38-55.
- INEGI (1983), Hidrología superficial. Escala 1:1 000 000.
- _____ (1995), Edafología. Escala 1:250 000.
- _____ (1999), Datos vectoriales. Escala 1:50 000.
- _____ (2000), Modelo digital de elevación. Escala 1:50 000.
- _____ (2005 b), Censo de población y vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/>. Consultado en diciembre de 2010.
- _____ (2005 a), Marco Geoestadístico Nacional. Escala 1:1 000 000.
- IPCC (2007), "Summary for Policymakers", en *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Jáuregui, E. y I. Zitácuaro, (1995), "El impacto de los ciclones tropicales del Golfo de México, en el estado de Veracruz", en *La Ciencia y el Hombre*, núm. 21, pp. 75-119.
- Klaus, D. (1977), *Klimafluktuationen in Mexiko seit dem Beginn der meteorologischen Beobachtungsperiode* (Vols. Sutdien über Klimaschwankungen und Vegetationsdynamik in Mexico, I), Mainz (Alemania), Akademie der Wissenschaften un der Literatur.
- Lara Domínguez, A.L, A. Yáñez-Arancibia y J.C. Seijo (1998), "Valuación económica de los ecosistemas. Estudio de caso de los manglares en Campeche", en H. Benítez, E. Vega, A. Peña-Jiménez y S. Ávila Foucat (eds.), *Aspectos económicos sobre la biodiversidad de México*, Conabio/INE, pp. 23-44.

- Leyva, A. (2010) Acuíferos semiconfinados y su modelación: aplicaciones al acuífero de la zona metropolitana de la Ciudad de México, tesis de maestría, UNAM-Posgrado en Ciencias de la Tierra, 220 pp.
- Luna, A. (2004), Propuesta de un índice semiempírico de inestabilidad atmosférica para la ciudad de Veracruz, Ver., tesis de la licenciatura en Ciencias Atmosféricas, Veracruz, Universidad Veracruzana.
- _____ y Acevedo, F. (2006), *Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el año 2005*, en A. Tejeda y C. Welsh (comps.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, México, Universidad Veracruzana.
- Luna, C. (1987), *70 años de datos climatológicos de la ciudad de Veracruz 1917-1986*, México, Ayuntamiento de Veracruz.
- _____ (1994), *Crónicas de los huracanes en el estado de Veracruz*, Veracruz, Editora del Gobierno del Estado de Veracruz.
- Magaña, V., J.L. Vázquez, J.L. Pérez y J.V. Pérez (2003) "Impact of El Niño on Precipitation in Mexico", en *Geofísica Internacional*, vol. 42, núm. 3, pp. 313-330.
- _____, J.L. Pérez y C. Conde (1998), "El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur y sus impactos en México", en *Revista Ciencias*, núm. 51, pp. 14-18.
- Manson, R.H. (2004), "Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México", en *Madera y Bosques*, vol. 10, núm. 1, pp. 3-20.
- _____, E. Jardel *et al.* (2009), "Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico", en *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, México, Conabio, pp. 131-184.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace y R.C. Francis (1997), "A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, núm. 16, pp. 1069-1079.
- Martínez, C. y R. González Montagut (2002), "Seed Rain of Fleshy-Fruited Species in a Tropical Pastures in los Tuxtlas, Mexico", en *Journal of Tropical Ecology*, vol. 18, núm. 3, pp. 457-462.
- Martin Vide, J. (2004), "Spatial Distribution of Daily Precipitation Concentration Index in Peninsular Spain", en *International Journal of Climatology*, vol. 24, núm. 8, pp. 959-971.
- Masera, O.R., M.J. Ordóñez y R. Dirzo (1997), "Carbon Emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-Term Scenarios", en *Climatic Change*, vol. 35, núm. 3, pp. 265-295.
- McGranahan, G., D. Balk y B. Anderson (2007), "The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevations Coastal Zones", en *Environment & Urbanization*, vol. 19, núm.1, pp. 17-37.
- McNeill, J.R. (2003), *Algo nuevo bajo el sol. Historia medioambiental del mundo en el siglo xx*, Madrid, Alianza, 503 pp.

MEA (2005), *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystem y Human Well-being. v. 2: Scenarios; Findings of the Scenarios Working Group, Millenium Ecosystem Assessment*, Washington D.C., Island Press, 560 pp.

Méndez González, J., A. Ramírez Leyva, A. Cornejo Oviedo, A. Zárate Lupercio y T. Cavazos Pérez (2010), *Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México*, en *Investigaciones Geográficas*, núm. 73, pp. 57-70.

Miranda, F. y E. Hernández (1963), "Los tipos de vegetación en México y su clasificación", en *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, núm. 29, pp. 28-79.

Mitchell, T. D. y P. D. Jones (2005), "An improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observations and Associated High Resolution Grids", en *International Journal of Climatology*, vol. 25, núm. 6, pp. 693-712.

Moreno, D.A. y I. Renner (eds.) (2007), *Gestión integral de cuencas. La experiencia del Proyecto Regional de Cuencas Andinas*, Perú, CIP, 234 pp.

Mosiño, P. y E. García (1973), "The climate of Mexico", en R.A. Bryson and F.K. Hare (eds.), *Climates of North America*, Países Bajos, Elsevier.

_____ y E. García (1966), "Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana", en *Conferencia Regional Latinoamericana*, Ciudad de México, Unión Geográfica Internacional, del 9 al 15 de agosto, pp. 500-516.

Naiman, R.J., y H. Decamps (1997), "The Ecology of Interfaces: Riparian Zones", en *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 28, pp. 621-658.

Necoechea Gracia, G. (2005), *Después de vivir un siglo. Ensayos de historia oral*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Negri, A., N. Burkardt et al. (2005), "The Hurricane-Flood-Land Slide Continuum", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, núm. 9, pp. 1241-1247.

Oliver Smith, A. (1996), "Anthropological Research on Hazards and Disasters", en *Annual Review of Anthropology*, vol. 25, pp. 303-328.

Ortiz Lozano, L.D., P. Arceo Briseño, A. Granados Barba, D. Salas Monreal y L. Jiménez Badillo (2010), "Zona costera", en E. Florescano y J. Ortiz Escamilla, (coords.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, t. I, Patrimonio natural*, Xalapa, Universidad Veracruzana, pp. 123-146.

Pereyra, D. (1993), "Estimation of the Design Flood of Tecolutla River, Mexico, Using the Probable Maximum Rainfall", en *Geofísica Internacional*, vol. 32, pp. 35-39.

_____ y A. Pérez (2006), "Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz", en *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, Veracruz, Universidad Veracruzana, pp. 81-99.

_____ J.A.A. Pérez, y R. Salas (2010), "Hidrología", en E. Florescano y J. Ortiz Escamilla (coords.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, t. I, Patrimonio natural*, Xalapa, Universidad Veracruzana, 280 pp.

Pereyra, D.D. (1993), "Estimation of the Design Flood of Tecolutla River, México, Using the Probable Maximum Rainfall", en *Geofísica Internacional*, vol. 32, núm. 1, pp. 35-39.

_____ y J.A.A. Pérez (2006), "Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz", en A. Tejeda y C. Welsh (eds.), **FALTA TITULO DE LIBRO** Universidad Veracruzana/ Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, México, pp. 81-89.

_____ y J.A.A. Pérez (2006), "Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el Estado de Veracruz", en *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana/Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, pp. 81- 99.

_____ J.A.A. Pérez y C. Hoyos (2007), *Instalación de red hidroluviométrica en la cuenca del río La Antigua y transmisión de datos en tiempo real con fines de alerta temprana, clave: 037529. Primer informe*, Fondo Mixto Conacyt/Gobierno del Estado de Veracruz, 13 pp.

_____ J.A.A. Pérez y C. Hoyos (2007), *Instalación de red hidroluviométrica en la cuenca del río La Antigua y transmisión de datos en tiempo real con fines de alerta temprana, clave: 037529. Informe final*, Fondo Mixto Conacyt/Gobierno del Estado de Veracruz, 64 pp.

_____ J.A.A. Pérez y M. R. Salas (2010), "Hidrología", E. Florescano y J. Ortiz Escamilla (coords.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural del estado de Veracruz, t. I, Patrimonio natural*, Universidad Veracruzana, pp. 85-122.

Pérez, J.A.A. (2009), *Estudio del agua de escurrimiento en la cuenca del río Tecolutla, México*, tesis de maestría, México, UNAM-Facultad de Filosofía y Letras-Instituto de Geografía, 100 pp.

Peynador C. y A. Escofet (2009), "An ad hoc Procedure for the Environmental Assessment of Ship Grounding at Todos Santos Bay (Baja California, Mexico): Lessons and Perspectives", en G. Halley y Y. Fridian (eds), *Environmental Impacts Assessments*, Nueva York, Nova Science Publishers, pp. 194-224.

Pielke Jr., R., C. Lndesa, M. Mayfield, J. Laver y R. Pash (2005), "Hurricane and global warming", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, núm. 11, pp. 1571-1575.

Ponce, V.M. (1989), *Engineering Hydrology, Principles and Practices*, New Jersey, Prentice-Hall, 640 pp.

Ponce Hernández, R. (1998), *Zonificación ecológica-económica: una propuesta metodológica para la Amazonia*, Caracas, Secretaría Pro Tempore de Venezuela-FAO, 227 pp.

Pritchard Evans, E.E. (1976), *Witchcrafts, Oracles and Magic among the Azande*, Oxford, Oxford University Press.

Pulido, S.P. y L.M. Renjifo (2011), "Live Fences as Tools for Biodiversity Conservation: a Study Case with Birds and Plants", en *Agroforestry Systems*, vol. 81, núm. 1, pp. 15-30.

Rasmusson, E. y M. Wallace (1983), "Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation", en *Science*, vol. 16, pp. 1195-1202.

"Rebasados los recursos aprobados para el Fonden", en *Imagen del Golfo*, Veracruz, 13 de septiembre de 2010.

Rodríguez, L.Y., N. Marrero de L. y L. Gil (2010), en "Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Reno", en *Agrociencia*, vol. 19, núm. 2, pp. 31-37.

Rodríguez Luna, E., A. Gómez Pompa, J.C. López, N. Velázquez, Y. Aguilar, y M. Vázquez Torres (2011), *Atlas de espacios naturales protegidos de Veracruz*, Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana, 350 pp.

Rossiter, D. (1990), *ALES: A framework for land evaluation using a microcomputer*, Soil Use Management, vol. 6, pp. 7-20.

Ruiz Barradas, A. (2008), "Variabilidad climática y teleconexiones: una revisión bibliográfica", en A. Tejada, M. E. Guadarrama y C. Welsh (eds.), *Estudios para un programa veracruzano ante el cambio climático*, Veracruz, Embajada Británica/Instituto Nacional de Ecología/Universidad Veracruzana.

_____, y S. Nigam (2010), "Great Plains Precipitation and its SST Links in 20th Century Climate Simulations, and 21st and 22nd Century Climate Projections", en *Journal of Climate*, vol. 23, núm. 23, pp. 6409-6429.

_____, A. Tejada, S. Miranda Alonso y R.H. Flores Samudio, (2010), "Climatología", en G. Benítez Badillo y C. Welsh, *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, t. I, Patrimonio natural*, Xalapa, Gobierno del Estado/Universidad Veracruzana, pp. 65-84.

Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, México, Limusa, 432 pp.

Sarabia, B.C. (2004), Sistema lagunar de la ciudad de Veracruz, México. Propuesta de Manejo bajo la visión de Proyección Ambiental, tesis de doctorado, Veracruz, Colegio de Postgraduados.

Scharffenberg, W.A. y M.J. Fleming (2008), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual (Version 3.2)*. CPD-74A. 441 G St., NW, Washington, DC, HQU.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., EUA, 228 pp.

Seager, R., M. Ting et al. (2009), "Mexican Drought: an Observational Modeling and Tree Ring Study of Variability and Climate Change", en *Atmósfera*, vol. 22, núm. 1, pp. 1-13.

Semarnat (2005), *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales*, México, Semarnat/PNUD.

SGM (2010), Cartas geológicas. Escala 1:10 000.

Shimoyama, S. (2002), "Basic Characteristics of Disasters", en R. Torrence y J. Grattan (eds.), *Natural Disasters and Cultural Change*, Nueva York, Routledge Press, pp. 19-27.

Smith, K. (1997), "Climatic Extremes as a Hazard to Humans", en R. Thompson y A. Perry, *Applied Climatology, Principles and Practice*, Nueva York, Routledge Press, pp. 304-316.

Smith, T.M., R.W. Reynolds, T.C. Peterson and J. Lawrimore (2008), "Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006)", en *Journal of Climate*, vol. 21, núm. 10, pp. 2283-2296.

Sontag, Susan (2006), *Ante el dolor de los demás*, México, Alfaguara.

Sousa, M. (1968), "Ecología de las leguminosas de los Tuxtles, Veracruz", en *Anales del Instituto de Biología*, México, UNAM, pp. 121-160 (Serie Botánica, 1).

StatSoft Inc., 2004. *STATISTICA*. Date Analysis Software System. Computer Program Manual. Versión 6, Tulsa, EUA [CD-ROM].

Sutton, R. y D. Hodson (2005), "Atlantic Ocean Forcing of North American and European Summer Climate", en *Science*, núm. 1, pp. 115-117.

Tejada, A. y C. Welsh (2006), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, Xalapa, Universidad Veracruzana.

_____, A. Torres Alavez, S. Miranda Alonso y S. Salazar-Lizán (2011), "Evaluations and Perceptions of the Climate Change in the State of Veracruz (Mexico): an Overview", en H. Kheradmand, *Climate Change/ book 2*, Rijeka, Intech open access publisher.

Torres Alavez, A., A. Tejada, J.L. Vázquez Aguirre, M. Brunet India, P. Hernández Ávila, y A. Ruiz Barradas (2010), "Índices de cambio climático y análisis de variabilidad en el estado de Veracruz, México", en *Memorias del VII Congreso de la Asociación Española de Climatología: Clima, ciudad y ecosistemas*, Madrid, Fernández García, F., E. Galán Gallego y R. Cañada Torrecilla, Editores, pp. 295-304 (Serie A, 7).

_____, A. Tejada, J. Vázquez Aguirre, M. Brunet, P. Hernández Ávila y A. Ruiz Barradas, A. (2010), "Índices de cambio climático y análisis de variabilidad en el estado de Veracruz, México", en F. Fernández García, E. Galán Gallego y R. Cañada Torrecilla, *Ciudad, clima y ecosistemas*, Madrid, Asociación Española de Climatología, pp. 295-304.

Torres, B.E., D.S. Fernández Reynoso, J.L. Oropeza Mota y E. Mejía Sáenz (2004), "Calibración del modelo hidrológico SWAT en la cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Estado de México", en *TERRA Latinoamericana*, vol. 22, núm. 4, pp. 437-444. Véase <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311096007> [Consultado en noviembre de 2010].

USSCS (1957), *National Engineering Handbook*, Sec. 4, Supplement A. Hydrology.

UNESCO (1972), *Report of Consultative Meeting of Experts on the Statistical Study of Natural Hazards and their Consequences*, París, UNESCO.

Vázquez Aguirre, J.L. (2007), Variabilidad de la precipitación en la República Mexicana, tesis de maestría en Física de la Atmósfera, México, UNAM.

_____, M. Brunet, y P. Jones (2008), "Cambios observados en los extremos climáticos de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, México a partir de datos diarios", en J. Sigró Rodríguez, M. Brunet India y E. Aguilar Anfrons, *Cambio climático regional y sus impactos*, Tarragona, Asociación Española de Climatología, pp. 447-456.

- Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio (2002), "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México", en *Gaceta Ecológica*, vol. 62, pp. 21-37.
- Villegas-Romero, I., J.L. Oropeza Mota, M. Martínez Ménes y E. Mejía-Sáenz (2009), "Trayectoria y relación lluvia-escurrimiento causados por el huracán Paulina en la cuenca del río La Sabana, Guerrero, México", en *Agrociencia*, vol. 43, núm. 4, pp. 345-356.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo (1997), "Human Domination of Earth's Ecosystems", en *Science*, núm. 277, pp. 494-499.
- Wandahwa, E. van Ranst (1996), "Qualitative Land Suitability Assessment for Pyrethrum Cultivation in West Kenya Based upon Computer-Captured Expert Knowledge and GIS", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 56, pp. 187-202.
- Wang, X. L. y F. Yang (2007), *RhstestV2. User Manual*. <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>.
- Westmacott, S. (2001), "Developing Decision Support Systems for Integrated Coastal Management in the Tropics: Is the ICM Decision-Making Environment too Complex for the Development of a Useable and Useful DSS?", en *Journal of Environmental Management*, vol. 62, pp. 55-74.
- Wisner, B. (2003), "Changes in Capitalism and Global Shifts in the Distribution of Hazard and Vulnerability", en M. Pelling (ed.), *Natural Disasters and Development in a Globalizing World*, Nueva York, Routledge Press, pp. 43-56.

Consultas en Internet

- <http://aguapasada.wordpress.com/2010/09/11/cosamaloapan-fotos-historicas-de-inundaciones>
<http://weather.unisys.com> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://meteorologia.semar.gob.mx> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://smn.cna.gob.mx> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://www.hpc.ncep.noaa.gov/Mike> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://www.nhc.noaa.gov> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://www.ssd.noaa.gov> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://www.wmo.int/> [Consultado en septiembre de 2010].
<http://www.wunderground.com> [Consultado en septiembre de 2010].

Colecciones fotográficas privadas

Lic. Concepción Cobo Ortega
 Ing. José Enrique Cobo Ortega
 Profa. Dora Hernández Malar

Participantes



Adalberto Tejeda Martínez
 Facultad de Instrumentación
 Electrónica y Ciencias Atmosféricas,
 Universidad Veracruzana
 atejeda@uv.mx

Alfredo Ruiz Barradas
 Department of Atmospheric
 and Oceanic Science University
 of Maryland
 alfredo@atmos.umd.edu

Ana Cecilia Travieso Bello
 Facultad de Economía y Geografía,
 Universidad Veracruzana
 atravieso@uv.mx

Ana Gabriela Moguel Flores
 Grupo de Climatología Aplicada,
 Universidad Veracruzana
 anastacia_2915@hotmail.com

Antonio Hernández Beltrán
 Facultad de Medicina Veterinaria y
 Zootecnia, Universidad Veracruzana
 anhernandez@uv.mx

Antonio Luna Díaz Peón
 Facultad de Instrumentación
 Electrónica y Ciencias Atmosféricas,
 Universidad Veracruzana
 anluna@uv.mx

Beatriz Elena Palma Grayeb
 Facultad de Instrumentación
 Electrónica y Ciencias Atmosféricas,
 Universidad Veracruzana
 bpalma@uv.mx

Carlos Ávila Bello
 Vicerrectoría Región Coatzacoalcos y
 Minatitlán, Universidad Veracruzana
 carlavila@uv.mx

Carlos Manuel Welsh Rodríguez
 Centro de Ciencias de la Tierra,
 Universidad Veracruzana
 cwelsh@uv.mx

Cristina Alvarado Ronquillo
 Facultad de Antropología,
 Universidad Veracruzana
 cihua17@hotmail.com

Daniela Rivera Silva
 Licenciada en Geografía
 diazpeon@yahoo.com.mx

Domitilo Pereyra Díaz
 Facultad de Instrumentación
 Electrónica y Ciencias Atmosféricas,
 Universidad Veracruzana
 dpereyra@uv.mx

Eduardo Ramírez Chávez
 Instituto de Ecología,
 Universidad del Mar
 eduardo@angel.umar.mx

Eduardo Robelo González
 Grupo de Climatología Aplicada,
 Universidad Veracruzana
 robelo.glez.eduardo@gmail.com

Francisco Bermúdez Jiménez
 Facultad de Psicología
 Poza Rica y Tuxpan
 Universidad Veracruzana
 fbermudez@uv.mx

Griselda García García
 Facultad de Psicología Poza Rica y
 Tuxpan, Universidad Veracruzana
 grisgarcia@uv.mx

Javier Bello Pineda
 Instituto de Ciencias Marinas y
 Pesquerías, Universidad Veracruzana
 jabello@uv.mx

Juan Pérez Quezadas
 Facultad de Instrumentación
 Electrónica y Ciencias Atmosféricas,
 Universidad Veracruzana
 Juanperez02@uv.mx

Katía Romero León
 Facultad de Economía,
 Universidad Veracruzana
 kromero@uv.mx

Leonardo Ortiz Lozano
 Instituto de Ciencias Marinas y
 Pesquerías, Universidad Veracruzana
 leoortiz@uv.mx

Pablo Robles Barajas
 Periódico Imagen de Veracruz

Rey Acosta Barradas
 Facultad de Economía,
 Universidad Veracruzana
 reyacosta44@hotmail.com

Sagrario Cruz Carretero
 Instituto de Antropología,
 Universidad Veracruzana
 sacruz@uv.mx

Samaria Armenta Montero
 Centro de Investigaciones Tropicales,
 Universidad Veracruzana
 samaria.am@gmail.com

Verónica Valdez Rocha
 Instituto de Ciencias Marinas y
 Pesquerías, Universidad Veracruzana
 giroambiental@hotmail.com



El libro *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico* terminó de imprimirse en los talleres gráficos de Fotolitográfica ARGO, en la Ciudad de México, en el mes de enero de 2012. Los interiores están fabricados en couché mate de 135 g y los forros en cartulina sulfatada de 14 pts. Las familias tipográficas utilizadas son Myrad Pro y Baskerville.

El tiraje consta de 1 500 ejemplares.