

ATLAS CLIMATOLÓGICO DE CICLONES TROPICALES EN MÉXICO

**Michel Rosengaus Moshinsky
Martín Jiménez Espinosa
María Teresa Vázquez Conde**



***ATLAS
CLIMATOLÓGICO
DE CICLONES TROPICALES
EN MÉXICO***

1ª edición, diciembre 2002

© SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P. 04360, México, D.F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: 56 06 16 08
www.cenapred.unam.mx

© ATLAS CLIMATOLÓGICO DE CICLONES TROPICALES EN MÉXICO

Autores:
Michel Rosengaus Moshinsky/IMTA
Martín Jiménez Espinosa/CENAPRED
María Teresa Vázquez Conde/CENAPRED

Es una publicación editada por el
Centro Nacional de Prevención de Desastres

Edición y diseño:
D.G. Demetrio Vázquez Sánchez
Susana González Martínez

ISBN: 970-628-633-0

DISTRIBUCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL
Dirección de Difusión del
Centro Nacional de Prevención de Desastres

DERECHOS RESERVADOS CONFORME A LA LEY
IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Santiago Creel Miranda
SECRETARIO DE GOBERNACIÓN

Lic. María del Carmen Segura Rangel
COORDINADORA GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
DIRECTOR GENERAL

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Ing. Enrique Guevara Ortiz
DIRECTOR DE INSTRUMENTACIÓN Y CÓMPUTO

M. en I. Tomás Alberto Sánchez Pérez
DIRECTOR DE DIFUSIÓN

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
DIRECTORA DE CAPACITACIÓN

Lic. Luz María Flores Guerrero
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN

Profra. Carmen Pimentel Amador
DIRECTORA DE SERVICIOS TÉCNICOS

Indice



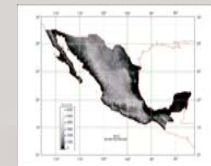
Índice de mapas5



Definición de las estadísticas descriptivas utilizadas..... 15



Presentación.....9



Mapas.....16



Introducción.....11



Glosario.....103



Fundamentos sobre ciclones tropicales.....14



Referencias..... 106



Ciclón Subtropical formada entre Australia y Nueva Zelanda



Índice de Mapas

- 1 Mapa de elevaciones de la República Mexicana
- 2 Evolución de la temperatura de la superficie del mar en grados centígrados a lo largo del año

Mapas de trayectorias de los ciclones tropicales

- 3a Océano Atlántico, periodo 1951-1960
- 3b Océano Atlántico, periodo 1961-1970
- 3c Océano Atlántico, periodo 1971-1980
- 3d Océano Atlántico, periodo 1981-1990
- 3e Océano Atlántico, periodo 1991-2000
- 4a Océano Pacífico, periodo 1951-1960
- 4b Océano Pacífico, periodo 1961-1970
- 4c Océano Pacífico, periodo 1971-1980
- 4d Océano Pacífico, periodo 1981-1990
- 4e Océano Pacífico, periodo 1991-2000
- 5a Mayo, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5b Junio, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5c Julio, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5d Agosto, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5e Septiembre, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5f Octubre, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 5g Noviembre, océano Atlántico, periodo 1951-2000
- 6a Mayo, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6b Junio, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6c Julio, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6d Agosto, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6e Septiembre, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6f Octubre, océano Pacífico, periodo 1951-2000
- 6g Noviembre, océano Pacífico, periodo 1951-2000

Mapas de presencia de ciclones tropicales

- 7 Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes de 1949 a 2000
- 8 Frecuencia relativa de tormentas tropicales y huracanes de 1949 a 2000 (fracción del máximo que se da en las coordenadas (-109, 16) con 83 sistemas)

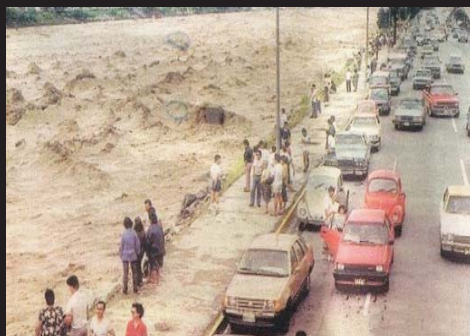
- 9 Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Atlántico Norte de 1851 a 2000
- 10 Número de inicio de trayectorias para el Atlántico de 1851 a 2000
- 11 Número de finales de trayectorias para el Atlántico de 1851 a 2000
- 12 Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Pacífico nororiental de 1949 a 2000
- 13 Número de inicio de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000
- 14 Número de finales de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000

Mapas de presión central en el ciclón tropical

- 15 Presión central mínima (mb) que se ha presentado para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 16 Presión central mínima (mb) que se ha presentado para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)

Mapas de velocidad de vientos máximos sostenidos

- 17 Media de la "velocidad de vientos máximos sostenidos" [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 18 Máximo de la "velocidad de vientos máximos sostenidos" [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 19 Media de la "velocidad de vientos máximos sostenidos" [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 20 Máximo de la "velocidad de vientos máximos sostenidos" [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 21 Media del "cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos" [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)





- 22 Media del “cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/h] para ciclonés tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 23 Máximo incremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclonés tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000
- 24 Máximo incremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclonés tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000
- 25 Máximo decremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclonés tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000
- 26 Máximo decremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclonés tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000
- 37 Media menos desviación estándar de la velocidad de traslación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 4$)
- 38 Media menos desviación estándar de la velocidad de traslación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 4$)

Mapas de dirección de traslación

- 27 Dirección de traslación (media y variabilidad) para ciclonés tropicales en el Atlántico norte (1851-2000)
- 28 Dirección de traslación (media y variabilidad) para ciclonés tropicales en el Pacífico nororiental (1949-2000)

Mapas de velocidad de traslación

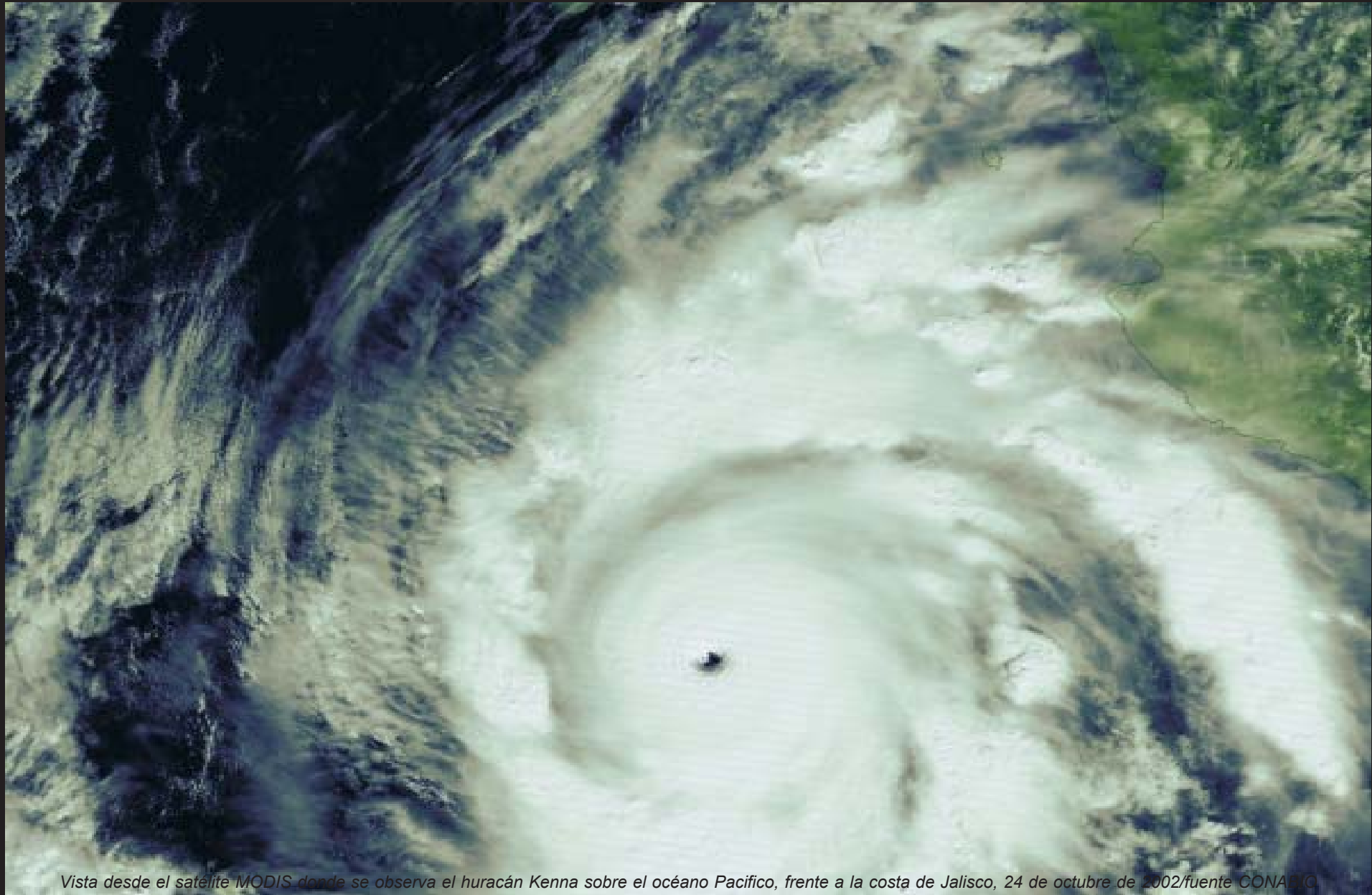
- 29 Media de la velocidad de traslación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 30 Media de la velocidad de traslación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 2$)
- 31 Máxima velocidad de traslación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000
- 32 Máxima velocidad de traslación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000
- 33 Mínima velocidad de traslación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000
- 34 Mínima velocidad de traslación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000
- 35 Media más desviación estándar de la velocidad de traslación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n < 4$)
- 36 Media más desviación estándar de la velocidad de traslación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n < 4$)



Fotografías/Associated Press



Mérida, Yucatán, México después del impacto del huracán Isidore, septiembre de 2002/Fotografía Marco A. Salas/CENAPRED



Vista desde el satélite MODIS donde se observa el huracán Kenna sobre el océano Pacífico, frente a la costa de Jalisco, 24 de octubre de 2002/fuente CONADIC



Presentación

Los ciclones tropicales, como se conoce a los fenómenos tropicales que se caracterizan por producir vientos fuertes, oleaje elevado, una sobre elevación del mar y lluvia abundante, tienen un impacto económico importante a escala mundial. Y, aunque actualmente se les da seguimiento mediante satélites, radares meteorológicos, aviones “cazahuracanes” y un ejército de personas en tierra, todavía cobran víctimas humanas, que en algunas ocasiones pueden contarse como cientos, o miles (como en el caso de Bangladesh, en 1970).

En México se han presentado ciclones devastadores, como el caso de Gilbert, en el golfo de México en 1988, el cual provocó muertes principalmente en la ciudad de Monterrey (ciudad no costera del estado de Nuevo León) y pérdidas económicas considerables en la zona de Cancún, Q. Roo. En el primer caso, el río Santa Catarina sobrepasó su capacidad total, y en el segundo, el fuerte oleaje, más la acción de la marea de tormenta, removió la arena de las playas de Cancún. Otro caso importante fue en 1997 cuando apareció en el océano Pacífico el huracán Pauline, que provocó la muerte de varios cientos de personas en la costa de los estados de Oaxaca y Guerrero, resultando dañado principalmente el puerto de Acapulco, donde se produjeron flujos de escombros y de lodo, producto de las intensas lluvias que dejó a su paso el huracán sobre la zona montañosa cercana.

Es imperativo entonces incrementar y aplicar acciones para la mitigación del riesgo por efectos de ciclones tropicales, tanto en los estados costeros como en algunos del interior, que estén basados en un conocimiento técnico-científico sobre su comportamiento a su paso por la región marítima y territorial de México, así como su distribución y sus principales efectos.

Es por ello que se elaboró el presente Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales de México, para que contribuya a la toma de decisiones más acertadas, especialmente dentro del campo de la Protección Civil; también, para que se destierren mitos y creencias sobre los ciclones tropicales, y conduzcan a la reflexión y a la realización de nuevas investigaciones sobre el tema.

Lo anterior es una tarea fundamental del Centro Nacional de Prevención de Desastres, ya que es parte de la estrategia de la prevención, en la que se estudia y conoce a los fenómenos naturales que más afectan a nuestro país. Este documento es el resultado del esfuerzo conjunto del CENAPRED y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para ser aplicado directamente a la Protección Civil; es por ello que incluye una serie de comentarios específicos dentro de este campo de acción, dirigidos tanto a las autoridades de Protección Civil como a la sociedad en general. Adicionalmente, el Atlas permitirá al investigador el análisis de los ciclones tropicales y de sus posibles consecuencias en México.



Fotografías/Associated Press



Vista del caribe mexicano después del paso del huracán Isidore, septiembre de 2002/Fotografía Marco A. Salas/CENAPRED



Introducción

El Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales de México tiene como objetivo plasmar en mapas, de sencilla interpretación, la distribución geográfica que presentan diversas variables relacionadas con los ciclones tropicales en la vecindad de México. Se basa en un simple procesamiento estadístico de la base de datos de trayectorias e intensidades de ciclones tropicales que maneja el Centro Nacional de Huracanes de los EUA, y su graficación como mapas (en general de las isolíneas de las variables en cuestión). Aunque el término de ciclón tropical se aplica aún a los sistemas débiles denominados *depresiones tropicales*, la base de datos mencionada incluye solamente a ciclones tropicales que en algún momento de su evolución alcanzaron la intensidad correspondiente a *tormenta tropical* o *huracán*. Por ello, las variables y estadísticas mostradas se refieren únicamente a este subconjunto de la totalidad de los ciclones tropicales. Esto no resulta grave pues son, precisamente estos sistemas, los que resultan en mayor destructividad e interés.

Todo pronóstico meteorológico (incluyendo la trayectoria e intensidad de ciclones tropicales) en tiempo real debe considerar, como una de sus componentes fundamentales, la climatología del fenómeno que se pronostica. Se puede decir que los pronósticos meteorológicos se orientan a predecir la desviación de las condiciones diarias, con respecto a esta climatología (el estado “normal” o común de estas condiciones). Conocer y difundir ampliamente la climatología detallada de ciclones tropicales alrededor de México servirá, inicialmente, como información cualitativa fundamental, no sólo para la evaluación de riesgos, sino también para la toma de decisiones en tiempo real. Numerosos mitos locales que existen en los ámbitos de protección civil local y de la población en general pueden ser directos y cuantitativamente comprobados o desterrados.

Los estudios similares, disponibles actualmente, corresponden a resoluciones incompatibles con el detalle requerido para su aplicación local, o bien corresponden únicamente a presencia de ciclones (sin información sobre intensidades o movimiento de los mismos). Es importante puntualizar que esta nueva información nos da la distribución espacial de diversos parámetros dentro de la región de interés para México, no solamente generalidades aplicables a la totalidad del territorio nacional (por ejemplo, como ocurre con las trayectorias comunes).

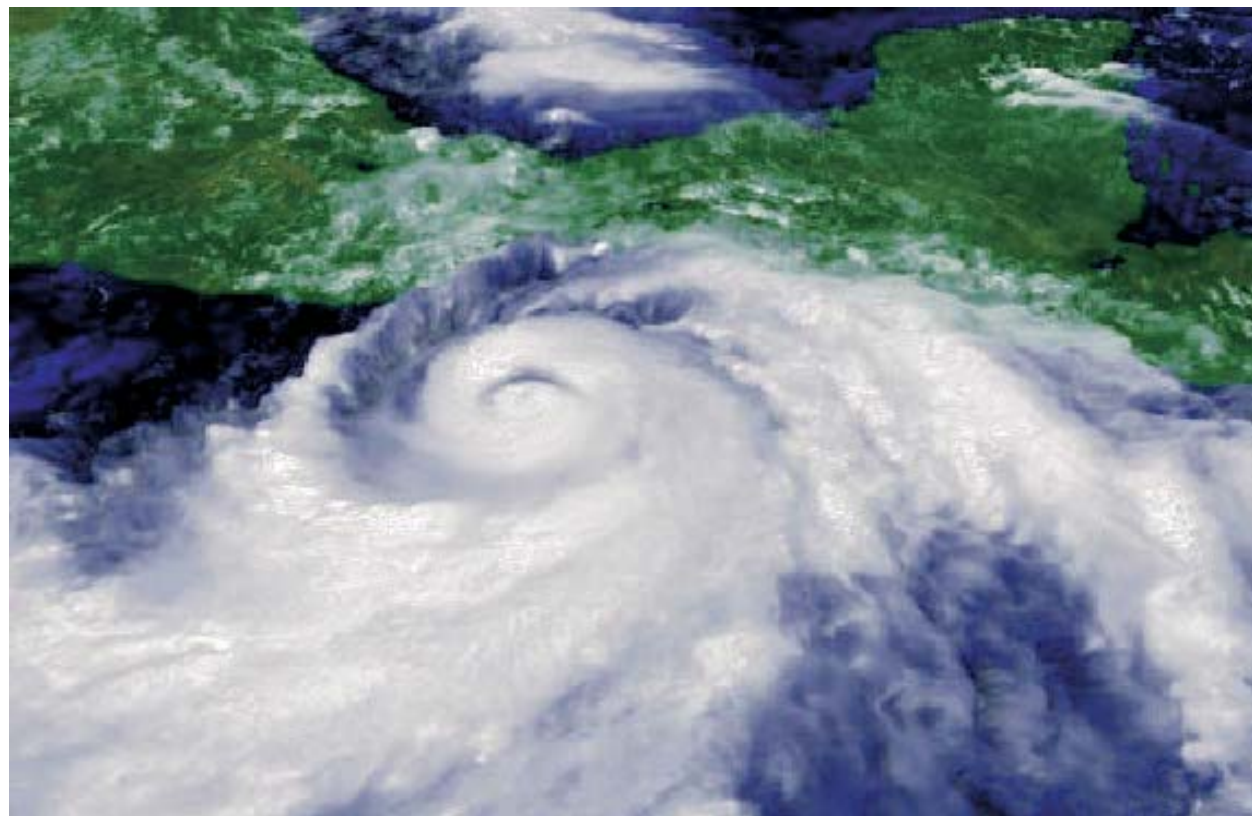


Imagen del huracán Pauline, 1999/Fotografía NASA

Alcance y resolución

Básicamente este Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales de México es un compendio de mapas de las variables más importantes que caracterizan a los ciclones tropicales, como son, por ejemplo, sus trayectorias y su distribución. Detrás de cada mapa se ha incluido una explicación que intenta abundar en sus aspectos más importantes. El Atlas nos ofrece un mejor conocimiento de la presencia de los ciclones tropicales en nuestro territorio y nuestros mares, así como los que viajan cerca de esta zona. El Atlas abarca una región entre los 45° a los 140° oeste, y entre los 5° a los 35° norte, como se muestra en la figura siguiente.

Aunque la cobertura genérica manejada es la arriba mencionada, por razones de eficiencia, se manejan diferentes coberturas para varios de los mapas que se presentan. Específicamente, el mapa topográfico cubre solamente longitudes de 85° a 118° oeste, y latitudes de 10° a 34° norte. En cambio, los mapas de temperatura de la superficie del mar cubren longitudes de 20° a 150° oeste, y latitudes de 10° sur a 50° norte.

Los mapas de trayectorias correspondientes al Atlántico norte se plasman en coberturas de longitudes de 45° a 105° oeste, mientras que los mapas de trayectorias correspondientes al Pacífico nororiental se plasman en mapas que cubren longitudes de 80° a 140° oeste. En adelante, las coberturas en latitud son siempre de 5° a 35° norte. Los dos mapas que comparan el Atlántico norte con el Pacífico (para el intervalo de años 1949-2000) cubren longitudes de 80° a 120° oeste. De ahí en adelante, todos los mapas correspondientes al Atlántico norte cubren de 70° a 110° oeste, y los correspondientes al Pacífico nororiental de 90° a 130° oeste. Estas diversas coberturas se encuentran indicadas en la figura siguiente.

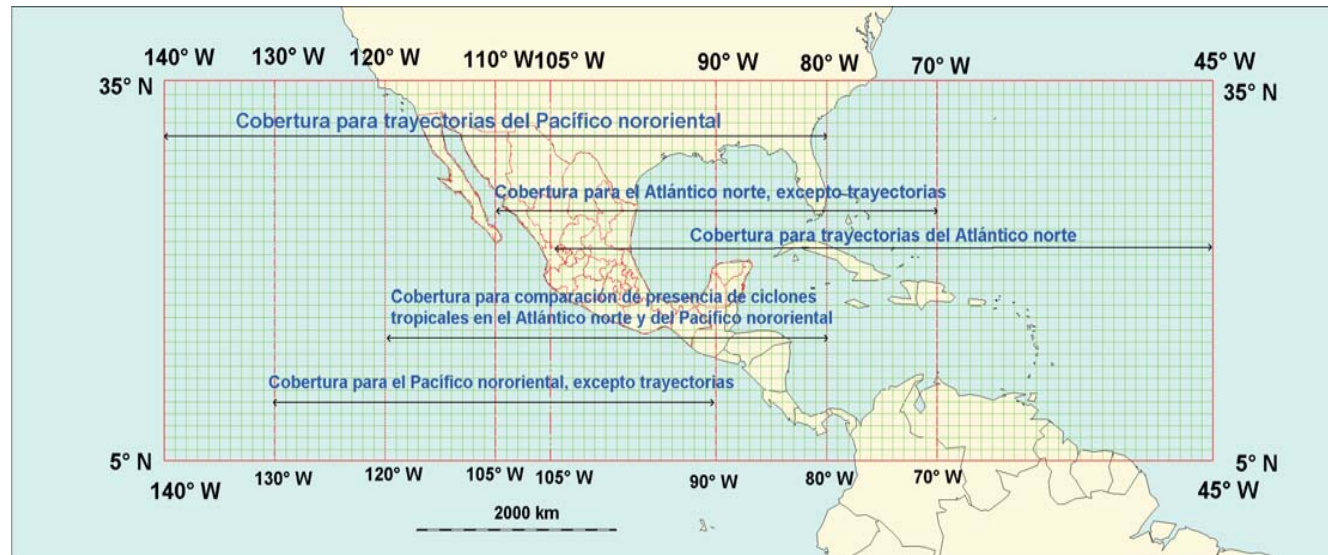


Imagen después del paso del huracán Kenna por México en noviembre de 2002 /Fotografía Associated Press

En la mayor parte de los mapas, el análisis de variables se lleva a cabo utilizando como base una malla de un grado de latitud por un grado de longitud, (100 x 100 km, aproximadamente, tal como se muestra en la figura 2), en la cual se concentran las estadísticas más importantes de los ciclones que pasan por cada una de esas celdas. El dominio utilizado cubre todos los posibles casos de ciclones tropicales desde al menos 24 horas antes de su posible incidencia sobre territorio nacional. Para llevar a cabo lo anterior se utilizaron programas de cómputo y cálculo de estadísticas especiales que permiten el conteo de los ciclones y de sus características.



Zona de estudio de la climatología de ciclones tropicales en México



Malla, de un grado por un grado, utilizada en el estudio de variables de ciclones tropicales y zonas de análisis para las diferentes variables

Se incluyen al principio mapas de la topografía del país y de la temperatura mensual del mar. Con ellos se podrá hacer una relación de estos factores y de las trayectorias ciclónicas mensuales.

En cuanto al periodo histórico estudiado, se contó con información desde 1851 hasta el 2000, para el caso del océano Atlántico, y desde 1949 hasta el 2000, para el océano Pacífico, debido a la disponibilidad de datos; sin embargo, los periodos analizados variaron también de acuerdo al parámetro estudiado.

Las trayectorias se analizaron, tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico, agrupándolas por décadas y por meses, para el periodo de 1951 a 2000, ya que hay datos más confiables de trayectorias para este lapso. De igual manera, se estudió su distribución y frecuencia en el periodo de 1949 a 2000 en ambos océanos, y también por separado; en el Pacífico en el

mismo periodo, pero en el caso del Atlántico, el periodo fue desde 1851 hasta 2000. Se analizan también los puntos de inicio y de fin de las trayectorias para identificar zonas generadoras de ciclones, y zonas donde éstos comúnmente se disipan.

En esta versión impresa se presentan además mapas de las siguientes variables:

- 1) Presión central en milibares (un milibar, mb, es igual a un hectopascal, hPa)
- 2) Velocidad de vientos máximos sostenidos (en km/h) *
- 3) Cambio de la velocidad de vientos máximos sostenidos, en un lapso de 6 horas (en km/h cada 6 h)
- 4) Dirección de traslación del sistema (en grados de acimut)

- 5) Magnitud de la velocidad de traslación (en km/h)

Pero, para cada una de las variables mencionadas se presentan diversas estadísticas como son:

- a) Valor medio
- b) Valor medio más desviación estándar
- c) Valor medio menos desviación estándar
- d) Valor máximo
- e) Valor mínimo

Conviene señalar que no todas las estadísticas se presentan para todas las variables, en virtud de que para la protección civil son sólo de interés los casos analizados en este documento.

* Los vientos sostenidos están definidos como el viento medio medido durante un minuto, a una altura aproximada de 10 m sobre la superficie (http://www.nhc.noaa.gov/HAW/basics/hurricane_basics.htm)

Fundamentos sobre ciclones tropicales

Para comprender mejor el contenido del Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales se incluye la definición de ciertos conceptos importantes y características de los ciclones tropicales, tales como la propia definición del fenómeno, principales efectos y sus parámetros mesurables.

Un ciclón tropical es una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26° C. Cuando éstos se ubican en el hemisferio norte, giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Los ciclones tropicales tienen un área casi circular con la presión más baja en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h.

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la presión que existe en su centro o a la velocidad de sus vientos. Se les denomina depresión tropical (presión de 1008 a 1005 mb o velocidad de los vientos menor que 63 km/h), tormenta tropical (presión de 1004 a 985 mb o velocidad del viento entre 63 y 118 km/h) y huracán (presión menor que 984 mb o velocidad del viento mayor que 119 km/h). En la tabla 1 se consigna la clasificación de huracanes, según Saffir-Simpson, y algunos de sus efectos.



Imagen después del paso del huracán Kenna por México en noviembre de 2002 /Fotografía Associated Press

Fuentes: <http://www.weatherwise.org>, <http://www.comet.ucar.edu>, <http://www.hurricanewarning.net>, Fascículo No. 5 Huracanes. Secretaría de Gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil. Segunda edición, junio 1994.

Nota: Se debe mencionar que las características de los daños mencionados en la tabla están basados en el tipo de edificaciones que se construyen en Estados Unidos, casas de madera con techos ligeros y no necesariamente bien anclados. Es por ello que dichas características deben tomarse con reserva, aunque no deben despreciarse, de ninguna manera, los efectos destructivos de un huracán.

Tabla 1. Escala de daño potencial de Saffir-Simpson

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Marea de tormenta (m)	Características de los posibles daños materiales e inundaciones
Perturbación tropical	1008.1 a 1010	---	---	Ligera circulación de vientos
Depresión tropical	1004.1 a 1008	< 62	---	Localmente destructivo
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos
Huracán categoría 1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Potencial Mínimo. Ningún daño efectivo a los edificios. Daños principalmente a casas rodantes no ancladas, arbustos, follaje y árboles. Ciertos daños a señales pobremente construidas. Algunas inundaciones de carreteras costeras en sus zonas más bajas y daños leves en los muelles. Ciertas embarcaciones pequeñas son arrancadas de sus amarres en fondeaderos expuestos.
Huracán categoría 2	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Potencial Moderado. Daños considerables a arbustos y a follaje de árboles, inclusive, algunos de ellos son derribados. Daño extenso a señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Daño grave a casas rodantes. Carreteras costeras inundadas de 2 a 4 h antes de la entrada del centro del huracán. Daño considerable a muelles, inundación de marinas. Las pequeñas embarcaciones en fondeaderos sin protección rompen amarres. Evacuación de residentes que viven en la línea de costa.
Huracán categoría 3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Potencial Extensivo. Follaje arrancado de los árboles; árboles altos derribados. Destrucción de prácticamente todas las señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Algunos daños estructurales en pequeñas residencias. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas; los escombros flotantes y el embate de las olas dañan a las estructuras mayores cercanas a la costa. Los terrenos planos sobre 1.5 m del nivel del mar, pueden resultar inundados hasta 13 km tierra adentro (o más) desde la costa.
Huracán categoría 4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Potencial Extremo. Arbustos y árboles derribados; todas las señales destruidas. Daños severos. Daño extenso a los techos de casas, puertas y ventanas. Falla total de techos en residencias pequeñas. Destrucción completa de casas móviles. Terrenos de planicie a 3 m sobre el nivel del mar pueden inundarse hasta 10 km tierra adentro de la costa. Grave daño a la planta baja de estructuras cercanas a la costa por inundación, embate de las olas y escombros flotantes. Erosión importante de las playas.
Huracán categoría 5	< 920	> 250	> 5.5	Potencial Catastrófico. Derribo de arbustos y árboles, caída total de señales. Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios industriales. Vidrios hechos añicos de manera extensiva en ventanas y puertas. Algunas edificaciones con falla total. Pequeñas edificaciones derribadas o volcadas Destrucción completa de casas móviles. Daños graves en plantas bajas de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

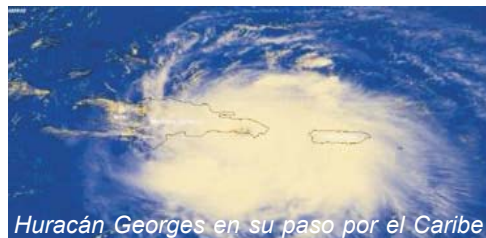


Los efectos provocados por ciclones tropicales son peligrosos: generación de lluvias intensas, vientos fuertes, oleaje e inundación costera por marea de tormenta. Para poder monitorear la magnitud e intensidad de los efectos, así como para poder pronosticar un ciclón tropical, es necesario medir ciertos parámetros de los ciclones tropicales, que son básicamente la presión mínima central, los vientos máximos sostenidos, así como la dirección y velocidad de traslación.

Puesto que la energía de un ciclón es mayor conforme es más grande la diferencia de presiones entre su centro y la habitual de su periferia (esta última del orden de 1013 milibares) resulta importante medir la presión mínima central.

El parámetro utilizado en el Atlas, la velocidad de los vientos máximos sostenidos, representa los vientos más intensos que se presentan precisamente sobre el borde derecho (mirando hacia donde se mueve el ciclón) del ojo del huracán. El calificativo de velocidad máxima se refiere al máximo con respecto a la distribución en planta del viento sostenido. Éste es el índice de intensidad del ciclón más común y más adecuado para labores de protección civil (Rosengaus, 1988).

La velocidad de traslación de un ciclón tropical, se refiere a la velocidad con que se traslada un ciclón de un punto a otro en su trayectoria. La dirección de traslación se refiere al ángulo con que se desplaza el ciclón tropical de un punto a otro en su trayectoria.

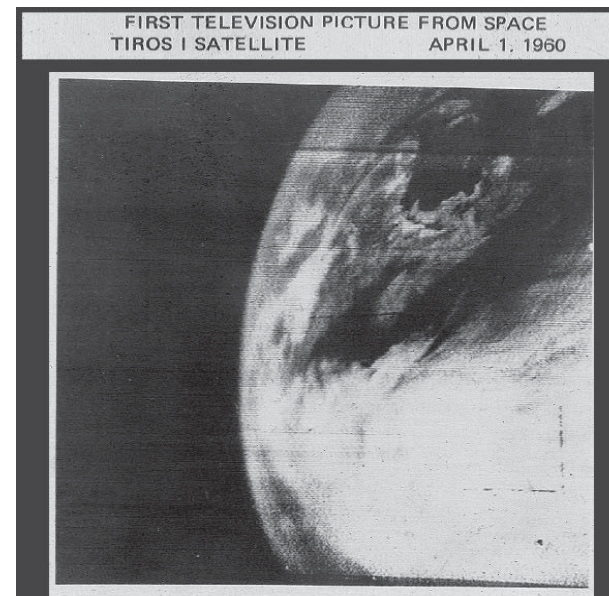


Huracán Georges en su paso por el Caribe

Definición de las estadísticas descriptivas utilizadas

Las estadísticas utilizadas son:

- Media: el valor promedio aritmético de los diversos valores de la muestra.
- Desviación estándar: una medida de la variabilidad de los valores de la muestra. Bajo ciertas suposiciones comunes se puede considerar que el intervalo de valores entre la media menos la desviación estándar, como cota inferior, y la media más la desviación estándar, como cota superior, incluirá aproximadamente 2/3 de los casos en la muestra. Este intervalo se utiliza comúnmente para representar los valores comunes de una variable,



*Primera imagen de satélite vista por televisión.
Abril 1, 1960*

de tal forma que, tanto el valor medio, como la variabilidad alrededor de éste, quedan definidos.

- Valor máximo: se refiere al valor extremo superior presente en la muestra. Éste no necesariamente es el valor máximo que se puede llegar a presentar en el futuro; simplemente lo es de la muestra estadística, del pasado, analizada.
- Valor mínimo: se refiere al valor extremo inferior en la muestra estadística. Éste no necesariamente es el valor mínimo que se puede llegar a presentar en el futuro; simplemente lo es de la muestra estadística, del pasado, analizada.

En los mapas de isóneas, los valores máximos y mínimos de una variable no necesariamente representan los valores puntuales extremos, pues la forma misma de generar las isóneas suaviza los extremos, al promediar los valores de una celda con la de sus celdas vecinas.

Conocer los valores (medios, variabilidad y extremos) de estas variables, así como su distribución geográfica en la vecindad de México, puede ser de gran utilidad, tanto para los responsables de la toma de decisiones, como son las autoridades de protección civil, como para los investigadores del tema. Este trabajo puede servir, también, como antecedente para crear un modelo probabilístico para el pronóstico de ciclones tropicales. Es por ello que se pretende mantener actualizado este Atlas, analizando no sólo toda la muestra en conjunto, sino clasificándola bajo criterios de intensidad, mes del año, años con el fenómeno de El Niño, La Niña o neutros, etc. Se pretende hacerlo en un ambiente gráfico disponible en Internet, para que sea accesible a un número mayor de personas. Además, será un insumo central del Atlas Nacional de Riesgos – Sistema Integral de Información sobre Riesgo de Desastres.

Mapas

En el mapa de elevaciones de la República Mexicana se presentan, en colores claros, las elevaciones altas, mientras que en colores oscuros se representan a las elevaciones bajas, las cuales, si están cerca de la costa son más susceptibles de resentir los efectos de los ciclones tropicales. Se observa que las planicies costeras tienen un ancho de hasta 300 km, como es el caso de la costa del golfo de México, que se adentra hasta el estado de Nuevo León, o hasta de 150 km, en el estado de Sonora. En las costas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero los anchos de planicie son menos extensos (hasta 40 km), aunque en el límite superior de dichas planicies rápidamente se presentan elevaciones alrededor de los 2000 m. s. n. m. Un caso notable es el de Acapulco, en el que la cuenca del arroyo Camarón descarga sus escurrimientos a la costa, en una longitud de 6 ó 7 km, y con elevaciones de hasta 1000 m. s. n. m. en su parte alta. En 1997 se produjo un importante flujo de escombros debido a las lluvias intensas producidas por el huracán Pauline, que alcanzó un intensidad de lluvia de 120 mm en una hora.

Por otro lado, la porción continental que incluye a la península de Yucatán, Tabasco y el sur de Veracruz es prácticamente plana y no representa obstáculo alguno al paso de ciclones tropicales. Las montañas en el sur de la península de Baja California (aproximadamente entre los 500 y los 1000 m. s. n. m.), no son tan altas como las del resto del país y representan obstáculos moderados al paso de los ciclones tropicales.

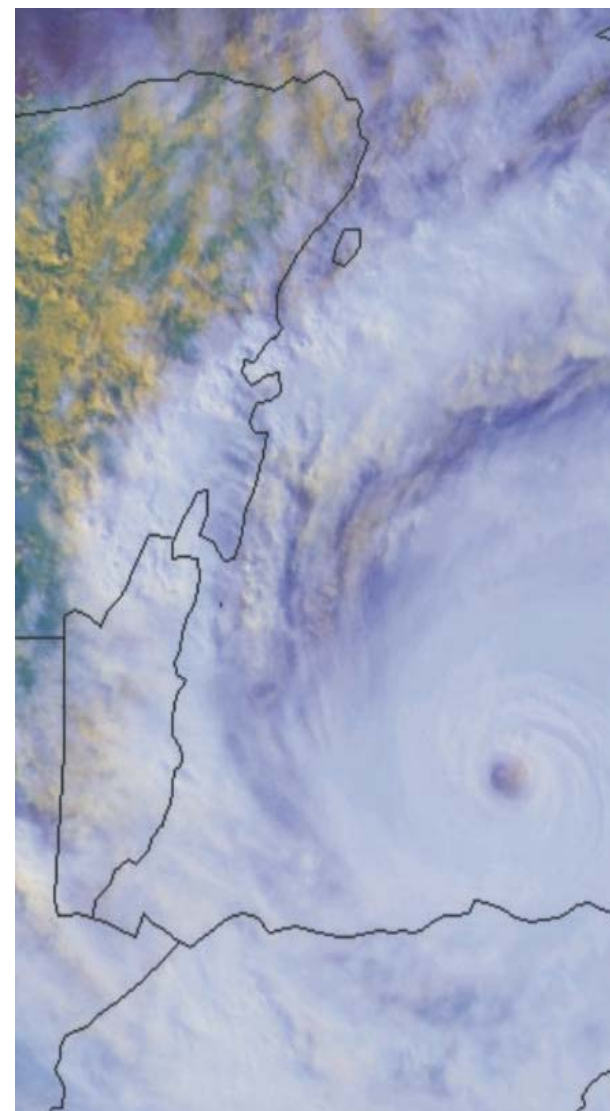
Se observa en la lámina que el macizo montañoso de Chiapas se encuentra claramente separado del resto de la topografía del país, creándose un corredor de baja altura en el Istmo de Tehuantepec que facilita la

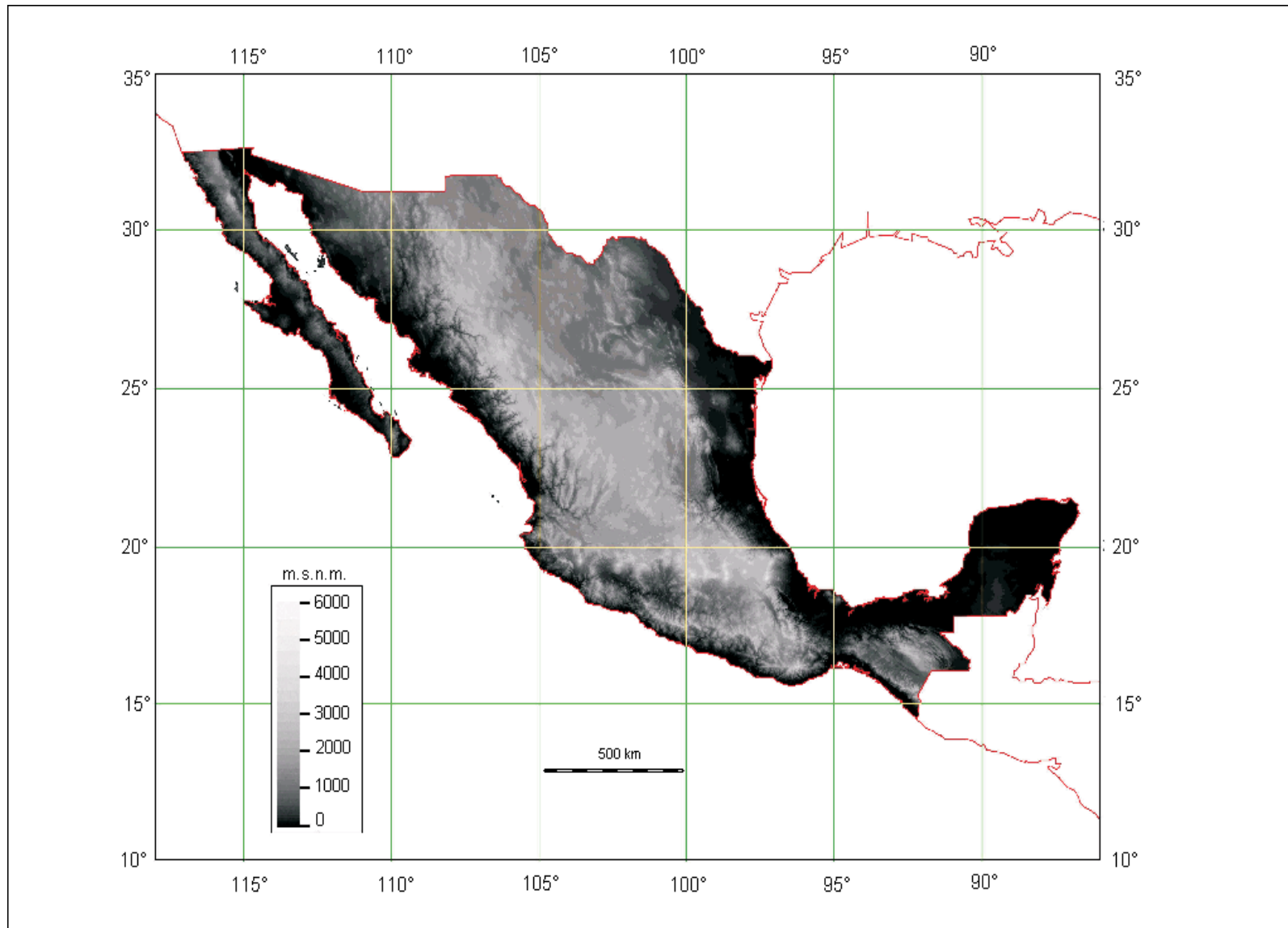
conexión del aire marítimo entre el Pacífico y el golfo de México al paso de ciclones tropicales (en ambos lados) que alinean sus flujos con este corredor. Dentro de esta zona se encuentra “La Ventosa”, famosa por los fuertes vientos capaces de volcar los remolques de los tractocamiones de carga.

Resulta necesario considerar además, que los flujos de viento superficiales en las profundas cañadas de las vertientes marinas, al pie de las sierras, pueden presentar vientos significativamente distorsionados con respecto al campo de vientos nominal de un ciclón tropical (Rosengaus, 1988).



El huracán Mitch, uno de los más devastadores en la historia de los ciclones tropicales, provocó un flujo de escombros en Tegucigalpa, Honduras. En este caso, el relieve del lugar y el alto estado de erosión del suelo, además de la cantidad de lluvia precipitada, jugaron un papel decisivo en el desastre.



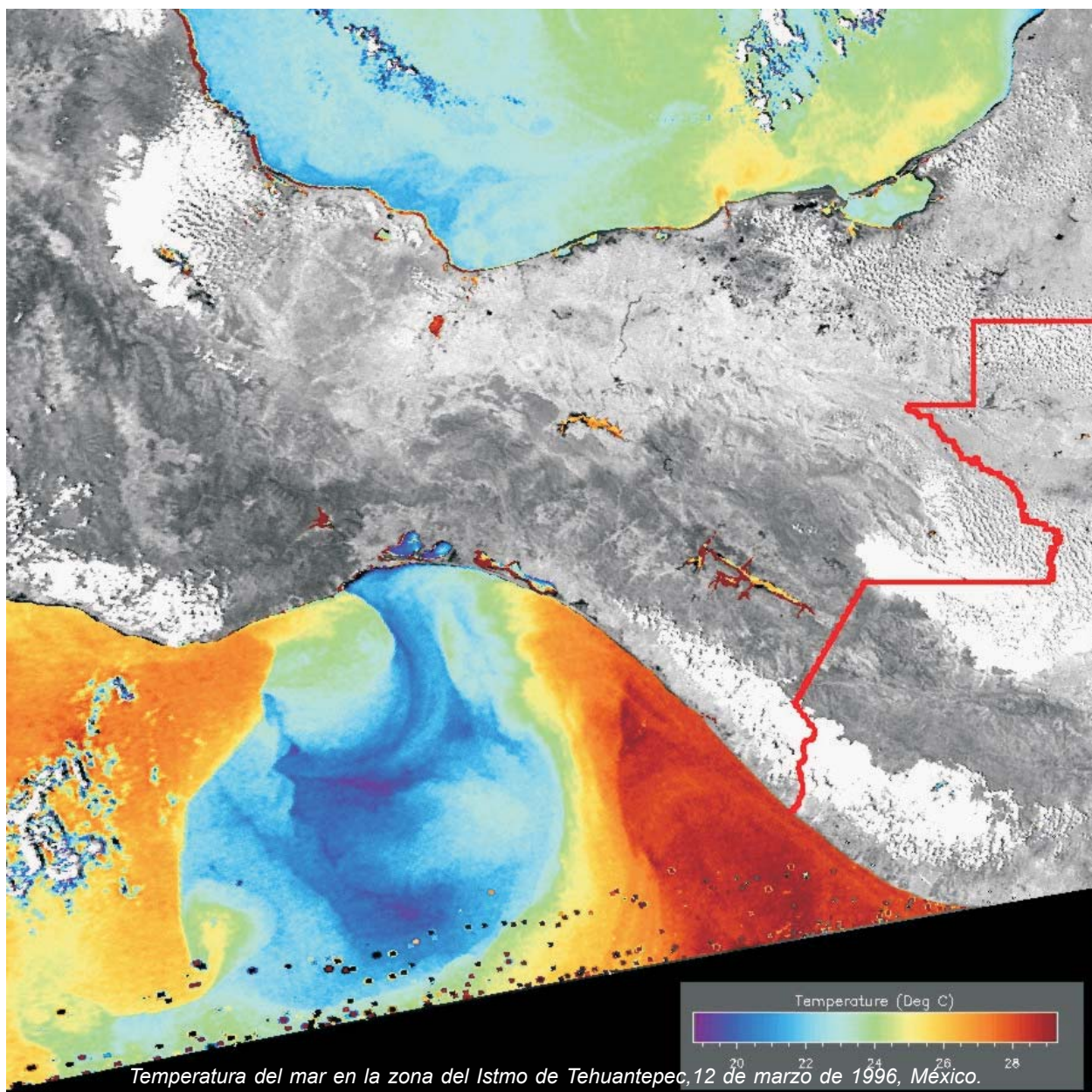


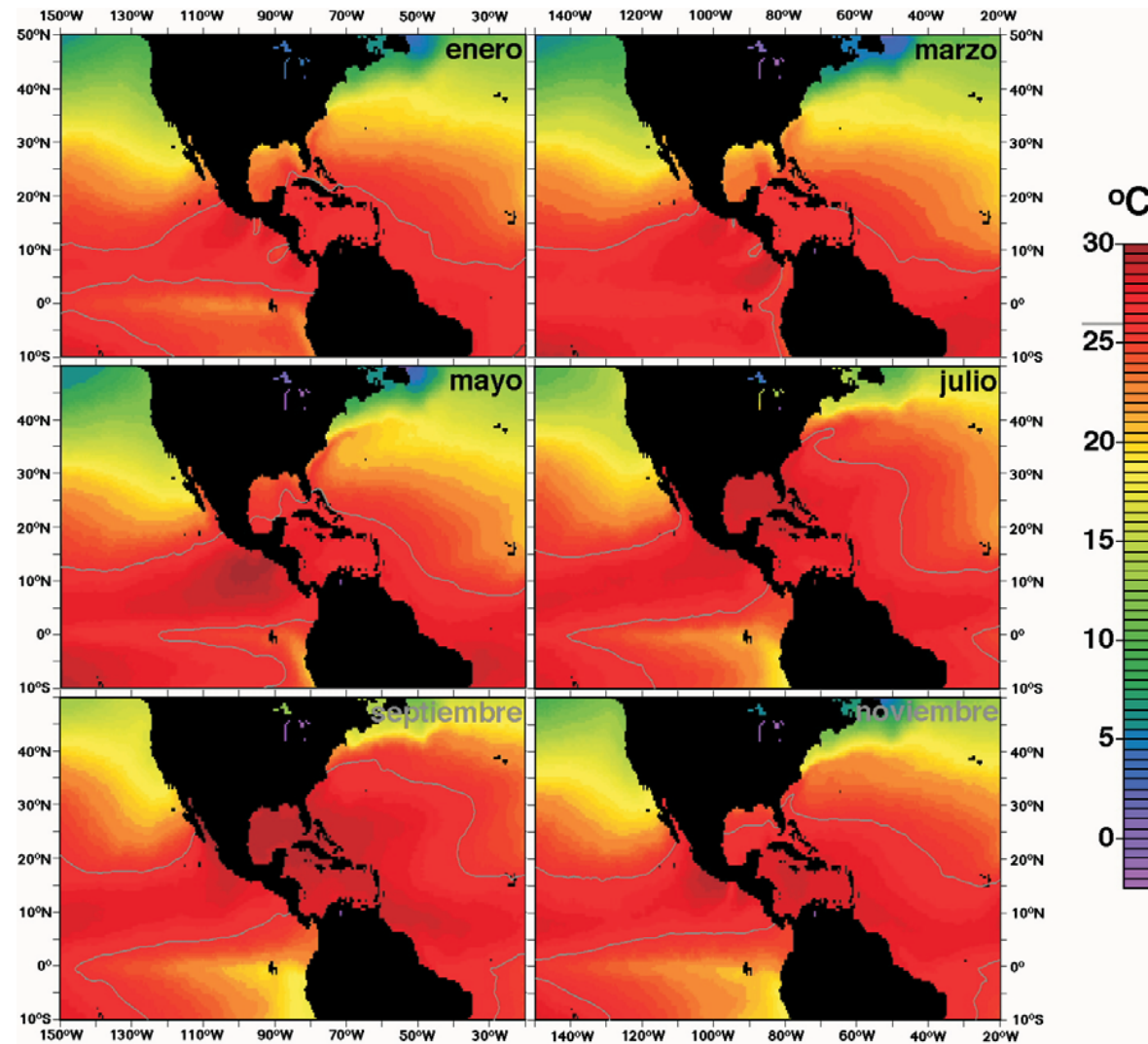
Mapa 1. Mapa de elevaciones de la República Mexicana

Los ciclones tropicales son grandes máquinas de la naturaleza que se alimentan de energía térmica proveniente del mar. La temperatura del mar ideal para la formación de estos meteoros es arriba de los 26° C, por lo que el monitoreo de esta variable es una manera de conocer las zonas donde es posible que los ciclones se desplacen manteniendo o incrementando su intensidad. De hecho, el Caribe mexicano, así como la costa sur del Pacífico mantienen temperaturas de la superficie del mar que permiten sustentar ciclones tropicales durante todo el año.

En el mapa se muestran seis instantes en la evolución de la temperatura de la superficie del mar a lo largo del año. De enero a abril la temperatura del mar cercana a México es menor que el resto del año. A partir de mayo se produce un incremento de la temperatura del mar, principalmente en el océano Pacífico. En julio es más notable el aumento en el golfo de México. A partir de noviembre la temperatura del mar comienza nuevamente a disminuir en ambos océanos. Se observa que entre los meses de julio a noviembre hay un incremento de temperaturas en el golfo de California (mar de Cortés), a diferencia de la costa oceánica de la península de Baja California que no tiene temperaturas que permitan sustentar ciclones tropicales. Hay que recordar que la temporada de ciclones tropicales comienza el 15 de mayo en el océano Pacífico y el 1° de junio en el Atlántico, mientras que el término de ésta es el 30 de noviembre en ambos océanos.

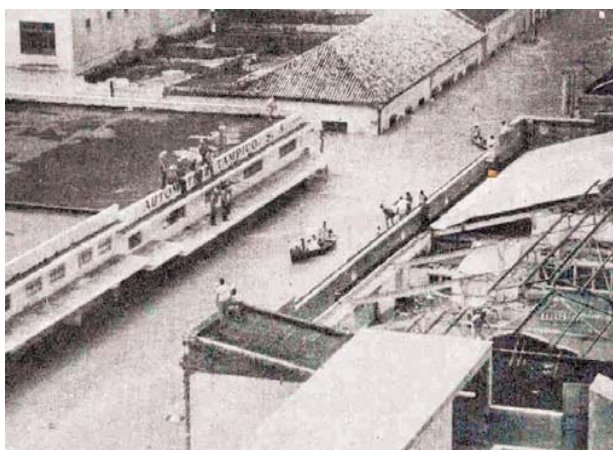
Durante el invierno se presenta una lengua de aguas más frías directamente al sur del Istmo de Tehuantepec, producida por el paso de vientos fuertes del golfo de México que mezclan las aguas superficiales del mar con aguas profundas. Esto demuestra la facilidad con la que el viento marítimo puede conectarse del golfo de México al Pacífico, o viceversa, bajo las condiciones adecuadas.





Mapa 2. Evolución de la temperatura de la superficie del mar en grados centígrados a lo largo del año.

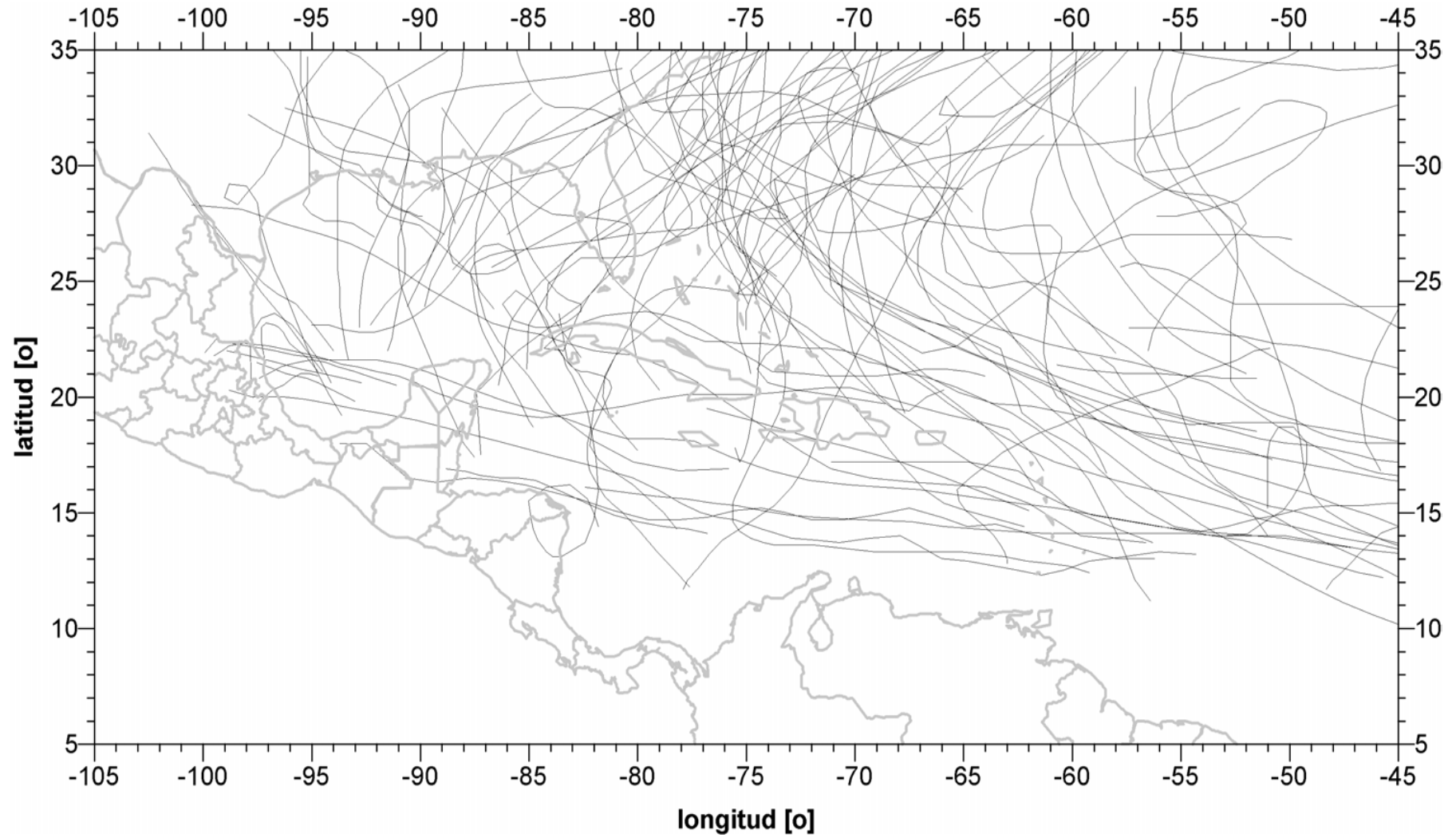
En las láminas siguientes (mapas 3a a 3e) se muestran las trayectorias de los ciclones tropicales que han ocurrido en el océano Atlántico, década por década, desde 1951 al 2000. Se observa que una pequeña cantidad de los ciclones que ocurren llegan a afectar a México. Destaca la década de 1981 a 1990 como de poca actividad ciclónica; sin embargo, en esta década, en el año de 1988 ocurrió uno de los huracanes más devastadores del siglo XX, Gilbert, que afectó al Caribe, Cancún y Monterrey, principalmente. De esta manera se hace notar que los pronósticos acerca del posible número de ciclones, que se hace a principios de todos los años, debe ser únicamente una referencia para lo que se espera en el año en curso. Siempre deben tomarse las precauciones correspondientes durante la época de huracanes, ya que siempre existe la posibilidad de que un ciclón afecte una población, tanto costera como también tierra adentro, en este último caso principalmente por lluvia.



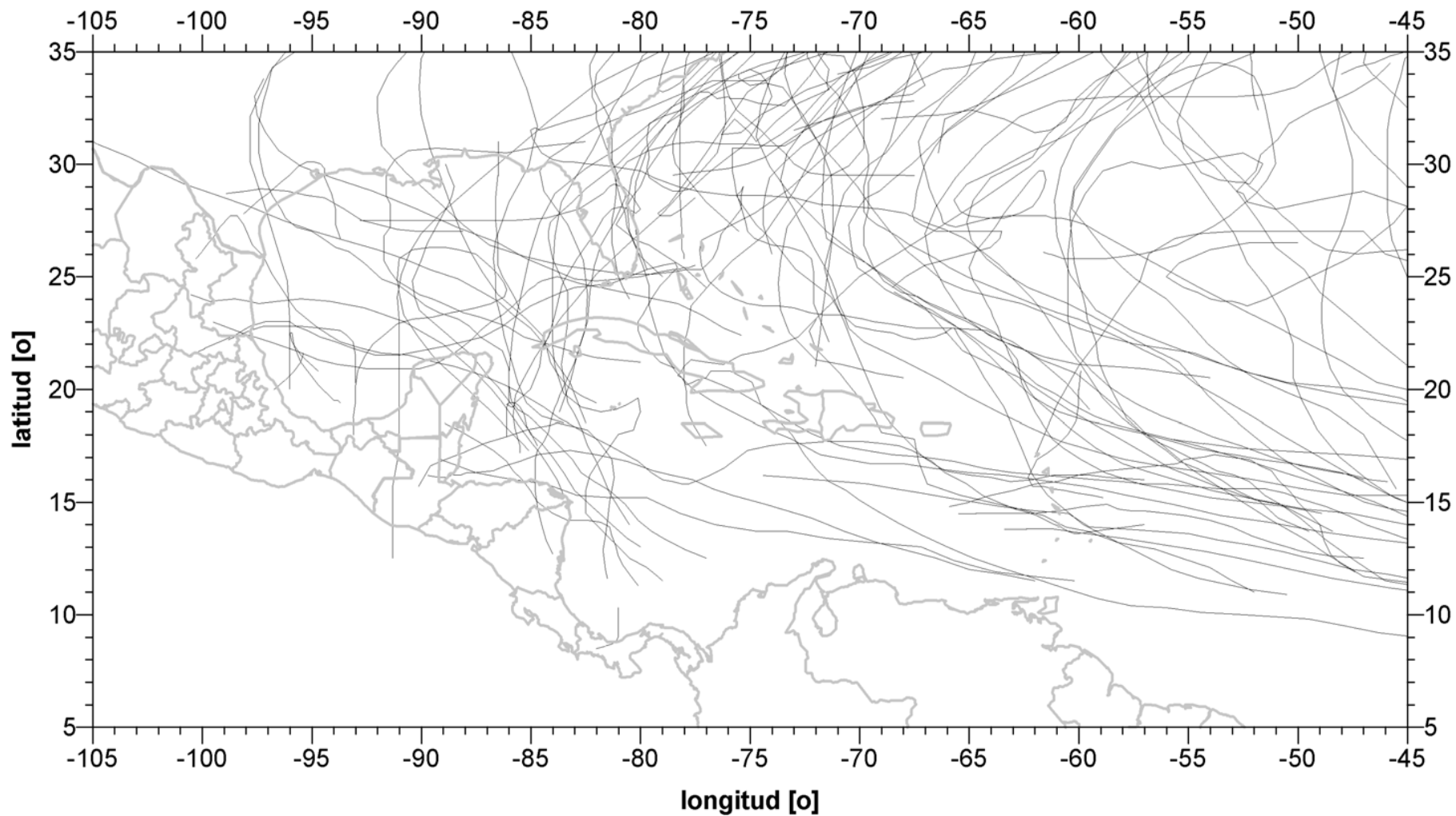
Gran inundación en Tampico, Tamps., provocada por el huracán Janet en septiembre de 1955



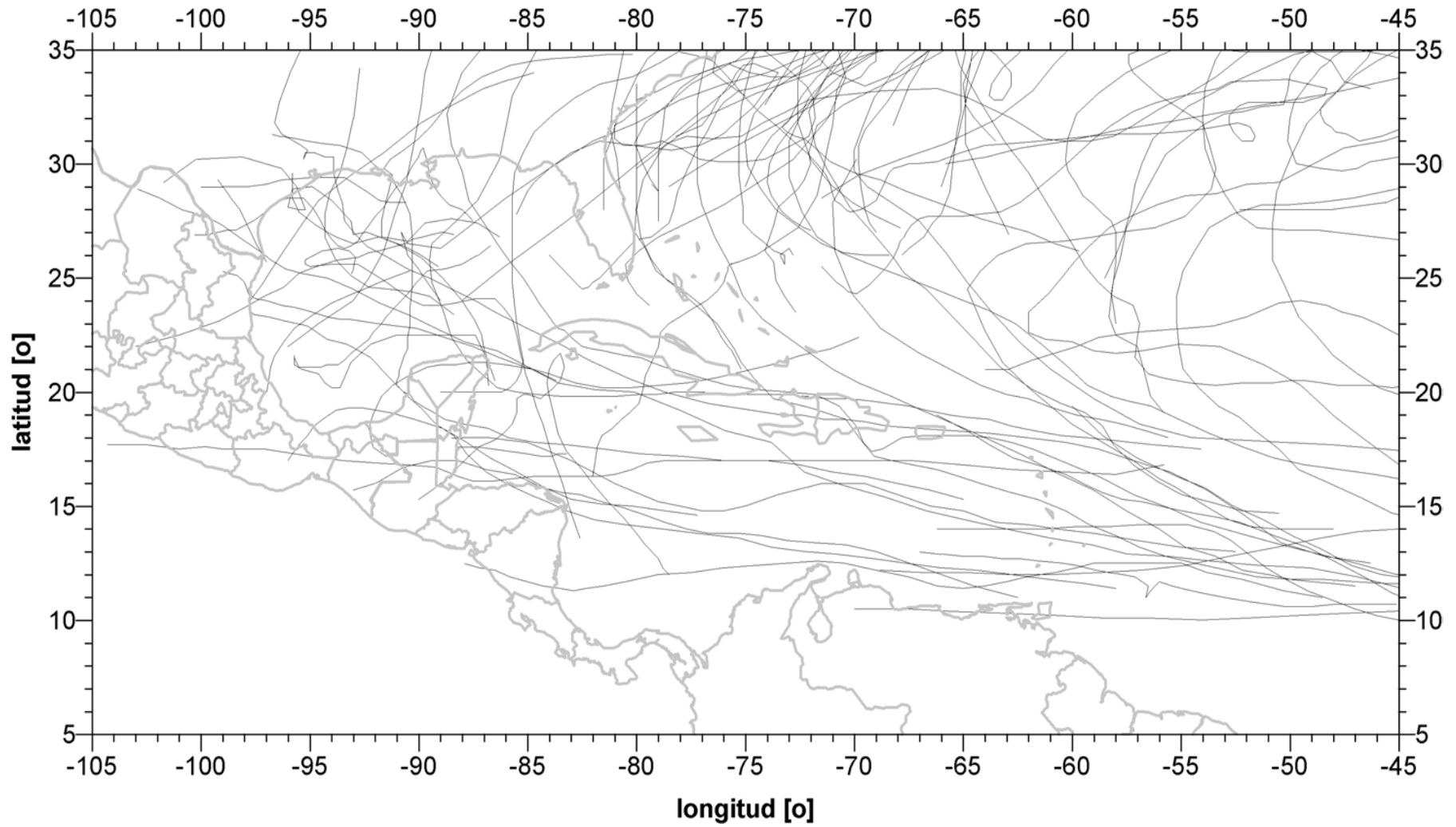
Daños causados por el huracán Gilbert en 1988 en ciudades como Cancún y Monterrey, en México



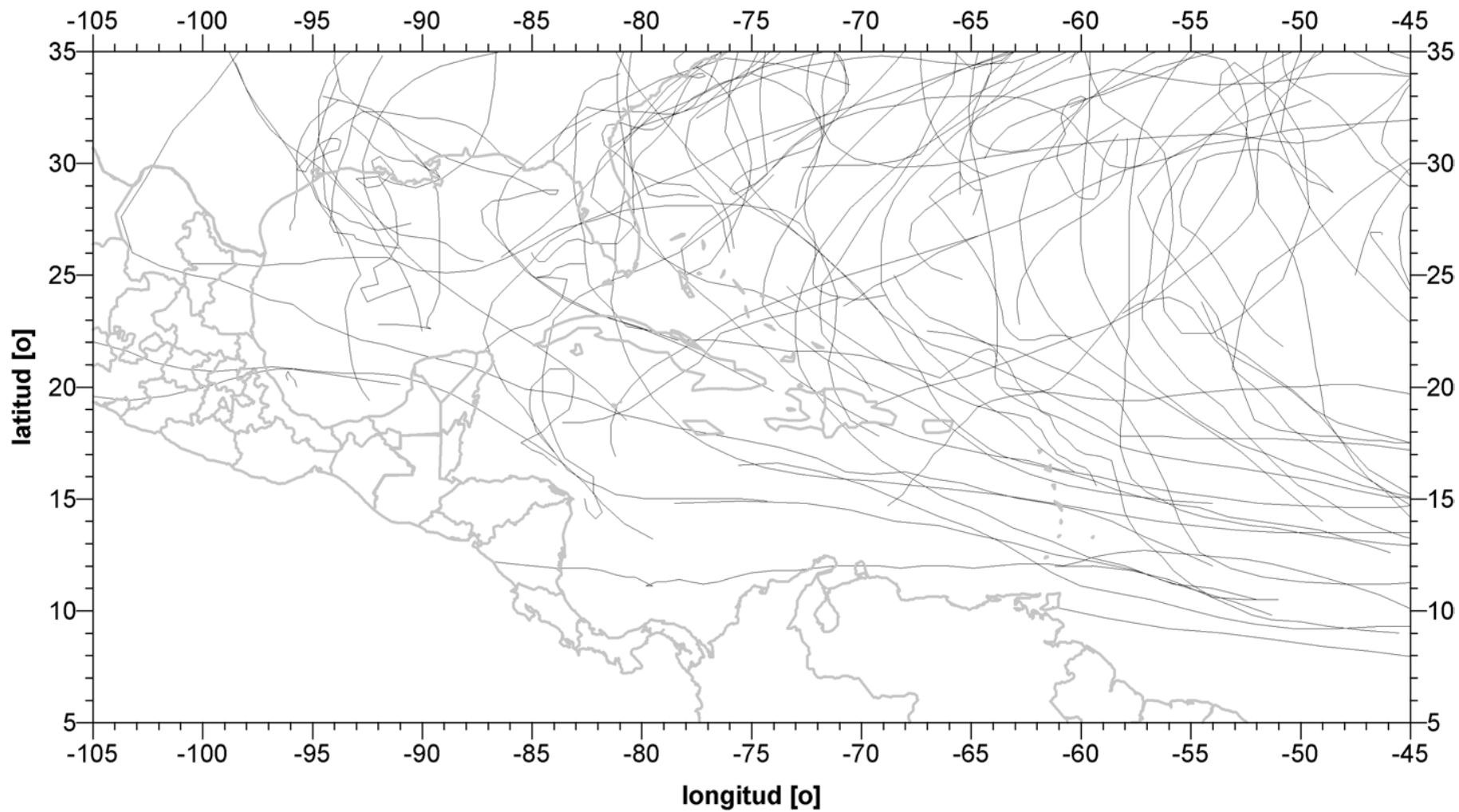
Mapa 3a. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-1960



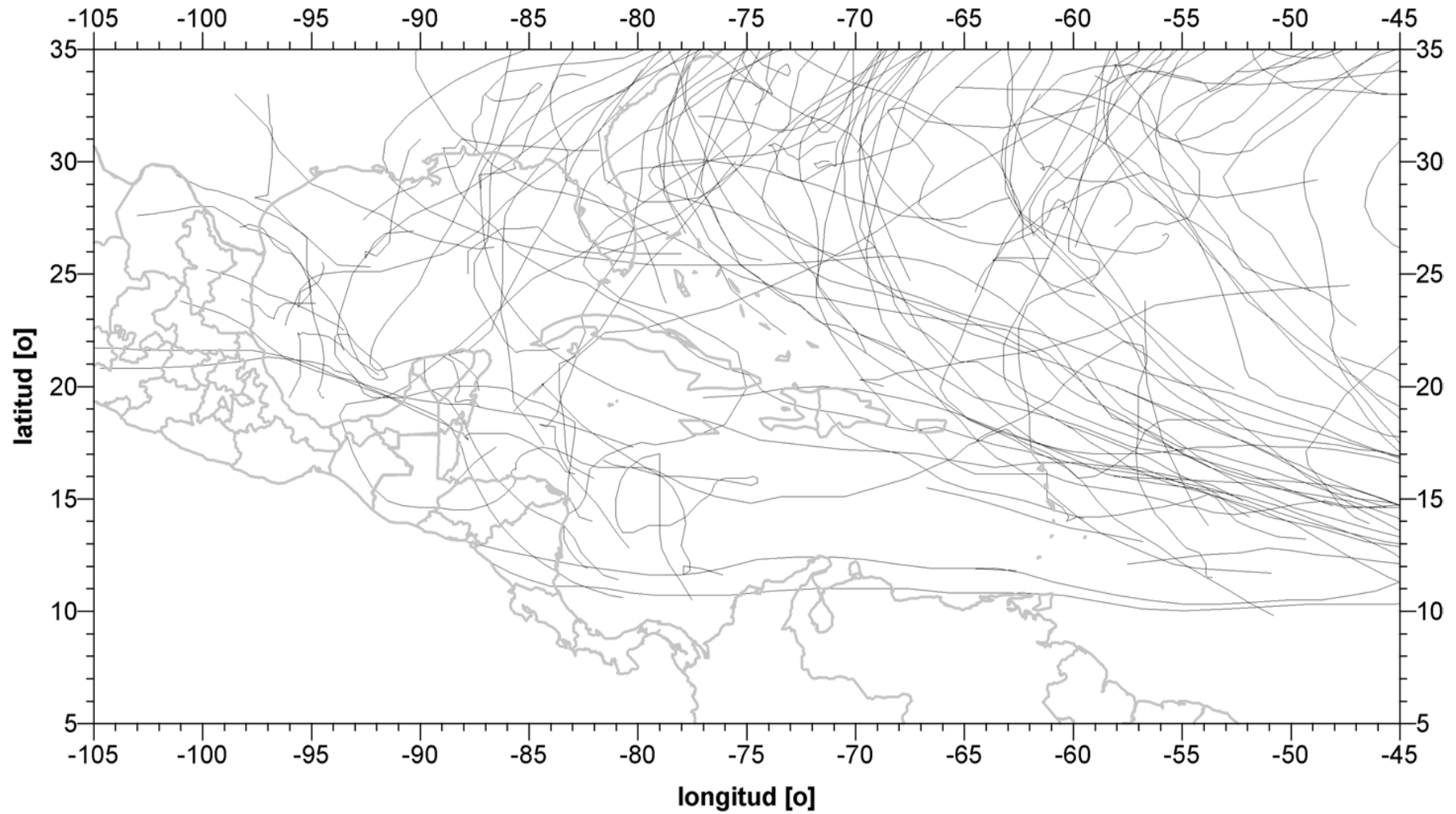
Mapa 3b. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1961-1970



Mapa 3c. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1971-1980



Mapa 3d. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1981-1990



Mapa 3e. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1991-2000

En las láminas siguientes (mapas 4a a 4e) se muestran las trayectorias de los ciclones tropicales que han ocurrido en el océano Pacífico, década por década, desde 1951 al 2000. Se observa que desde el año de 1961 a la fecha, las trayectorias muestran mayor densidad que en la primera década (1951-1960). Lo anterior puede deberse, muy probablemente, a que en dicha década aún no operaban los satélites ambientales y por ello un número significativo de ciclones tropicales pudieron haber pasado inadvertidos. Esto es, probablemente no es un cambio real en el número de ciclones tropicales.

En contraste con el Atlántico norte, en el Pacífico nororiental se observa un ligero aumento en el número de trayectorias en la década de 1981-1990. Por lo demás, los patrones de trayectorias son bastante consistentes entre década y década.

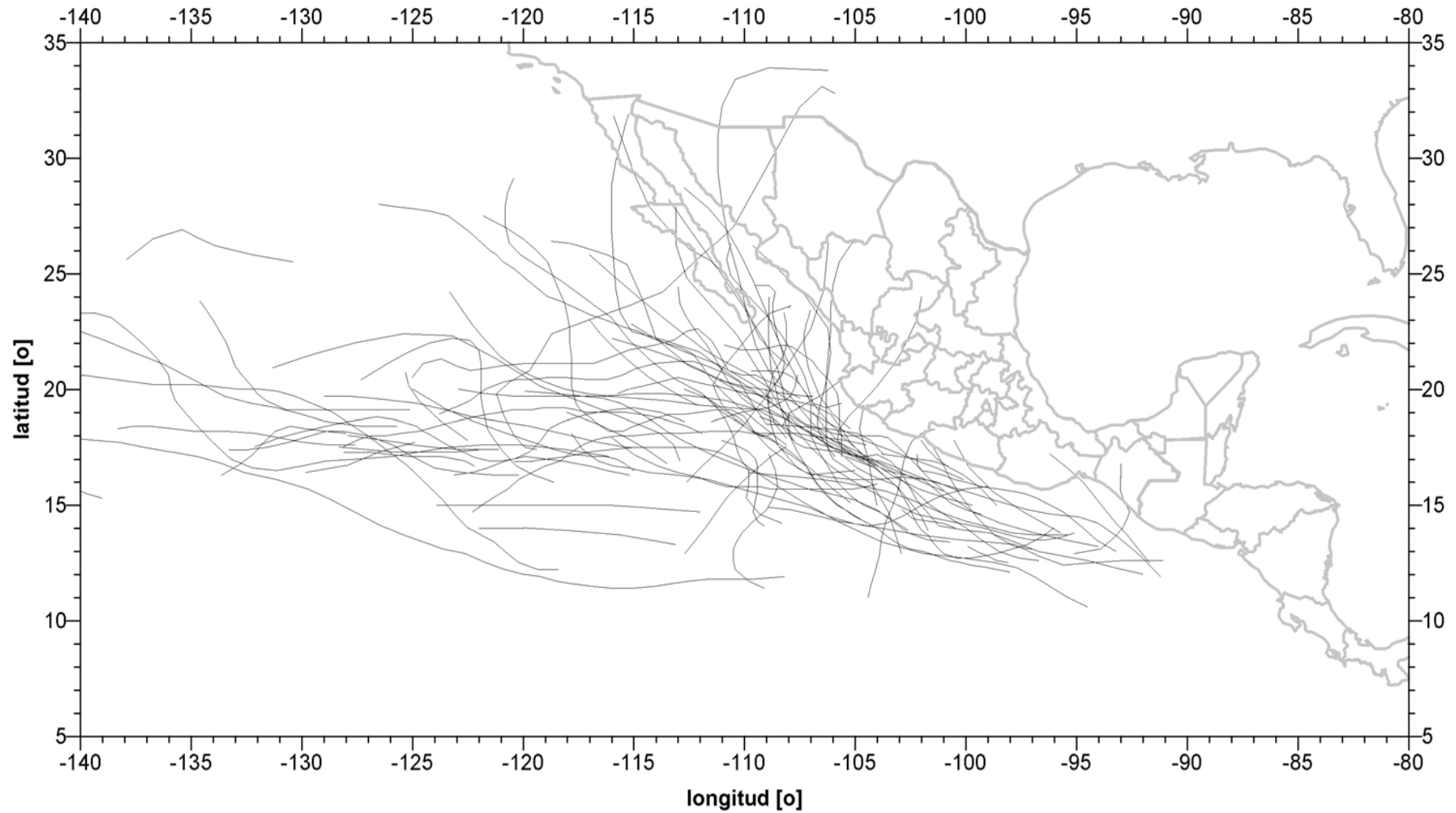


Efectos de viento provocados por el huracán Andrew en agosto de 1992 en Miami. Este huracán es considerado como uno de los que más pérdidas económicas han ocasionado a los Estados Unidos de América

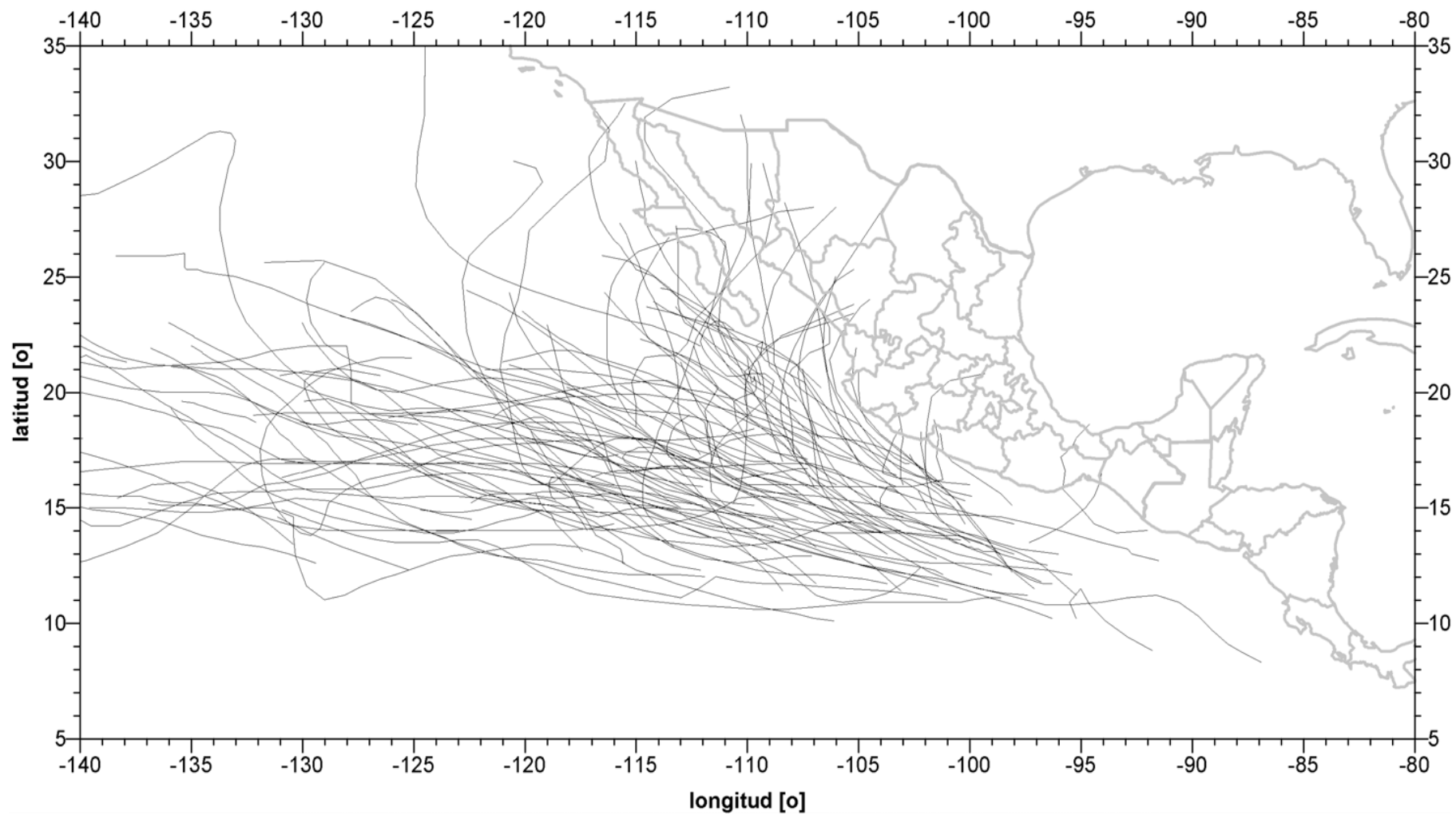
Los pronósticos acerca del posible número de ciclones que se hace a principios de todos los años debe ser únicamente una referencia para lo que se espera en el año en curso; siempre deben tomarse las precauciones correspondientes durante la época de huracanes, ya que siempre existe la posibilidad de que un ciclón afecte una población, tanto costera como también tierra adentro, en este último caso, principalmente por lluvia. No hay que olvidar que la afectación a una población por un ciclón puede ser aún cuando éste se encuentre a un par de cientos de kilómetros de la costa, todavía en el mar, debido a la influencia de sus bandas nubosas.



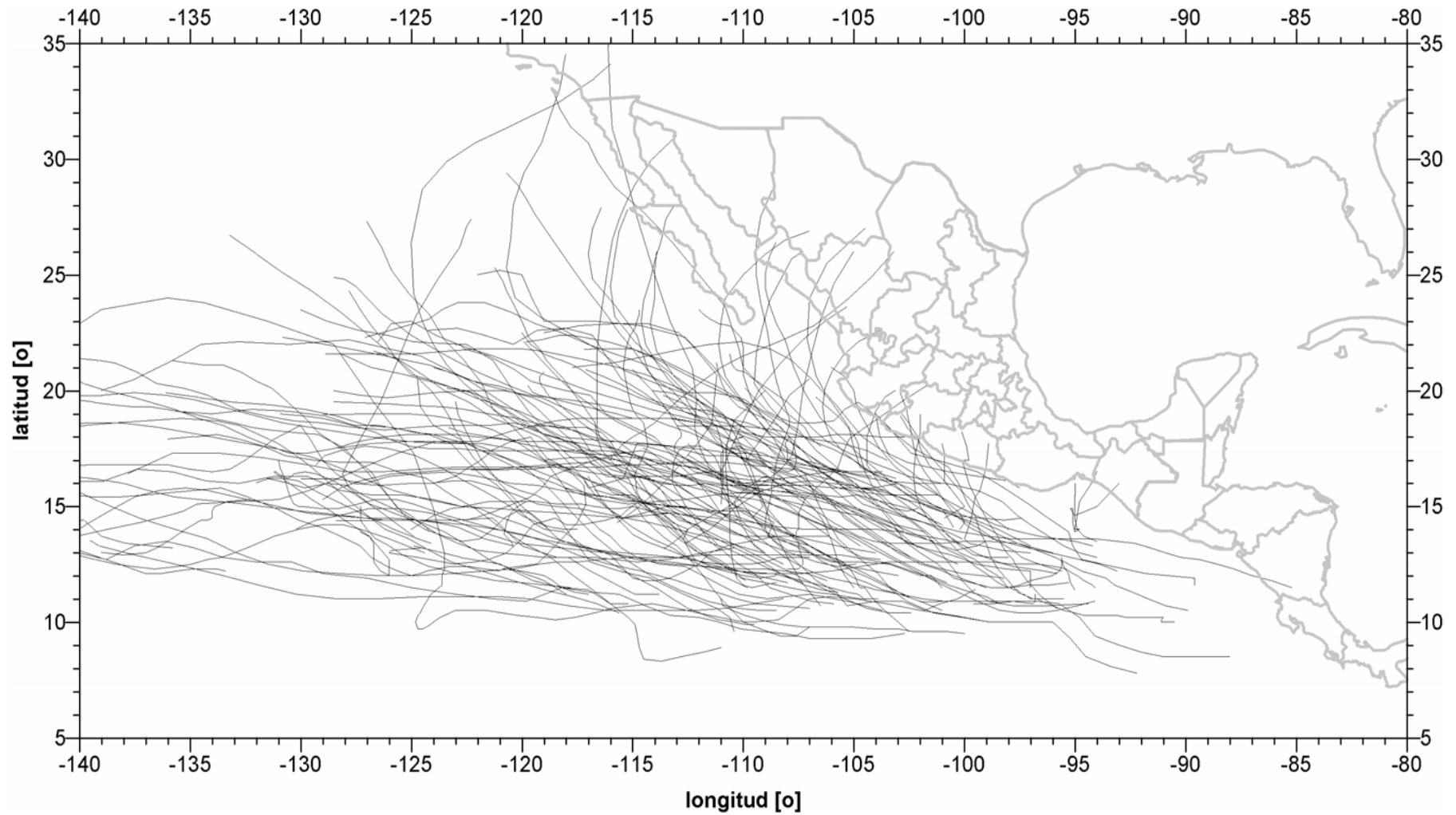
Fotografía de satélite de una tormenta tropical, 12 de mayo de 2001/NASA



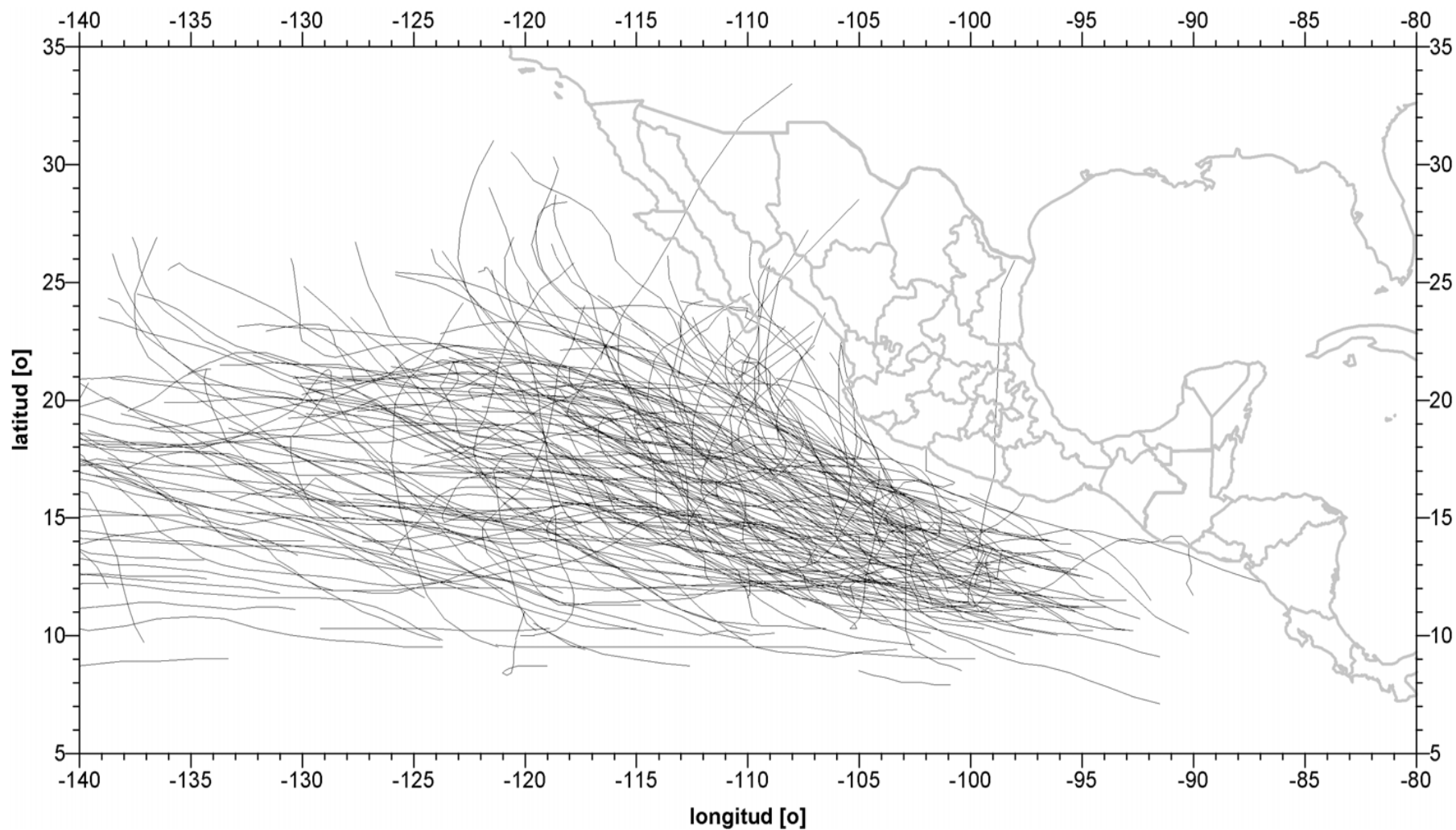
Mapa 4a. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-1960



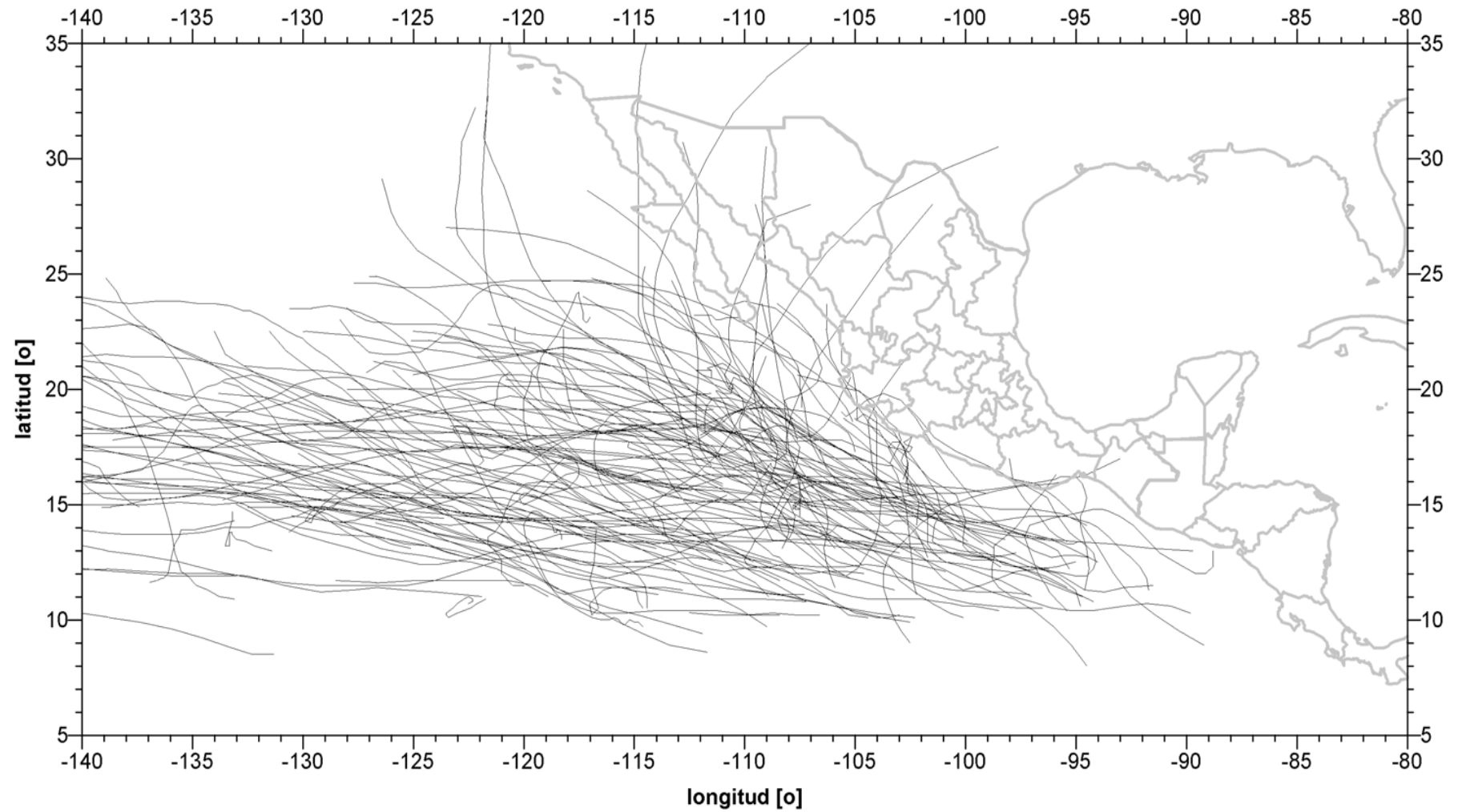
Mapa 4b. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1961-1970



Mapa 4c. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1971-1980



Mapa 4d. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1981-1990



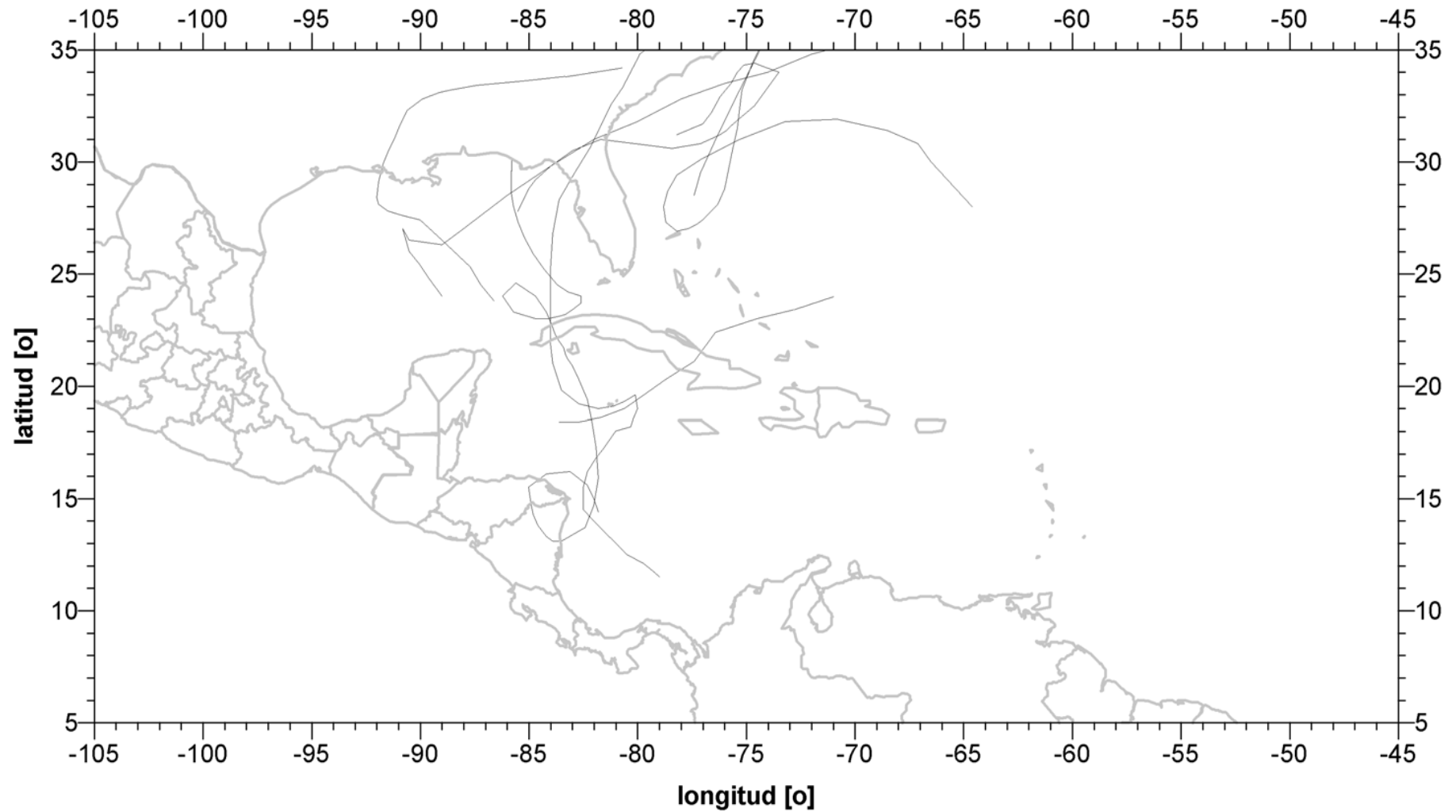
Mapa 4e. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1991-2000

En las láminas siguientes (mapas 5a a 5g) se muestran las trayectorias de ciclones tropicales que han ocurrido en el océano Atlántico, en el periodo de 1951 al 2000, en este caso presentadas mes por mes a lo largo de la temporada. La temporada de ciclones tropicales en el Atlántico inicia el 1° de junio y termina el 30 de noviembre. Se observa que, históricamente, ningún ciclón tropical ha afectado a México en el mes de mayo, mientras que en el mes de agosto se nota un incremento en los ciclones tropicales que llegan a afectar a nuestro país, siendo septiembre el mes con mayor número de ciclones tropicales que afectan directamente nuestras costas. En noviembre todavía existe una probabilidad de que se produzcan afectaciones por estos fenómenos.

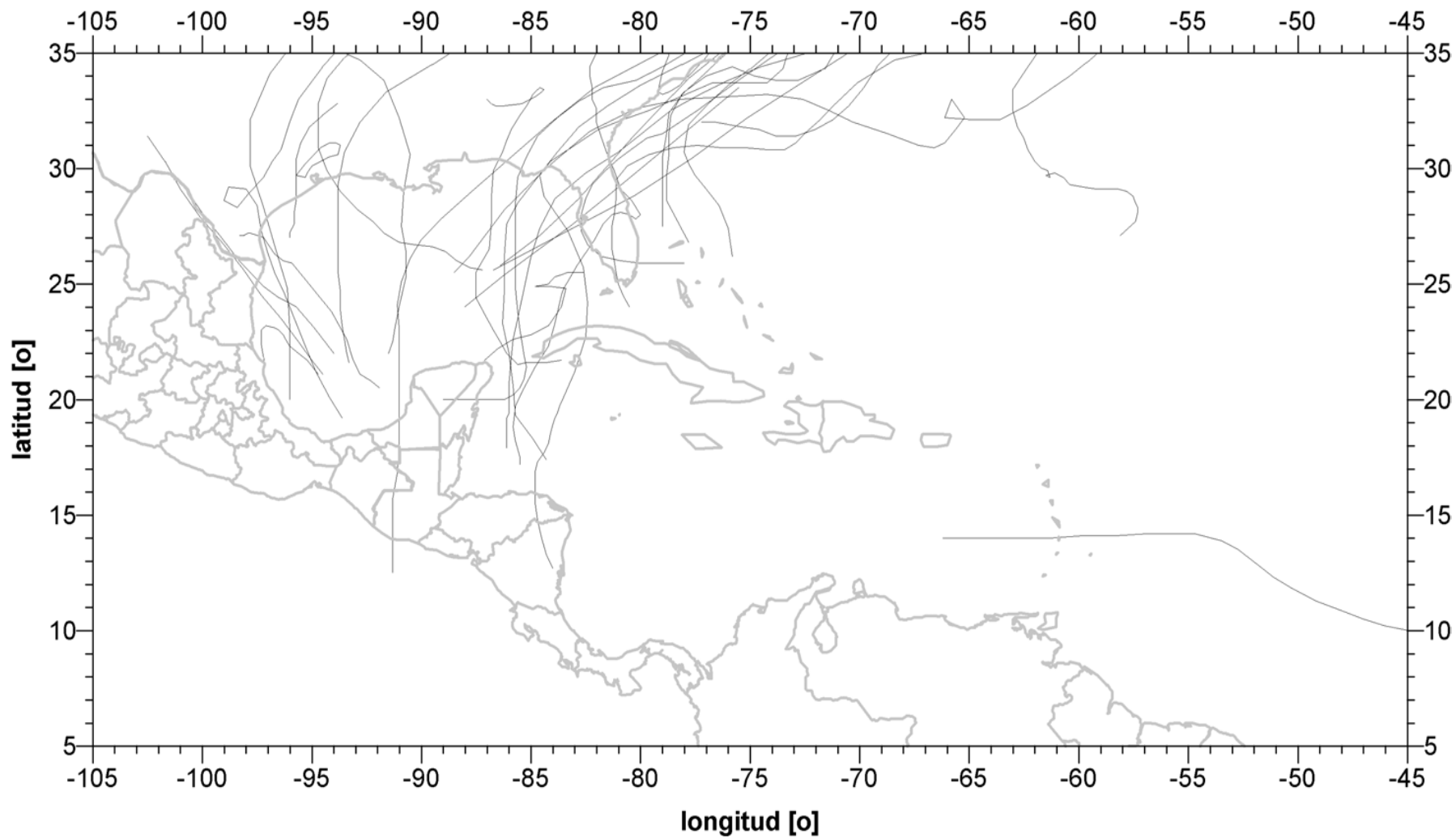
Al principio y al final de la temporada las trayectorias tienden a nacer cerca del continente americano y presentar una traslación con marcada componente hacia el norte. Por el otro lado, en la parte más intensa de la temporada las trayectorias tienden a nacer más cerca del continente africano y mostrar una traslación con marcada componente hacia el oeste y oeste-noroeste.



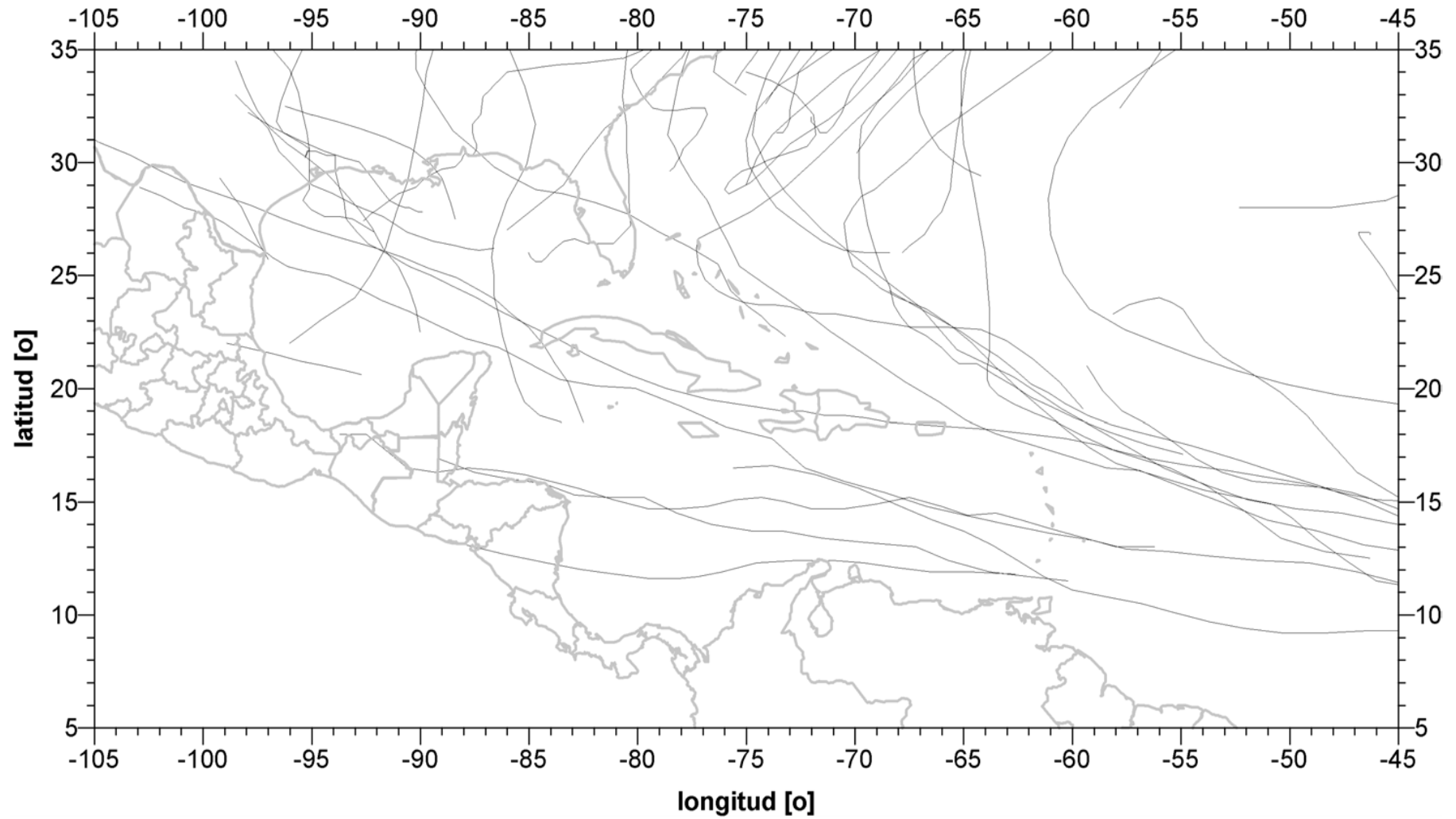
Fotografía del huracán Helena /Fotografía NASA



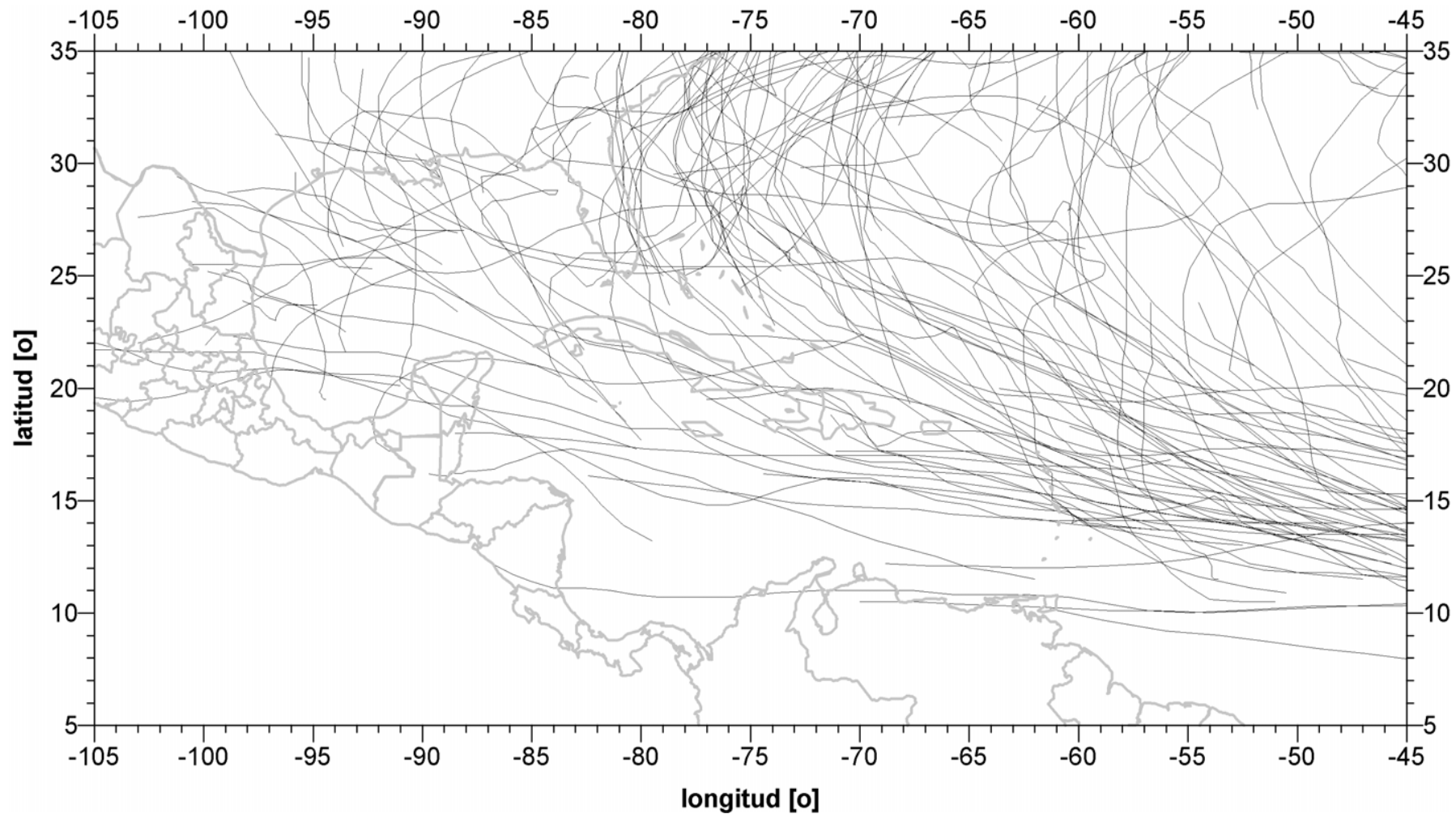
Mapa 5a. Trayectorias del mes de mayo de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000



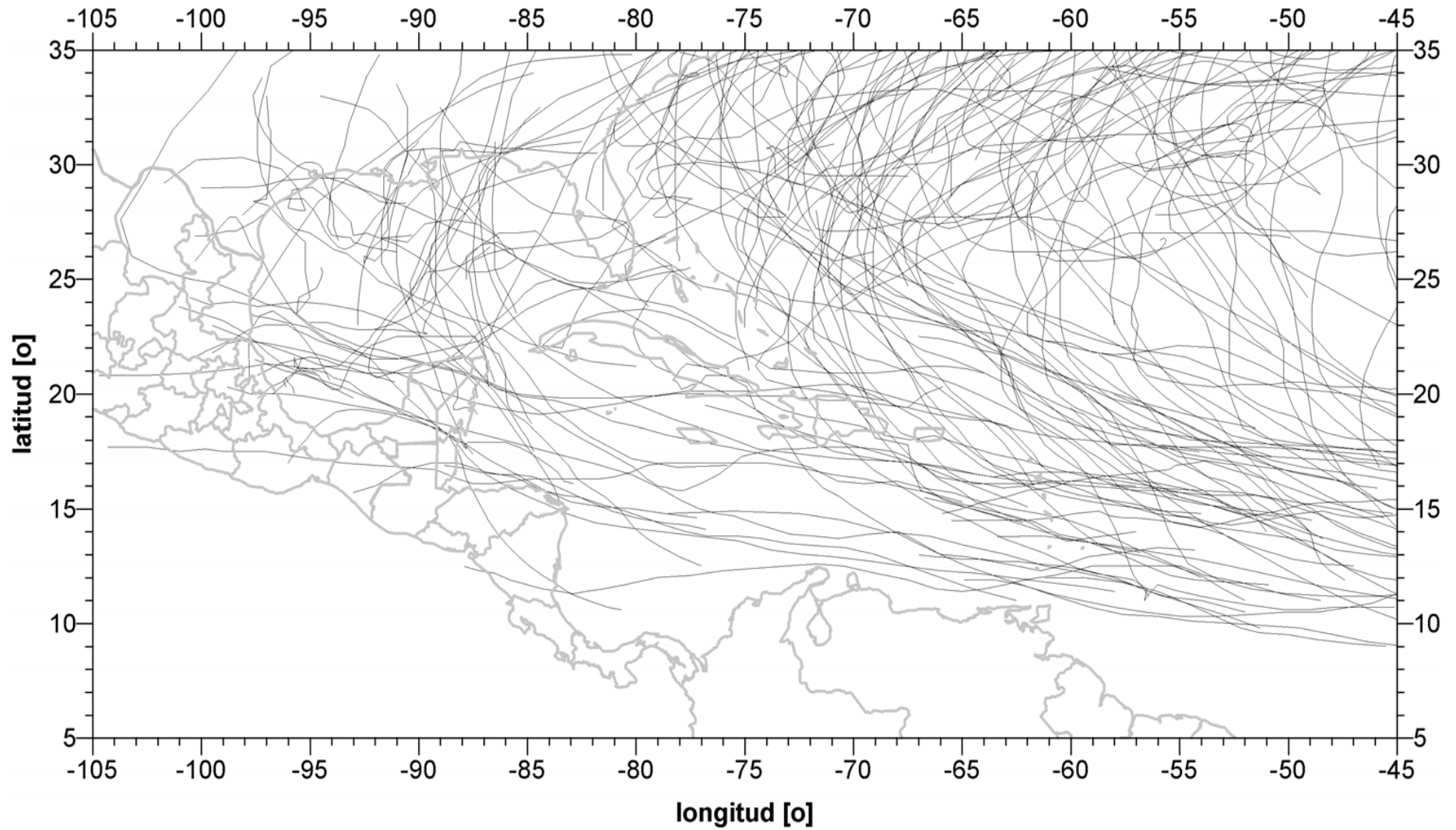
Mapa 5b. Trayectorias del mes de junio de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000



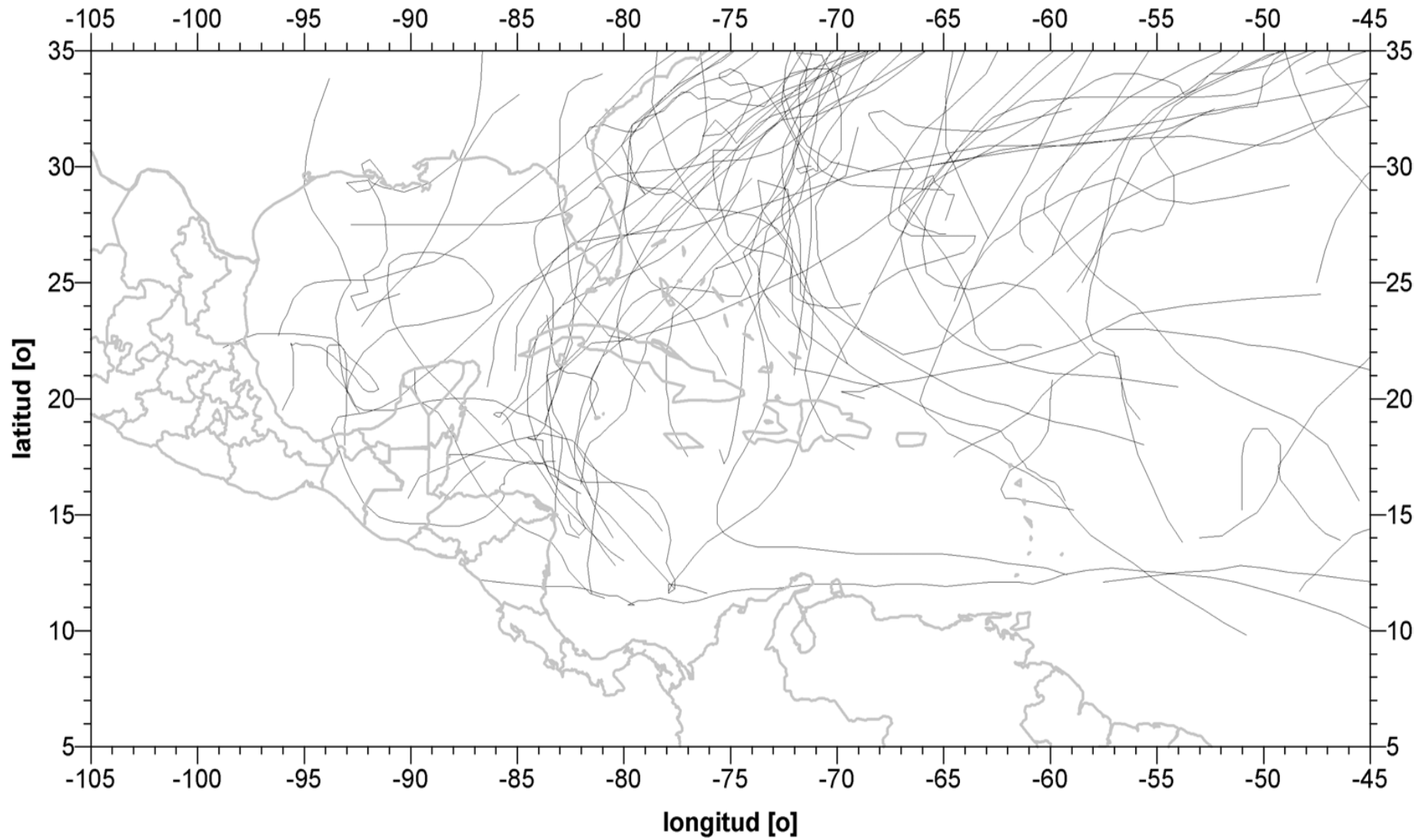
Mapa 5c. Trayectorias del mes de julio de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000



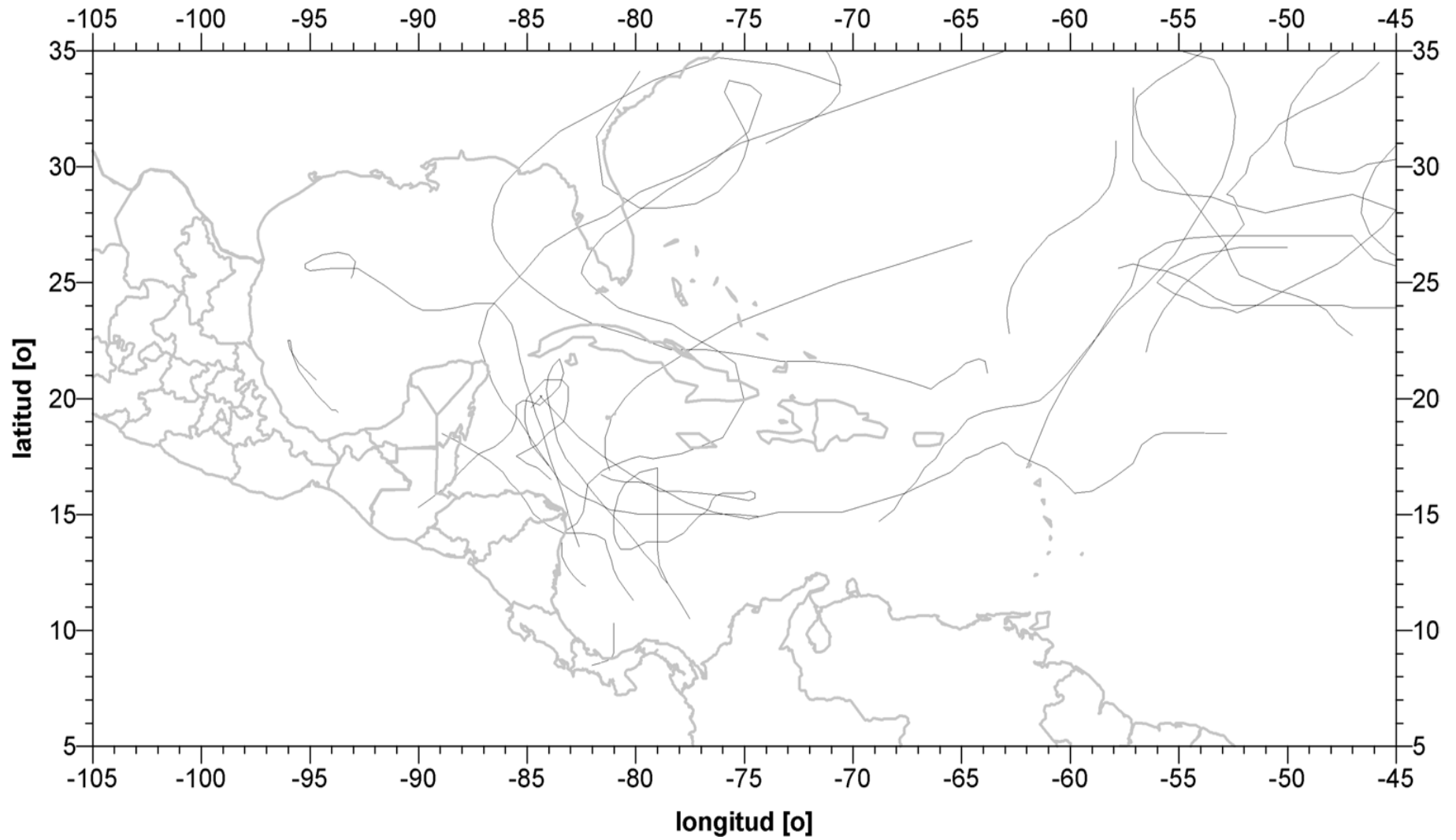
Mapa 5d. Trayectorias del mes de agosto de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000



Mapa 5e. Trayectorias del mes de septiembre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000



Mapa 5f. Trayectorias del mes de octubre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000

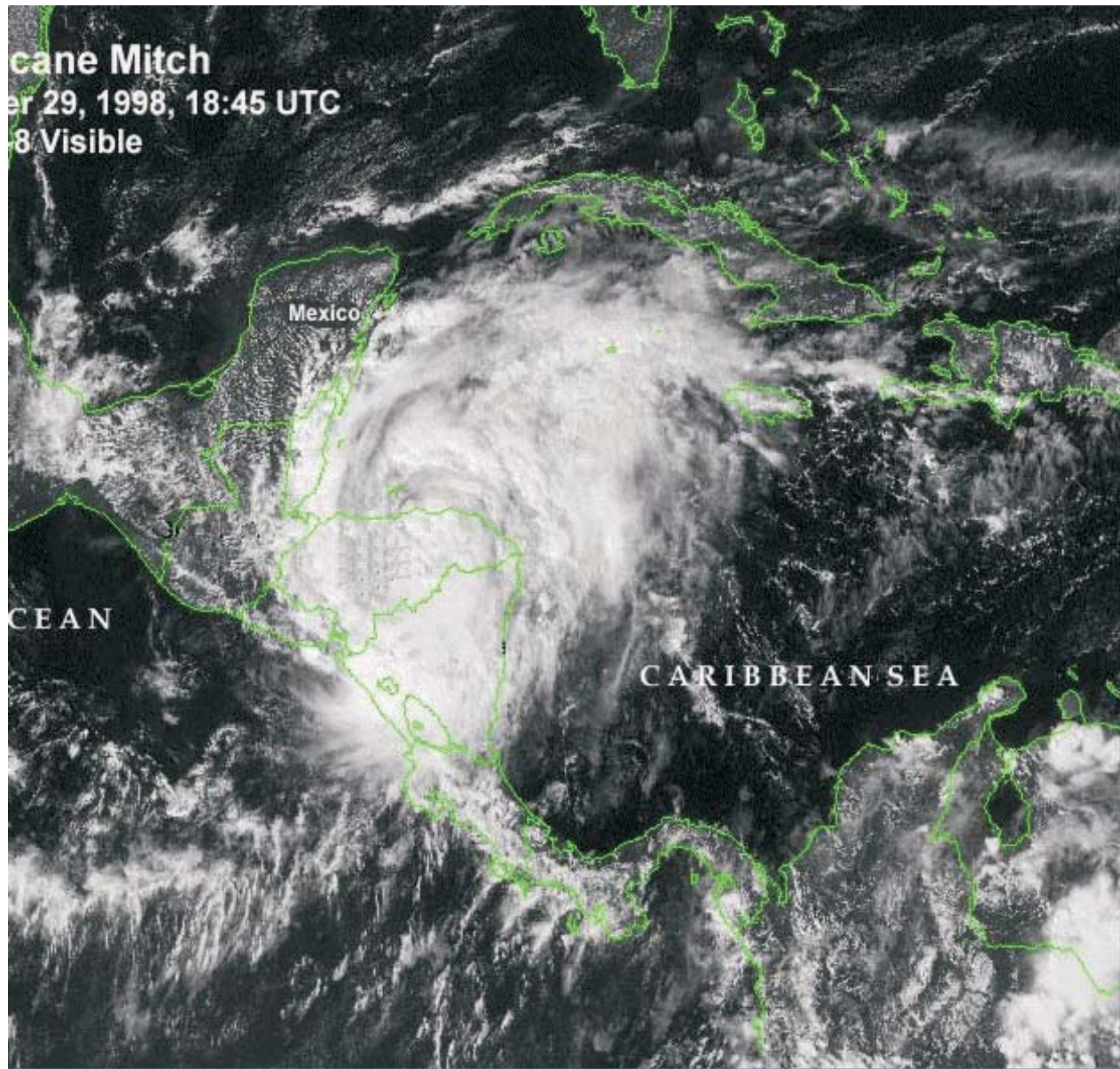


Mapa 5g. Trayectorias del mes de noviembre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-2000

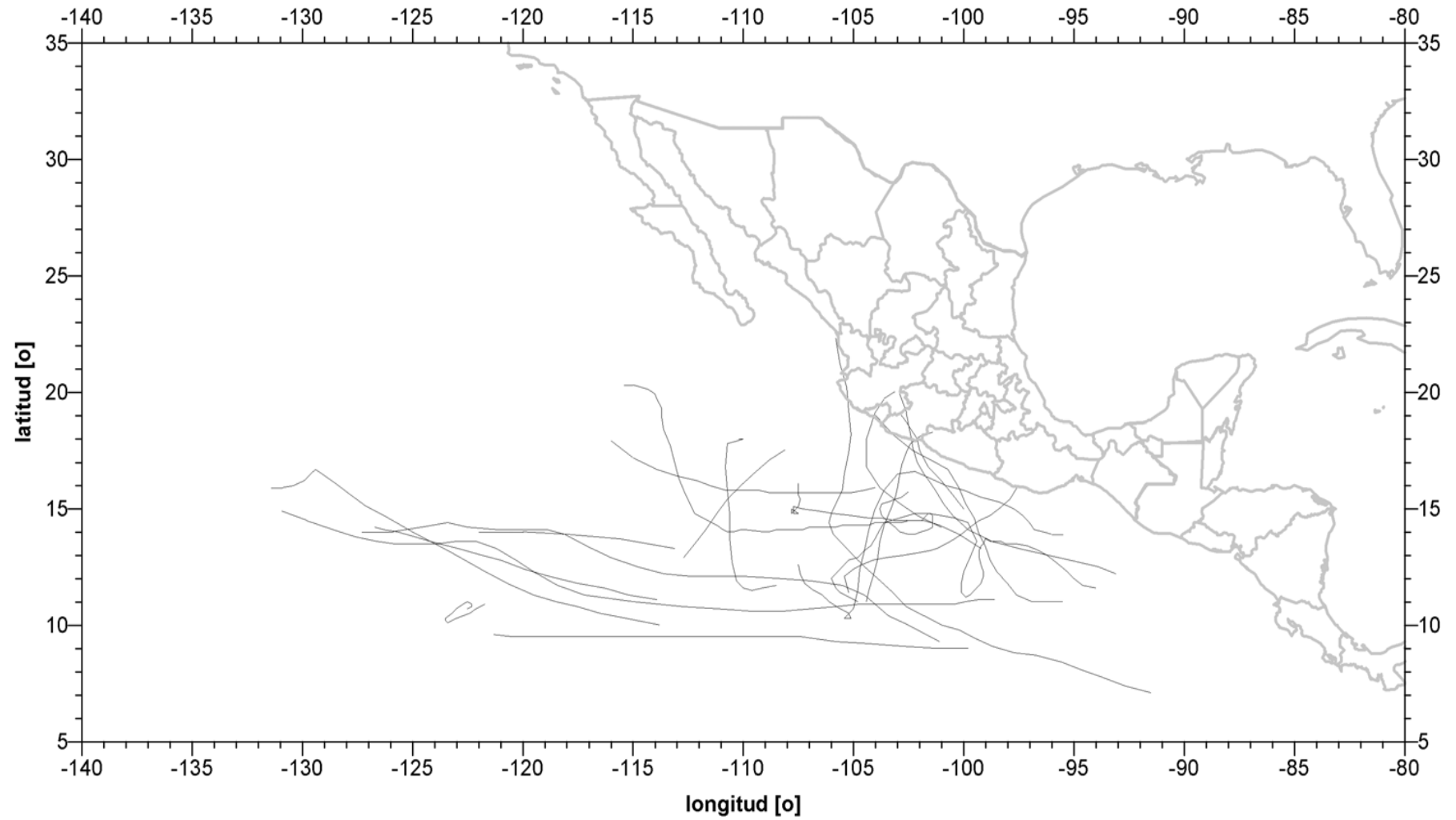
En las láminas siguientes (mapas 6a a 6g) se muestran las trayectorias de ciclones tropicales que han ocurrido en el océano Pacífico, en el periodo de 1951 al 2000, en este caso presentadas mes por mes a lo largo de la temporada. La temporada de ciclones tropicales inicia el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre en el Pacífico. Se observa que, históricamente, México se ve afectado por ciclones tropicales desde el inicio de la temporada. Los meses de julio, agosto y septiembre son los que presentan un mayor número de ciclones tropicales, y de ellos, el de septiembre es el que presenta un mayor número de ciclones que afectan directamente nuestras costas. En noviembre son ya muy pocos los ciclones que pueden presentarse, pero todavía existe una probabilidad de que se haya afectaciones por estos fenómenos en nuestro país.

Las trayectorias menos climatológicas, es decir, las que menos siguen el patrón histórico, se dan al principio y al final de la temporada. Conforme avanza la temporada de junio a octubre la probabilidad de recurre e incidencia en México aumenta. Lo anterior produce que la mínima probabilidad de incidencia en México ocurra en julio.

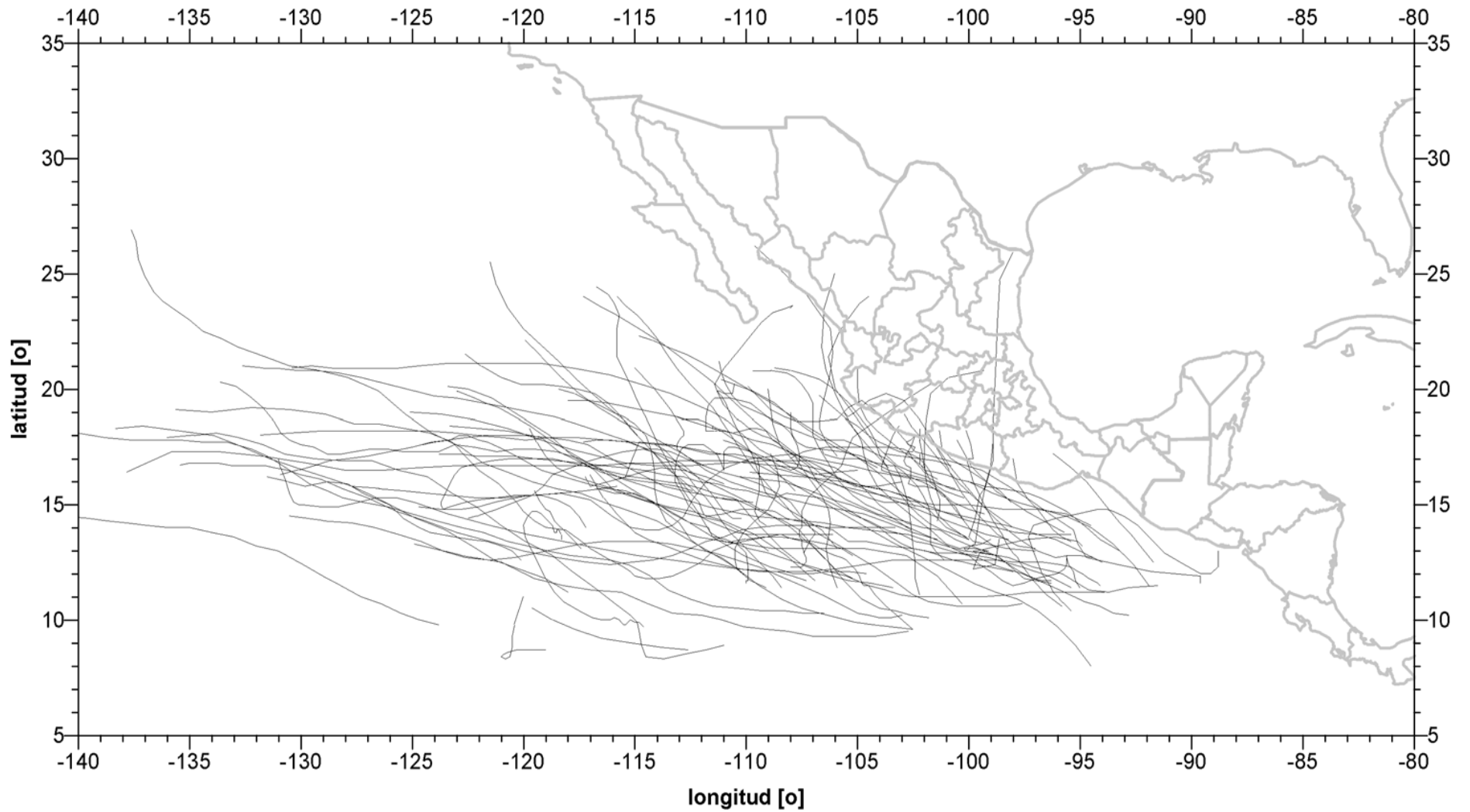
En el mes de junio se observa que la mayoría de los ciclones tropicales que recurvan a tierra afectan principalmente las costas centrales, y muy pocos llegan al noroeste del país. En cambio, en julio la tendencia de las trayectorias es hacia el noroeste, con la posibilidad de que los ciclones se adentren a tierra en aquella zona del país. En el mes de agosto se observa que las trayectorias se definen más hacia el norte, afectando los estados de Sonora, Baja California, Baja California Sur y norte de Sinaloa, principalmente. En septiembre, el mapa 6c nos indica que los ciclones tropicales pueden afectar prácticamente a todo el país en vecindad con el océano Pacífico.



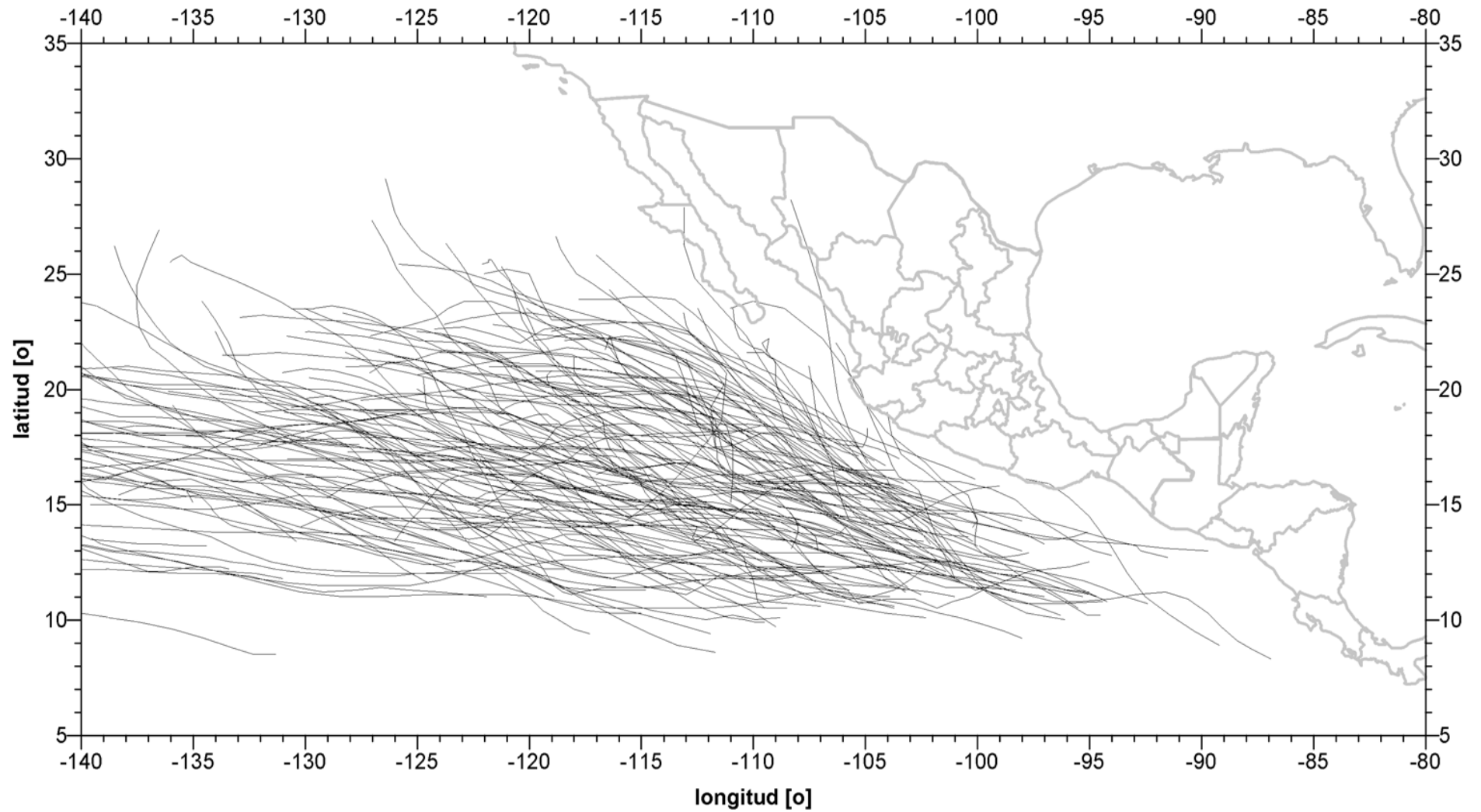
Vista de satélite del huracán Mitch, 29 de octubre de 1998 /National Oceanic and Atmospheric



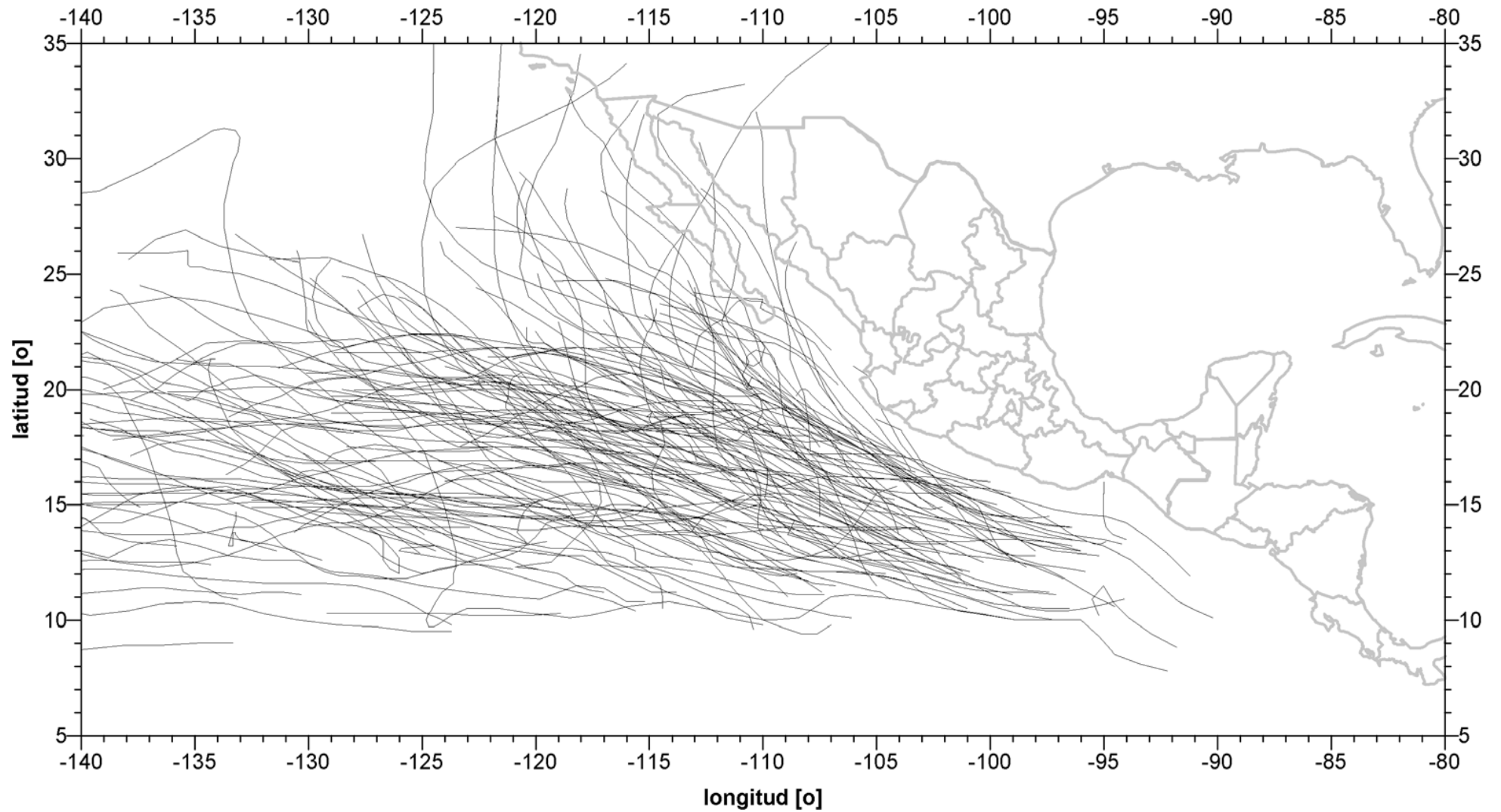
Mapa 6a. Trayectorias del mes de mayo de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



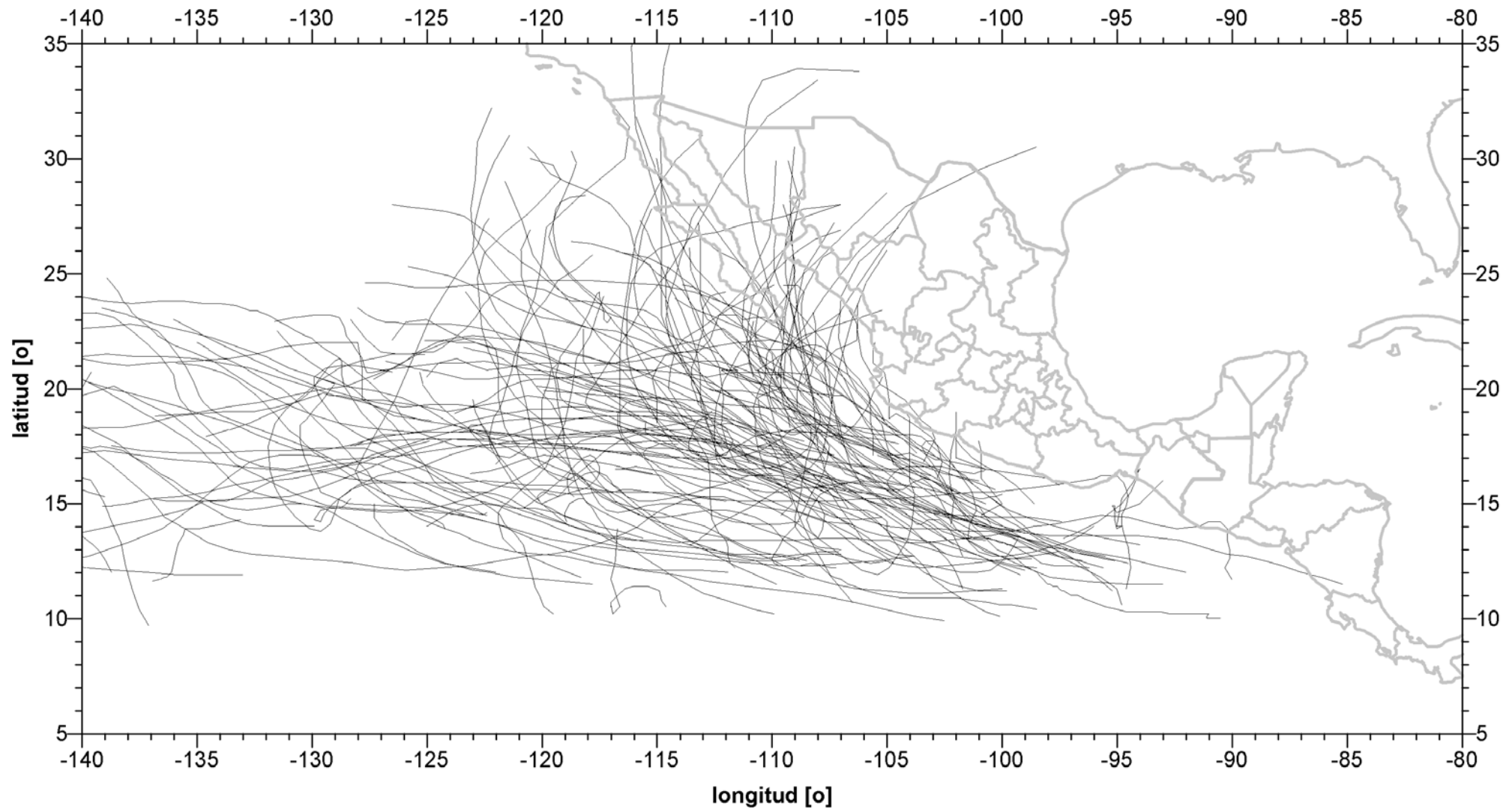
Mapa 6b. Trayectorias del mes de junio de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



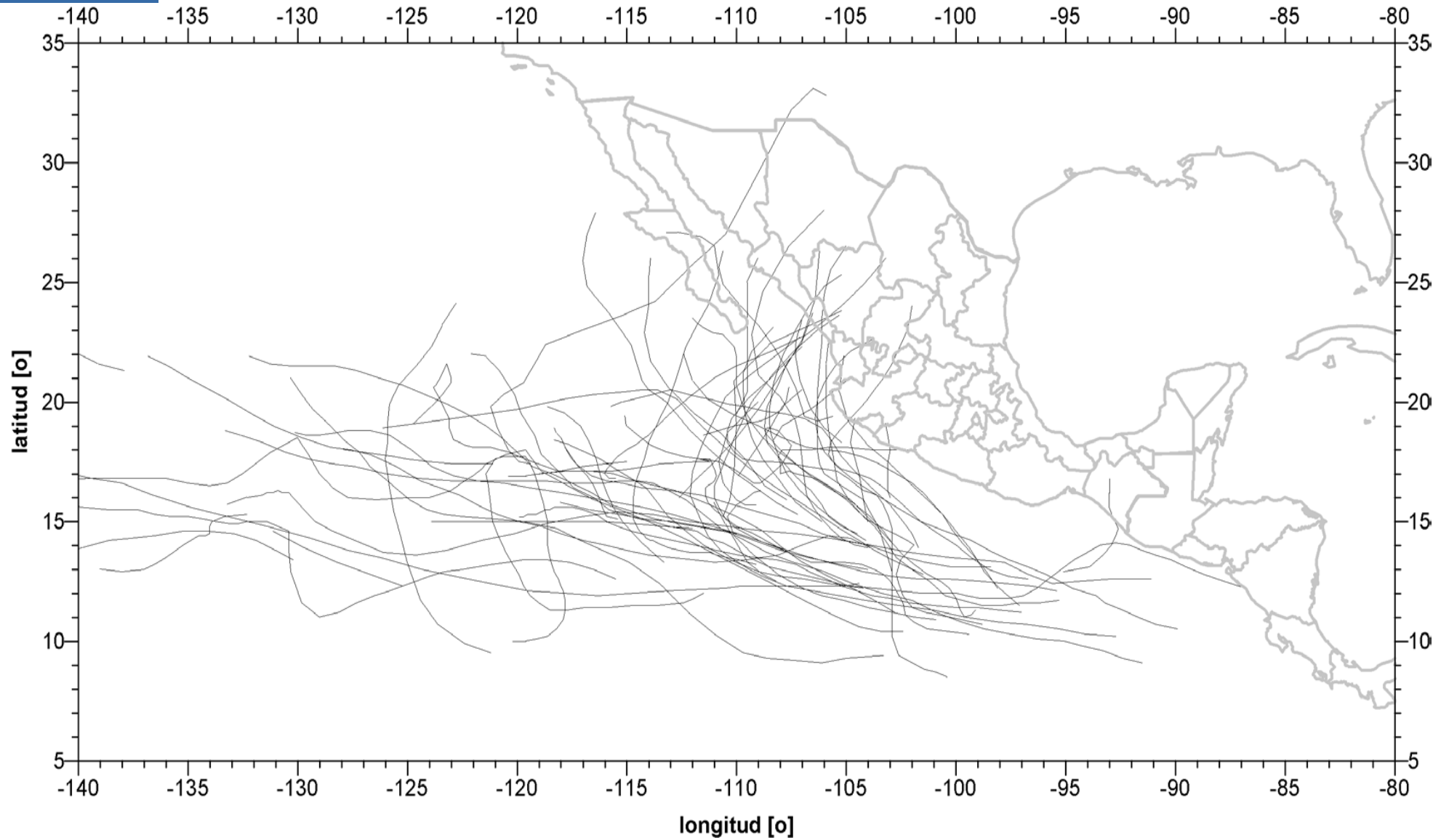
Mapa 6c. Trayectorias del mes de julio de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



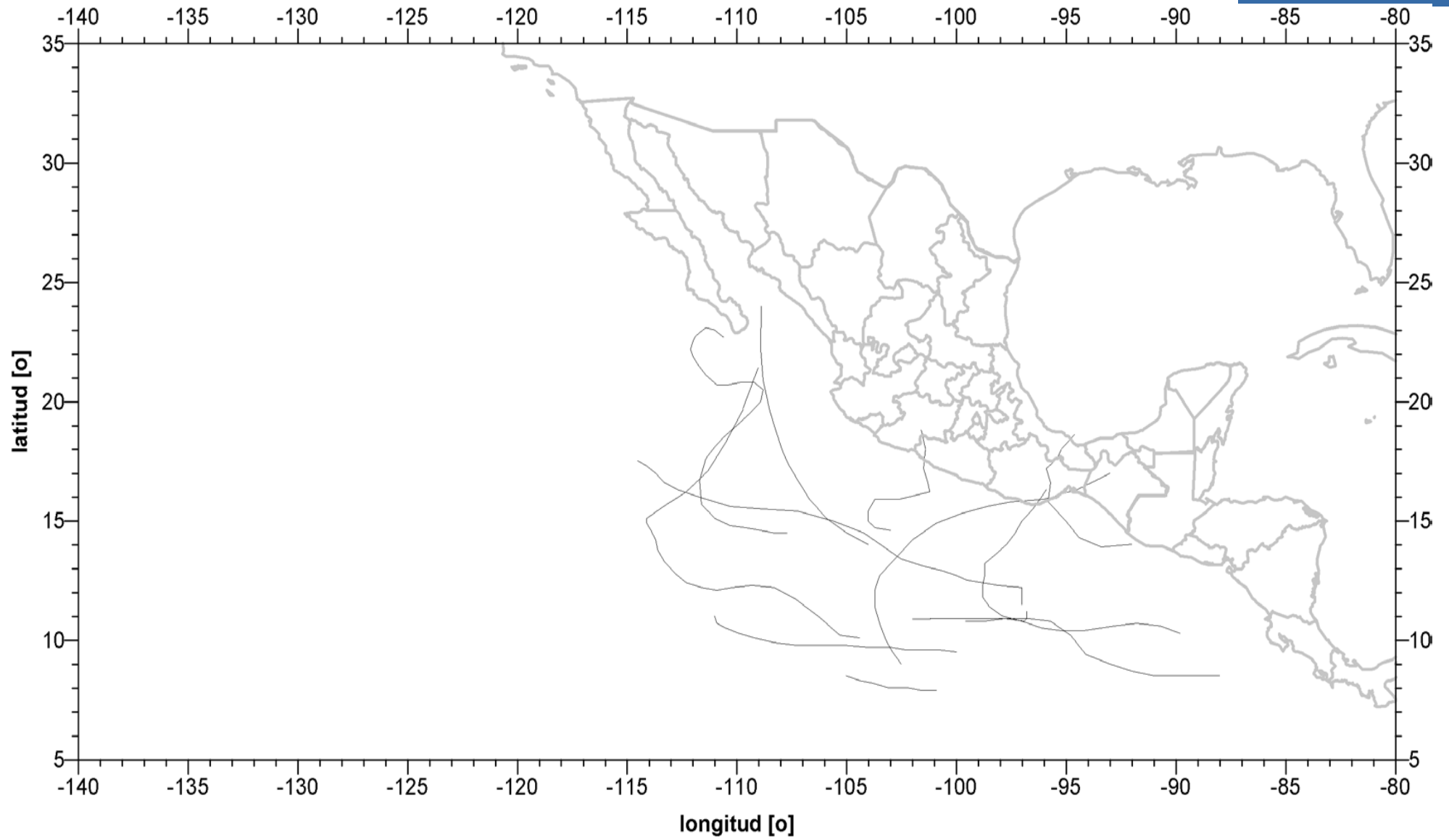
Mapa 6d. Trayectorias del mes de agosto de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



Mapa 6e. Trayectorias del mes de septiembre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



Mapa 6f. Trayectorias del mes de octubre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



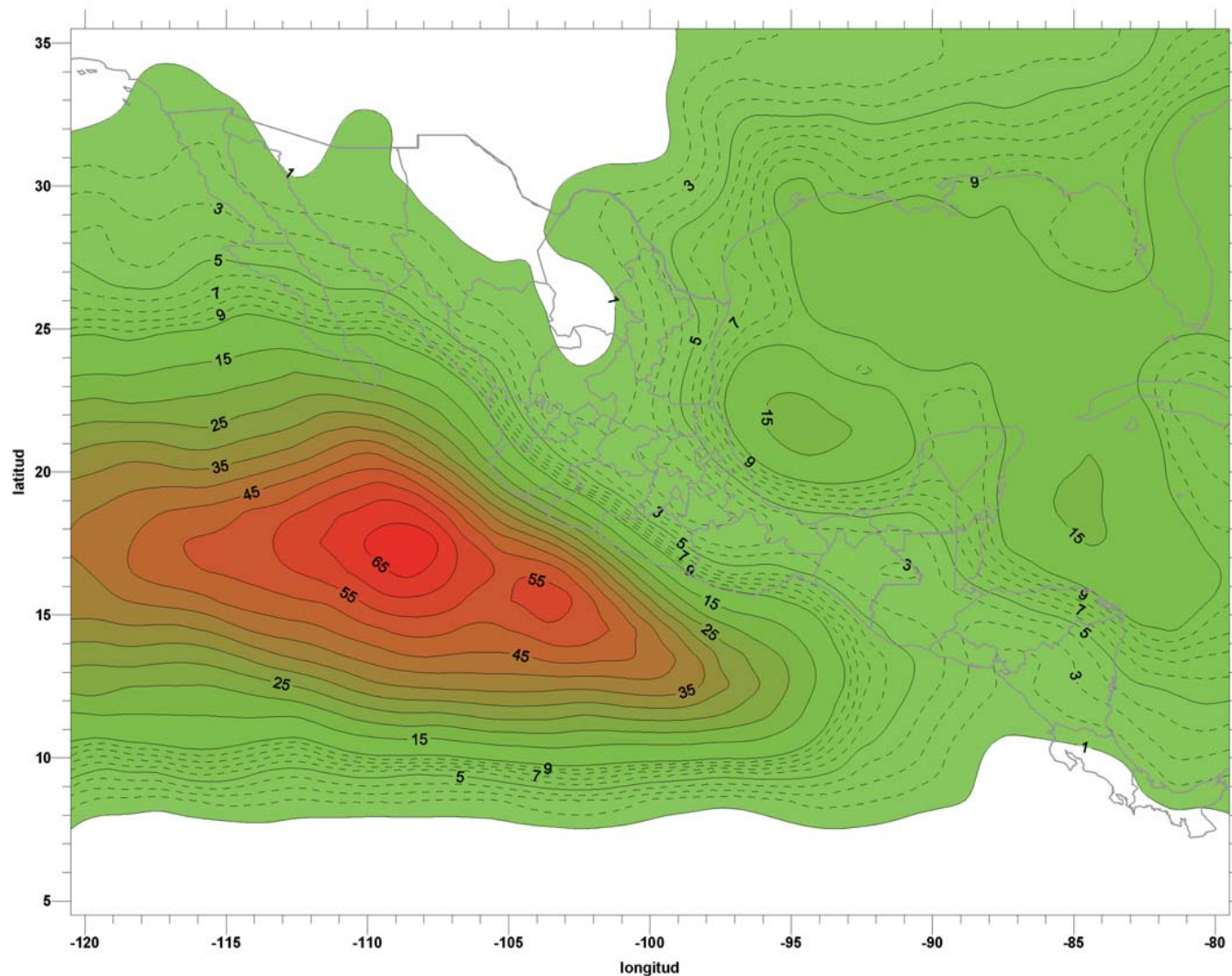
Mapa 6g. Trayectorias del mes de noviembre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Pacífico, periodo 1951-2000



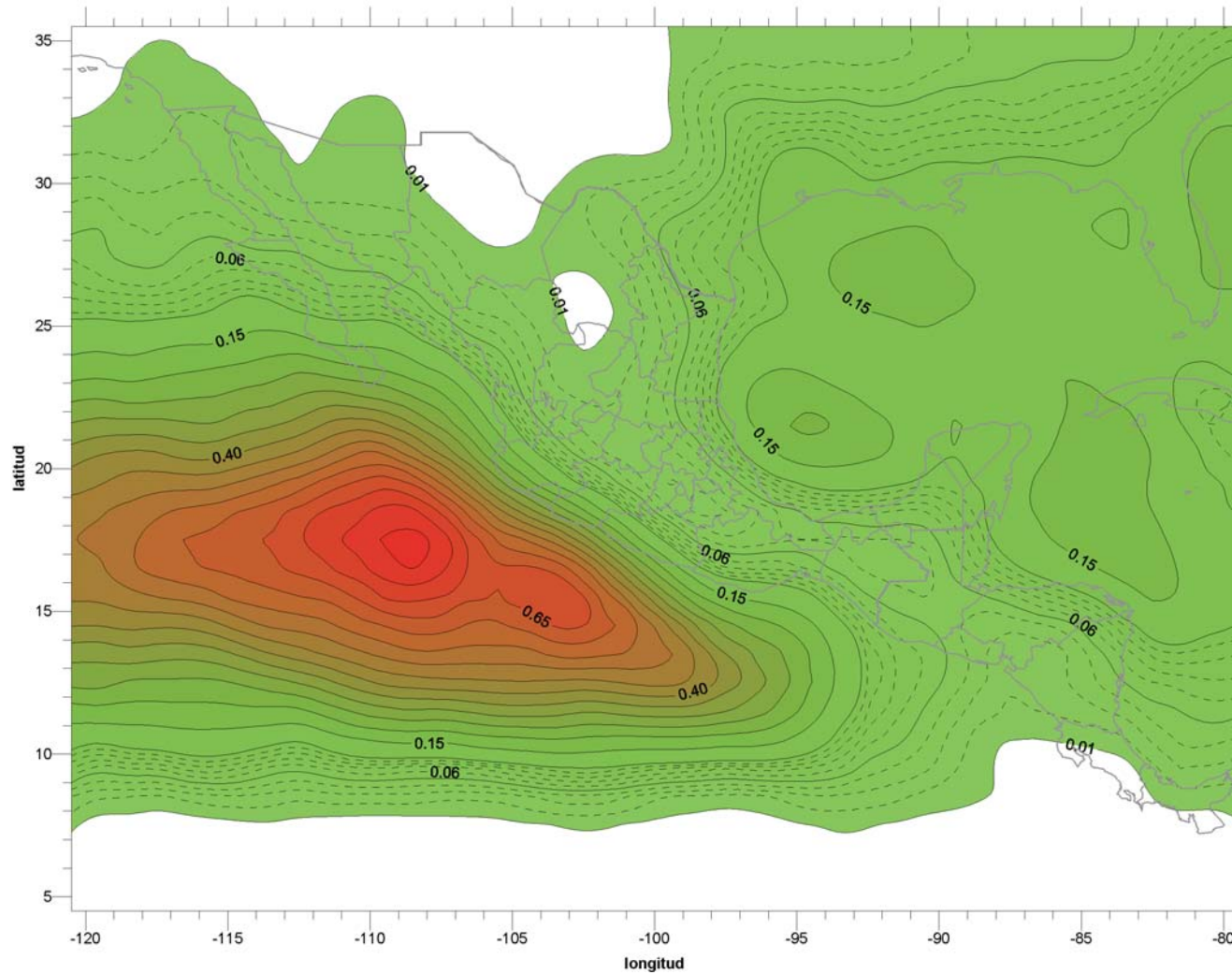
En este mapa se muestra la distribución geográfica del número de tormentas tropicales y huracanes que han ocurrido, tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico, en el periodo de 1949 a 2000. Destaca la mayor densidad de estos fenómenos en el océano Pacífico; en zonas de interés para México, la densidad máxima del Pacífico llega a ser seis veces la densidad máxima en el Atlántico.

Las zonas terrestres mexicanas con más de 10 ciclones tropicales en 52 años son las costas de Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Baja California Sur, así como Quintana Roo. Sin embargo, zonas terrestres con más de 5 ciclones tropicales en 52 años ya incluyen la totalidad de la costa Atlántica de México y la totalidad de la costa del Pacífico de México, excepto Sonora y Baja California. Se observa que, prácticamente todo el país ha tenido la presencia de al menos un ciclón tropical en el periodo analizado; también se distingue claramente la disminución de estos valores en los sitios tierra adentro de los ejes de las principales cadenas montañosas (ver mapa de topografía).

La isla Socorro, en el territorio mexicano (111° oeste, 19° norte), es la capital mundial de los ciclones tropicales, ya que presenta del orden de ¡45 sistemas en 52 años!



Mapa 7. Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes de 1949 a 2000

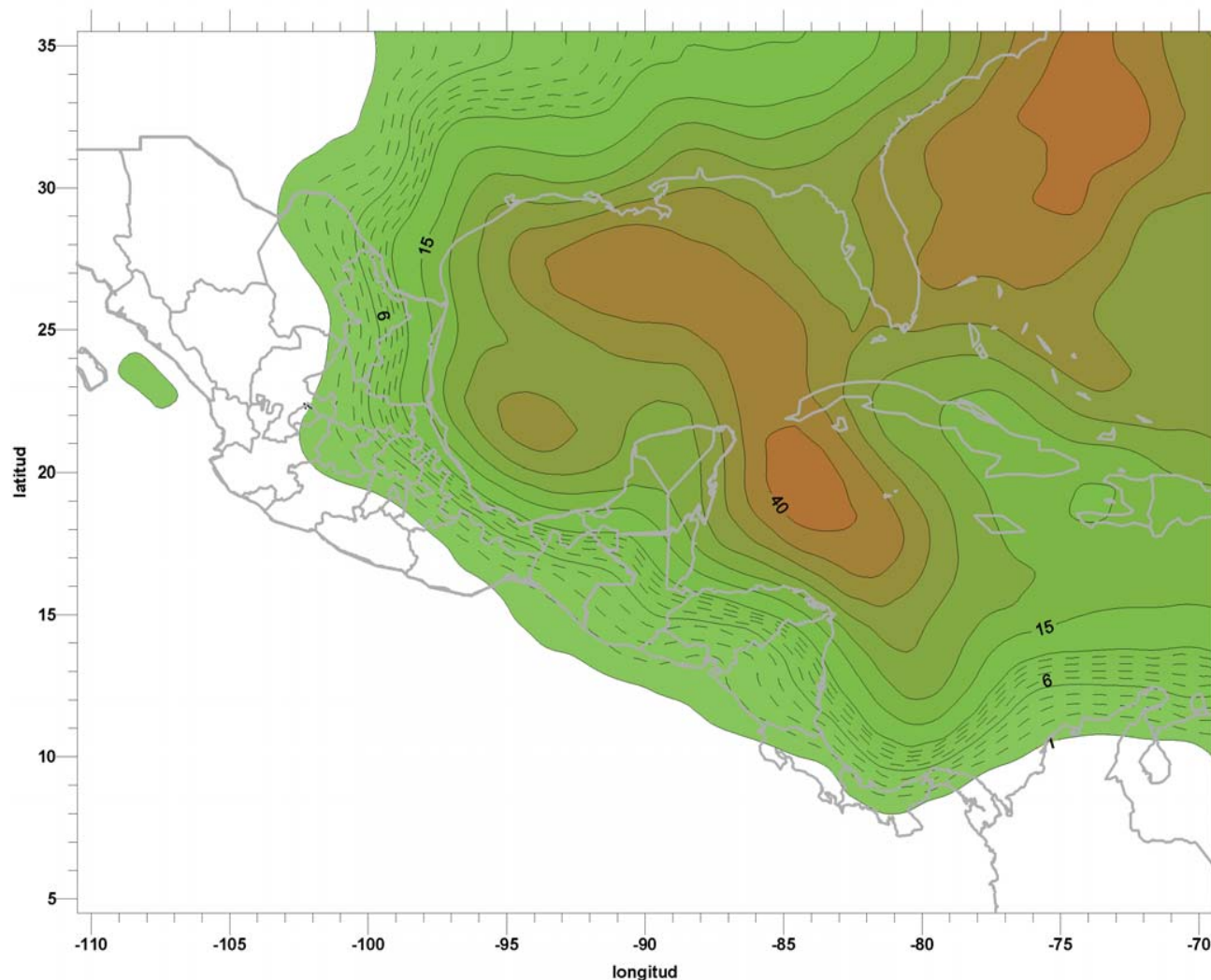




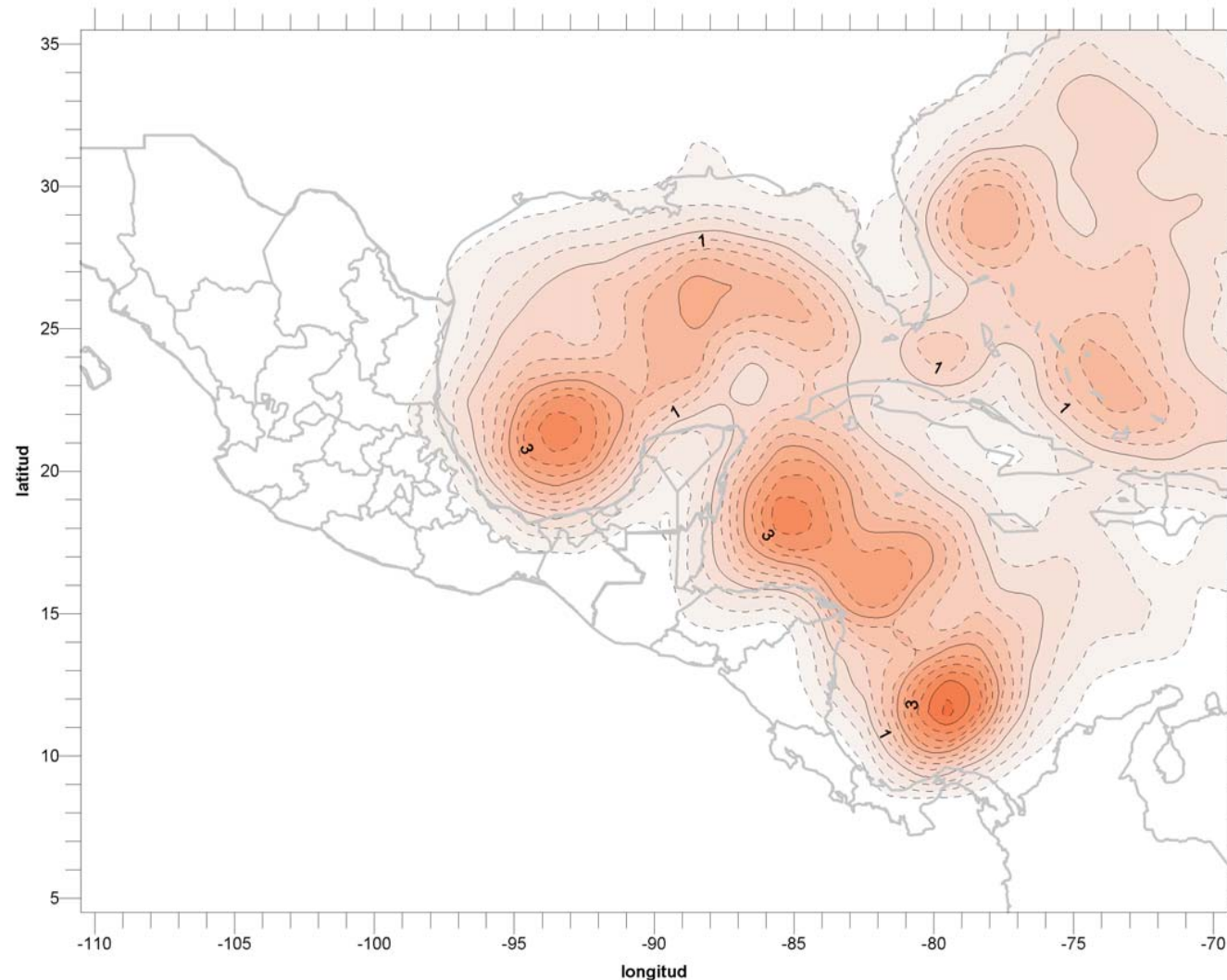
En este mapa se muestra el número de tormentas y huracanes que han ocurrido en el océano Atlántico, en el periodo de 1851 a 2000. Es decir, se ha usado toda la base de datos que sobre ciclones tropicales existe en este océano. Se observa claramente la disminución de estos valores en los sitios donde se ubican las zonas montañosas (ver mapa de topografía).

Existe un corredor de presencia importante de ciclones tropicales entre la península de Yucatán y Cuba, y llega hasta las costas de Louisiana y Texas, en los E. U. A.

También existe una acumulación de ciclones tropicales frente a Veracruz, y la isolínea de 20 ciclones tropicales corre paralela a la costa del golfo de México y se interna a la altura de Campeche para salir al sur de Quintana Roo, es decir, la península de Yucatán está expuesta a un promedio de más de 20 ciclones tropicales en 150 años.



Mapa 9. Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Atlántico Norte de 1851 a 2000



Mapa 10. Número de inicio de trayectorias para el Atlántico de 1851 a 2000

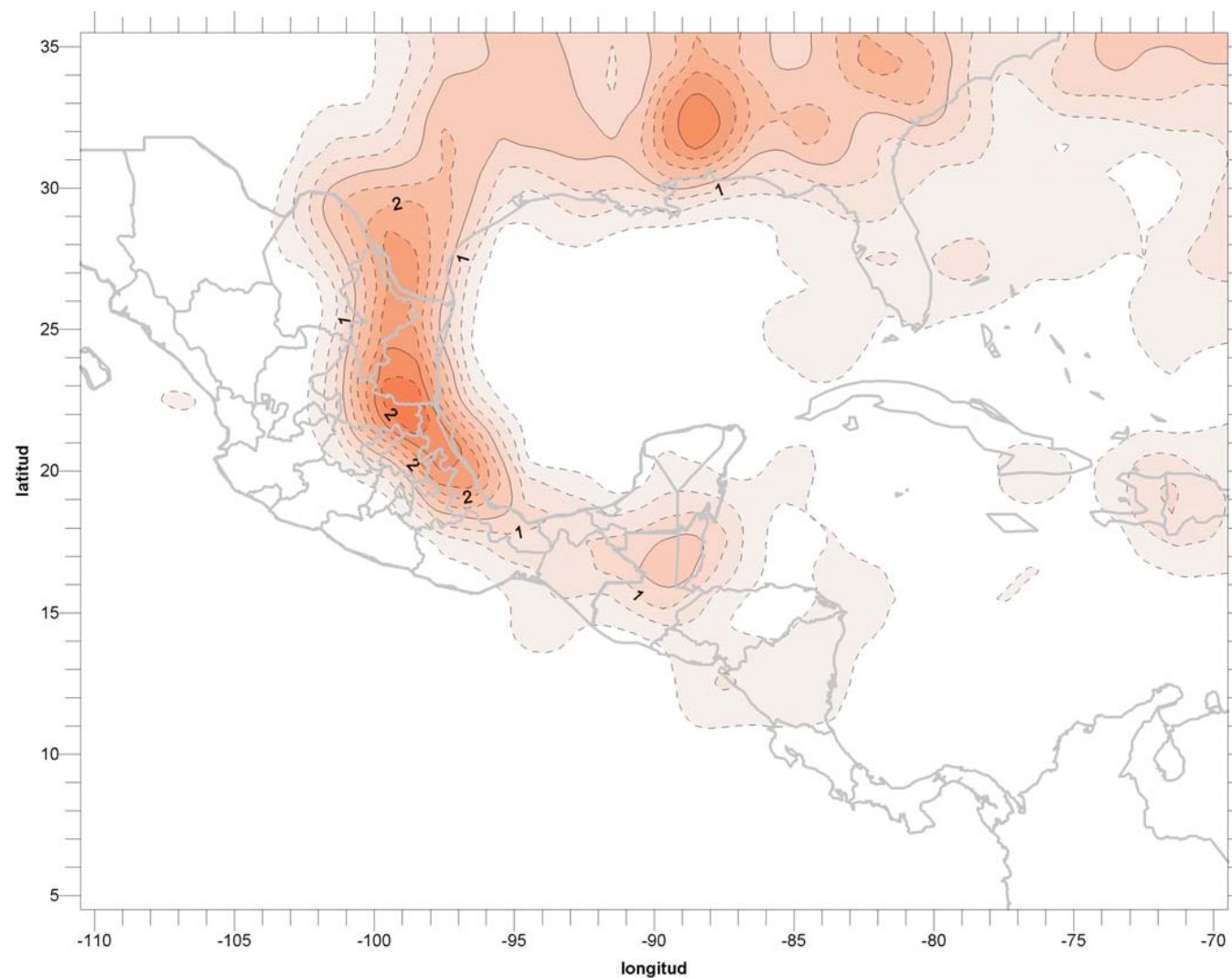
En este mapa se observan los lugares más frecuentes donde han iniciado los ciclones tropicales del océano Atlántico, siempre dentro de una ventana que se ha definido desde la longitud 70° hasta la 110° oeste, por lo que están fuera aquellos ciclones que inician su trayectoria en medio del océano Atlántico, o cerca de las costas de África. El periodo histórico analizado es, otra vez, más amplio que el del océano Pacífico. Las regiones matrices cercanas a México se encuentran en el golfo de México, frente a los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche; también existe una región matriz en el mar Caribe, frente a las costas de Quintana Roo. Más alejada de nuestras costas está una región matriz frente a Panamá. Existe otra región matriz amplia en la costa este de los E. U. A., con trayectorias que no llegan a afectar a México. El huracán Gilbert de 1988 tuvo su inicio frente a las costas de África, por lo que este punto no aparece en la ilustración.

Una zona importante de inicios de trayectorias se da frente a las costas de Centroamérica. Además, la acumulación de inicios de trayectorias entre Quintana Roo y Cuba coincide con la acumulación de ciclones tropicales de la lámina "Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Atlántico Norte de 1851 a 2000" (Mapa 9).

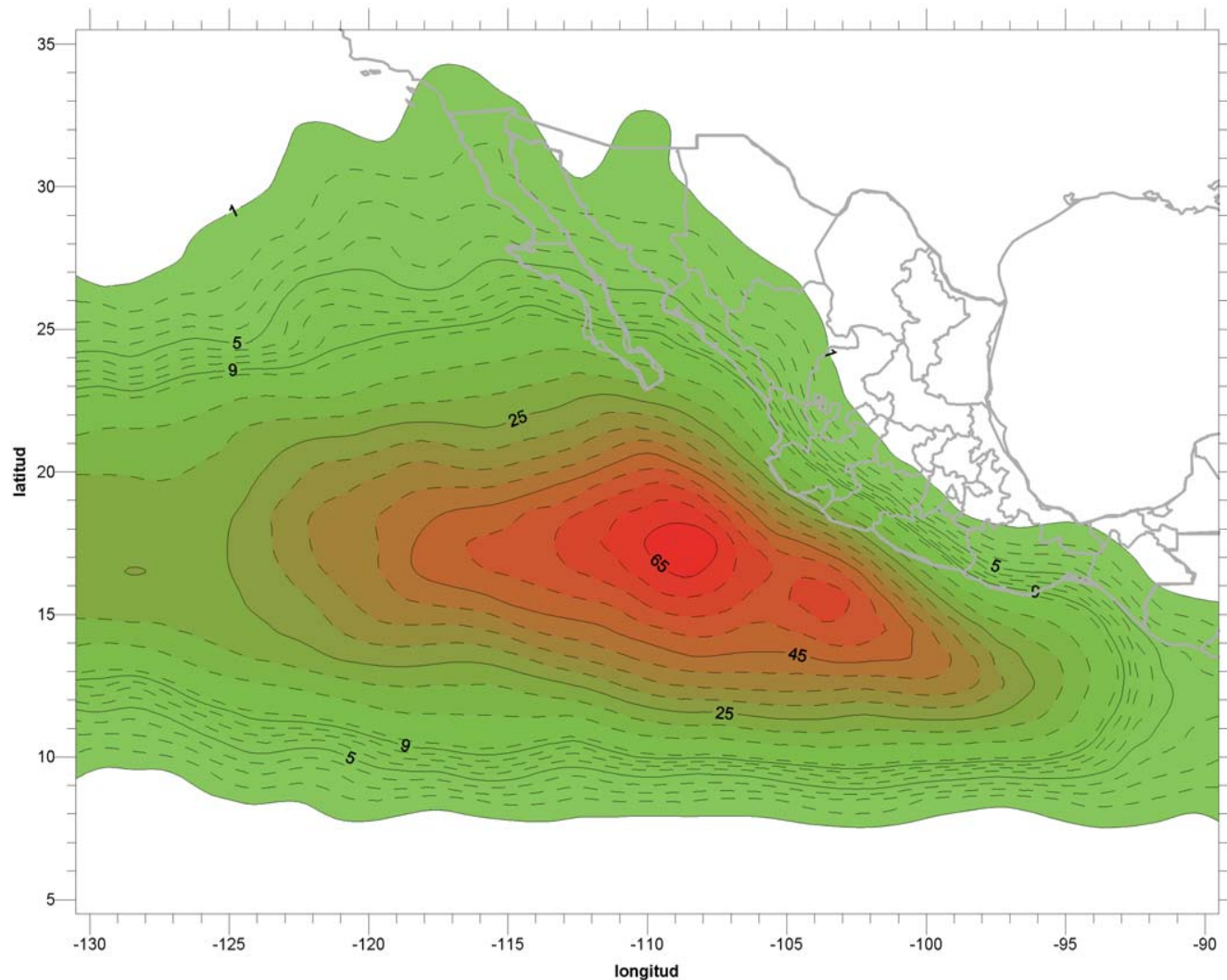


Esta es una de las variables en las que su graficación muestra zonas iluminadas básicamente en tierra, ya que es el fin de las trayectorias de los ciclones tropicales en el océano Atlántico para el periodo histórico de 1851 a 2000. Se identifican todos los estados costeros del golfo de México, y en mucho menor medida, del mar Caribe, así como algunos estados del interior, como Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, D. F., e incluso, algunos de la costa del Pacífico, como Oaxaca y Chiapas. Se nota una zona densa de finales de trayectorias en tres estados, Tamaulipas, San Luis Potosí y norte de Veracruz.

Asimismo, se observa una clara relación de la barrera montañosa sobre los estados costeros del golfo de México y los finales de trayectorias de ciclones, principalmente entre los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz.



Mapa 11. Número de finales de trayectorias para el Atlántico de 1851 a 2000



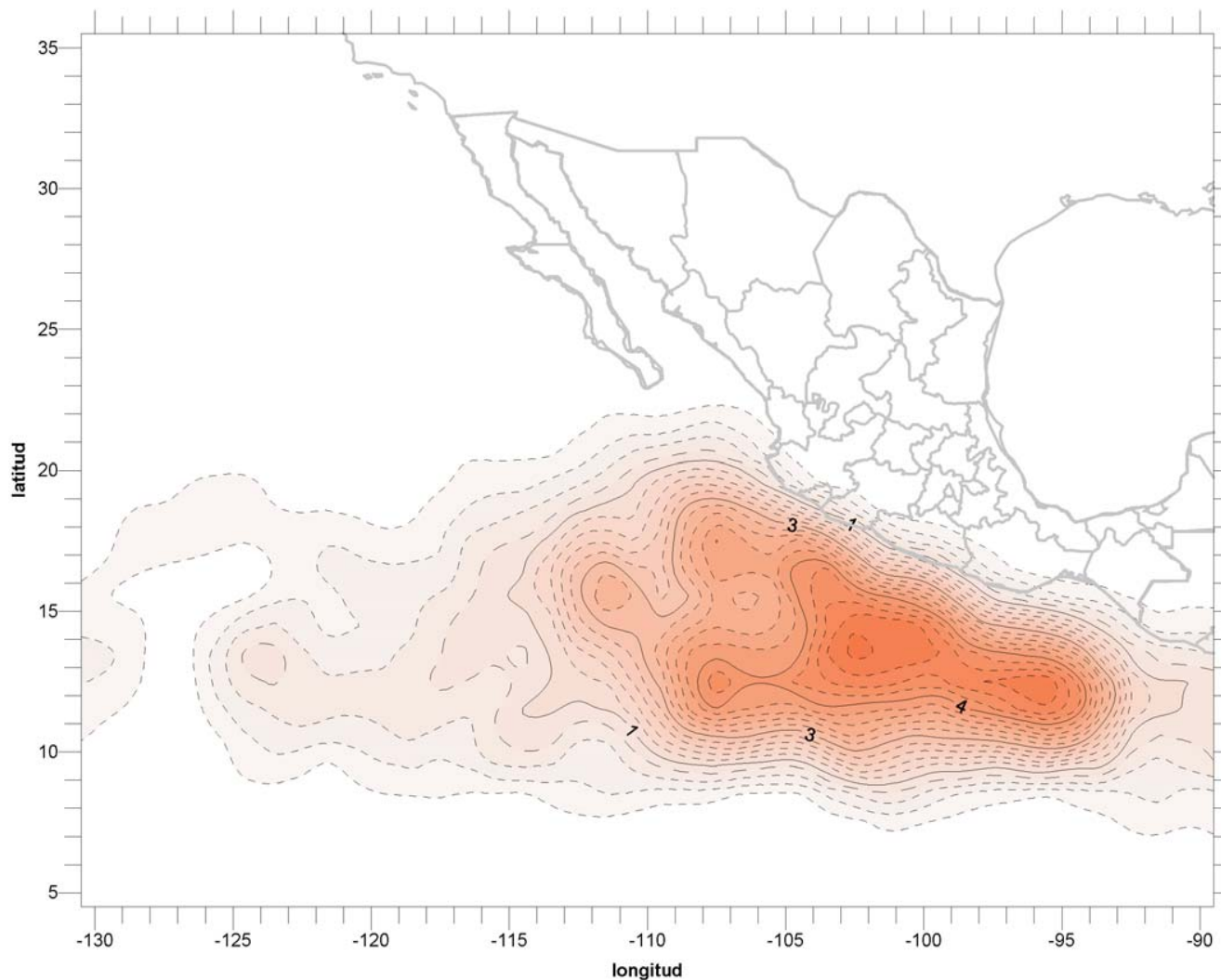
Mapa 12. Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Pacífico nororiental de 1949 a 2000

En este mapa se muestra el número de tormentas y huracanes que han ocurrido en el océano Pacífico, en el lapso de 1949 a 2000, periodo menor comparado con el del océano Atlántico; sin embargo, este mapa es idéntico a la lámina de “Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes de 1949 a 2000” (Mapa 7), en la parte del océano Pacífico, por lo que se vuelve a observar una mayor densidad de tormentas tropicales y huracanes en este océano que en el Atlántico. Se ve claramente la disminución de estos valores en los sitios donde se ubican las zonas montañosas.

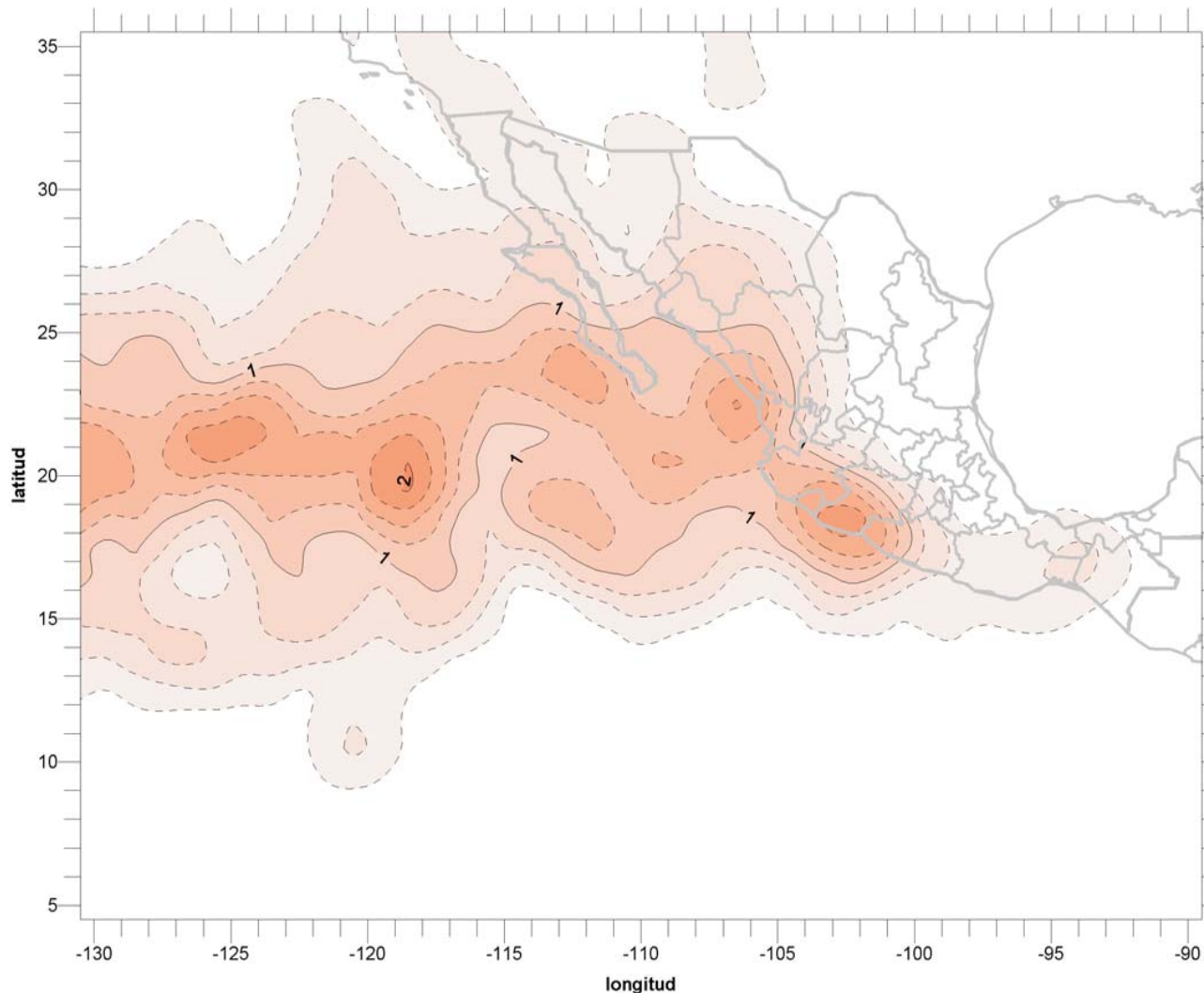
La isólinea de 10 ciclones tropicales va sobre la costa del Pacífico mexicano hasta cruzar el sur de la península de Baja California, mientras que la de 20 ciclones tropicales cruza la costa de Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Baja California Sur; es decir, que cerca de nuestras costas del Pacífico se tienen fácilmente frecuencias de hasta 20 ciclones tropicales en 52 años.



En este mapa se observan los lugares más frecuentes donde inician las trayectorias de los ciclones tropicales del océano Pacífico, siempre dentro de una ventana que se ha definido desde los 90° hasta los 130° longitud oeste y en un periodo histórico analizado de 52 años. La regiones matrices cercanas a México se encuentran frente a los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco. El huracán Pauline se originó en esa zona, a menos de 400 km de las costas de Oaxaca, y rápidamente se dirigió a las costas de ese estado, para disiparse dentro del territorio de Jalisco, después de moverse paralelamente sobre la costa del Pacífico.



Mapa 13. Número de inicio de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000



Mapa 14. Número de finales de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000

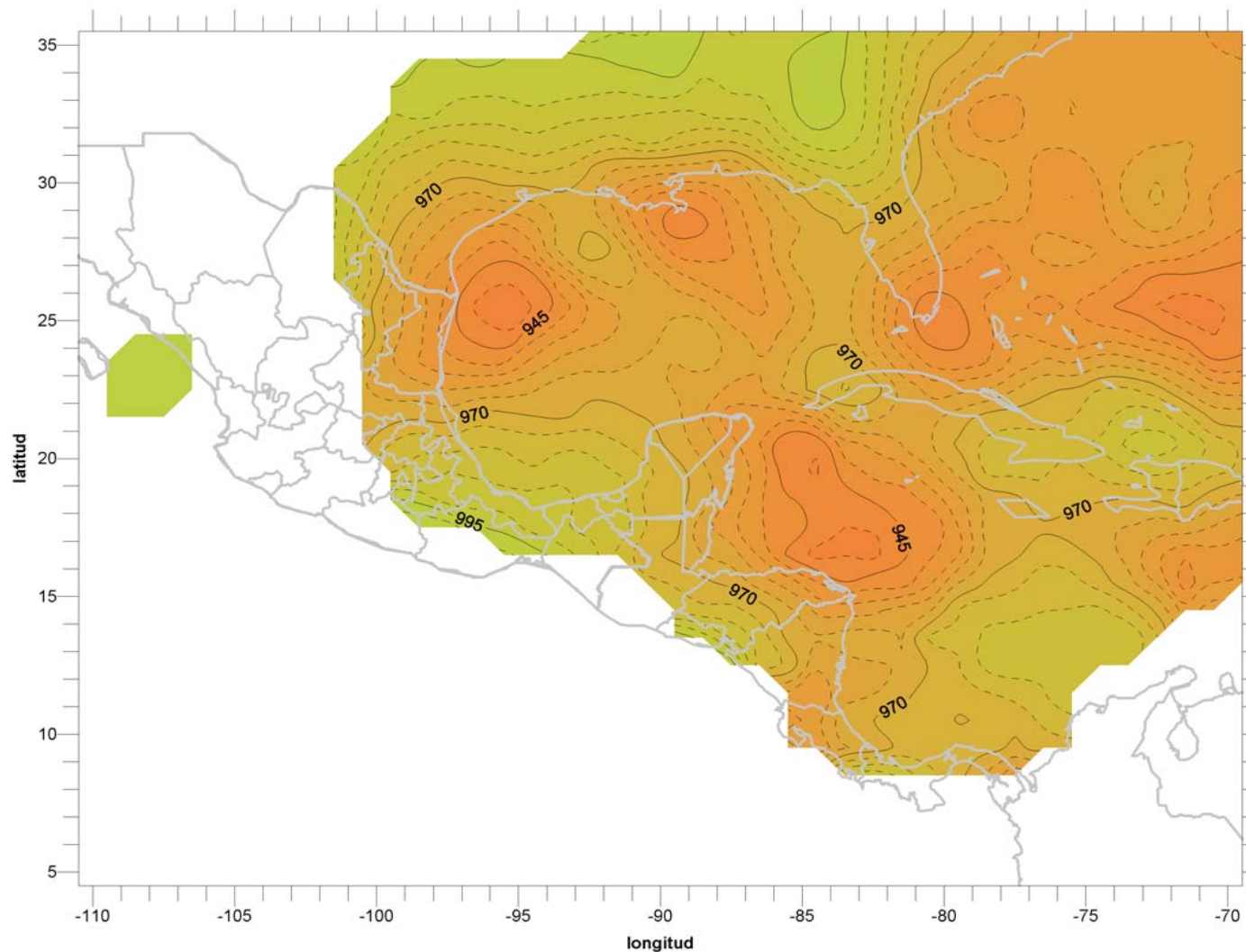
Esta es una de las variables en las que la concentración de puntos finales de trayectoria se encuentra mucho más distribuida que la del número de inicios de trayectorias. Su graficación muestra zonas iluminadas en tierra, ya que el fin de las trayectorias de los ciclones tropicales en el océano Pacífico son debidas, en gran medida, a razones topográficas, pues son las cadenas montañosas las que debilitan estos fenómenos. Sin embargo, muchos de los ciclones del Pacífico nororiental terminan sus trayectorias alejados de tierra hacia el centro del océano Pacífico. Se identifican todos los estados costeros del Pacífico, así como algunos estados del interior, como Chihuahua, Sonora, Zacatecas, Guanajuato, Estado de México, e incluso, algunos de la costa del Atlántico, como Veracruz y Tabasco. Se nota una zona densa de finales de trayectorias en varios estados, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, así como frente a Nayarit y sur de Sinaloa y al oeste del extremo sur de la Península de Baja California. Se observa un “corredor” de finales de trayectorias alrededor de la latitud 20 a 25° norte, debido a la distribución de las temperaturas del mar (ver mapa no. 2) que muestra el área arriba de dichas latitudes como la de decremento en las temperaturas del mar.

Además, el corredor que provoca el istmo de Tehuantepec permite que ciertos ciclones se muevan por dicha zona y, aunque iniciaron en el Pacífico, su trayectoria termina en estados como Tabasco y el sur de Veracruz.

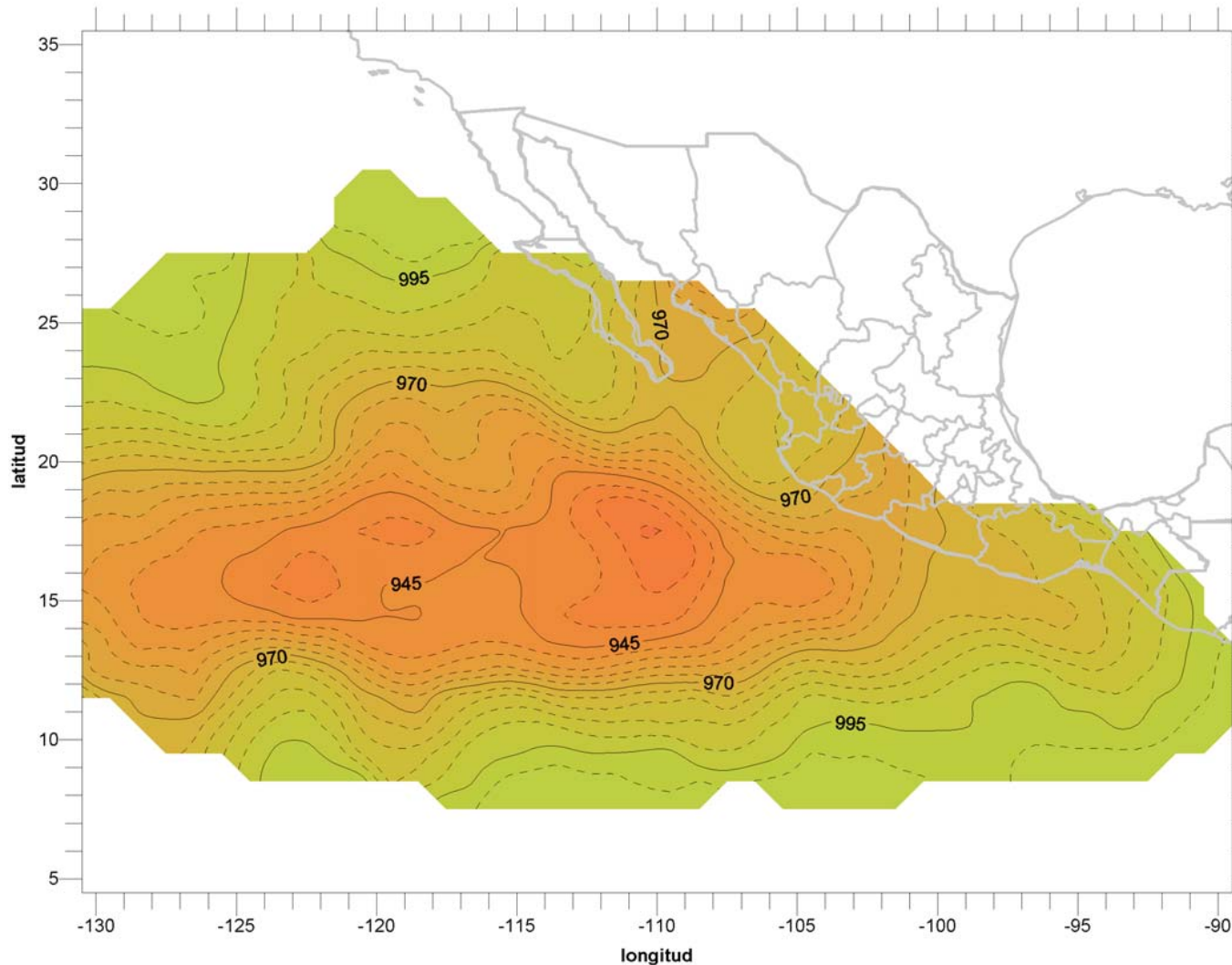


La presión central mínima, del centro del ciclón tropical, es una medida de la intensidad del sistema. Cuanto menor sea la presión, mayor será la intensidad, tanto de los vientos como del oleaje y de la marea de tormenta que puede producir. En la lámina se representa lo anterior a través de tonos de rojo, que representan las presiones menores, y con verde las mayores. También se observan dos áreas de presiones centrales mínimas que sobresalen por ser las más bajas (940 mb), una en el mar Caribe, entre las costas de Quintana Roo y Cuba, y la otra en el golfo de México, muy cerca de Tamaulipas.

La zona de presiones mínimas ubicada en el golfo de México y el mar Caribe coincide con las zonas de vientos mostradas en las láminas correspondientes a la media y máximo de los vientos máximos sostenidos.



Mapa 15. Presión central mínima [mb] que se ha presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)



Mapa 16. Presión central mínima [mb] que se ha presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

La presión central mínima, del centro del ciclón tropical, es una medida de la intensidad del sistema. Cuanto menor sea la presión, mayor será la intensidad, tanto de los vientos como del oleaje y de la marea de tormenta que puede producir. En el mapa se representa lo anterior a través de tonos de rojo, que representan las presiones menores, y con verde las mayores. También se observan una zona de presiones centrales mínimas que sobresalen, entre los 13 y los 20° latitud norte. Es en esta zona donde se tienen las presiones más bajas, correspondientes a 935 y 940 mb. La isla Socorro queda cerca de la zona donde se presentan dichas presiones; sin embargo, también se observan dos canales de presiones mínimas que afectan a Baja California Sur y Sinaloa, así como a Guerrero y Michoacán, con valores alrededor de 965 mb.

La zona de presiones bajas coincide aproximadamente con la del mapa “Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes para el Pacífico” (mapa 12). Esta distribución también resulta congruente con las zonas de inicio y final de trayectorias mostradas en los mapas “Número de inicio de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000” (mapa 13) y “Número de finales de trayectorias para el Pacífico de 1949 a 2000” (mapa 14).

Es importante recordar que la estadística que se muestra en este mapa es el valor mínimo de la muestra de la variable presión central; se trata entonces de los casos extremos en cuanto a intensidad del ciclón tropical.



El mapa muestra la media de la velocidad de vientos máximos sostenidos (ver introducción) para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico. Su representación esta dada en líneas con puntos de igual valor, llamadas isolíneas. Los valores de la media de las velocidades de los vientos máximos sostenidos, se calcularon al considerar los ciclones tropicales que pasan dentro de una celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Se observa en la lámina que los valores máximos de la media alcanzan los 130 km/h (equivalente a la categoría 1 de huracán en la escala Saffir Simpson, ver introducción) y están contenidos en las zonas de color rojo; en cambio, los valores más pequeños contenidos en zonas de color verde se distribuyen generalmente a lo largo de las costas. En general, las velocidades de los vientos se verán disminuidas cuando el ciclón tropical entre a tierra, debido a que su fuente de energía, el mar, ha sido suprimida. En el caso de la media, los mayores valores se presentan más hacia el este sobre mar abierto (centrada aproximadamente en 73° oeste, 27° norte).

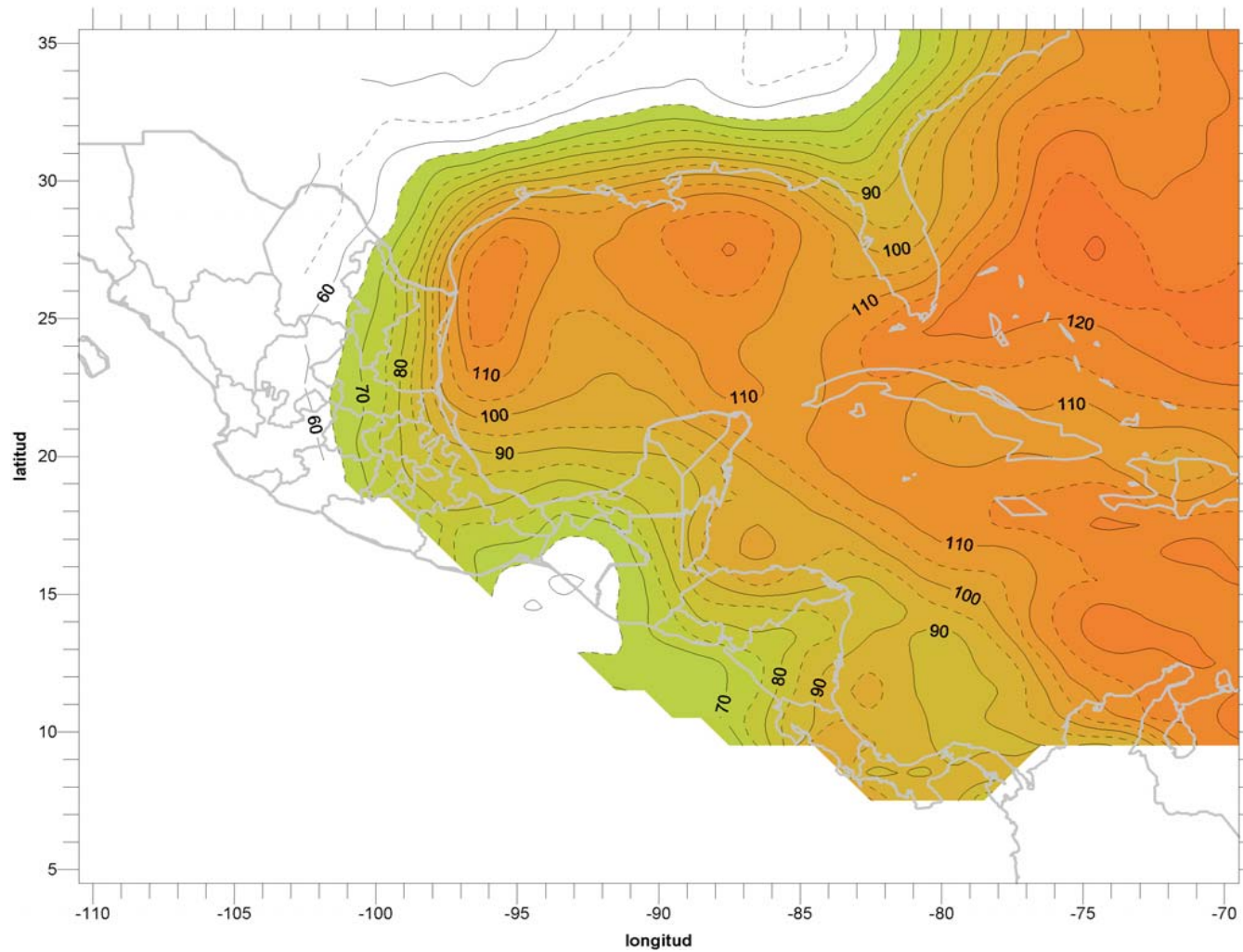
Cabe resaltar que existe una zona frente a la costa de Tamaulipas, y en la desembocadura del río Bravo, donde en promedio, ocurren velocidades altas de vientos máximos sostenidos (del orden de los 110 km/h, equivalente a la categoría de tormenta tropical). Esto quiere decir que las poblaciones costeras de Tamaulipas deben tomar medidas adecuadas de prevención y protección principalmente por viento, marea de tormenta y oleaje.

También destaca el hecho de que las velocidades de vientos máximos sostenidos sobre la península de Yucatán sufren decrementos menos rápidos, ya que no existen montañas que provoquen grandes cambios en los vientos, por lo que sus velocidades disminuyen más lentamente al entrar a tierra, en cambio, en

Tamaulipas existe la sierra Madre Oriental, la cual prácticamente detiene a los ciclones (efecto orográfico).



Península de Yucatán vista desde uno de los satélites de la NASA/Fotografía NASA



Mapa 17. Media de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

El máximo de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico se representa en el mapa como líneas con puntos de igual valor (isolíneas) y por zonas coloreadas dependiendo de su magnitud. La zona roja encierra los valores más grandes de los máximos de las velocidades de los vientos y abarcan gran parte del océano Atlántico; en cambio, las zonas verdes muestran los máximos con menor valor de velocidad de vientos máximos sostenidos y aparecen cercanos o dentro de la costa.

Los máximos están calculados a partir de las velocidades de vientos máximos sostenidos de ciclones tropicales que se han presentado dentro del periodo histórico estudiado, en celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Se debe comentar que los datos obtenidos para esta lámina son el resultado del análisis de aquellos ciclones que han presentado las condiciones más desfavorables en el periodo de años estudiado y que, por lo tanto, no representa el grueso de la población de ciclones tropicales. Esto significa que las condiciones máximas plasmadas en la lámina pueden ocurrir de manera esporádica; sin embargo, deben tomarse en cuenta como parte de los escenarios más desfavorables de ciclones tropicales para proteger, mitigar y prevenir sus efectos en poblaciones expuestas.

Se muestran las isolíneas de 120 km/h (el umbral aproximado de vientos de huracán) con línea más gruesa para facilitar la interpretación y recalcar la clara relación con la pérdida de contacto con las aguas marinas, fuente energética de los ciclones tropicales.

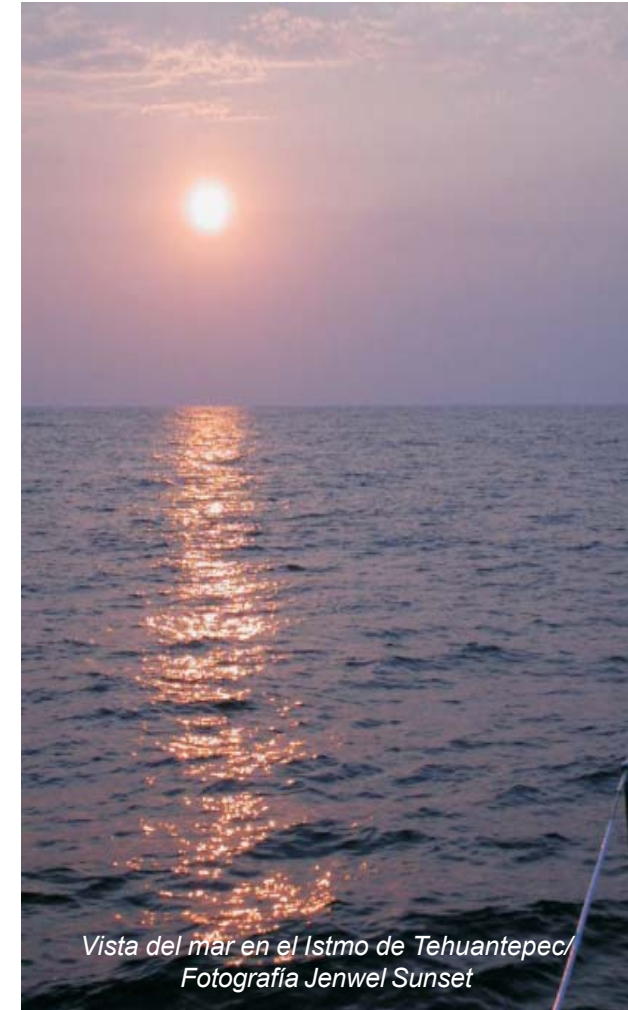
Se observa que existe una zona frente a las costas del estado de Tamaulipas con velocidades mayores a los 200 km/h, equivalentes a un huracán categoría 3 o más, y que en la medida que el ciclón se va adentrando

a tierra, su velocidad va disminuyendo debido a los efectos orográficos. Esta zona de velocidades de vientos fuertes, coincide con la que se muestra en el caso de la media de la velocidad de vientos máximos sostenidos.

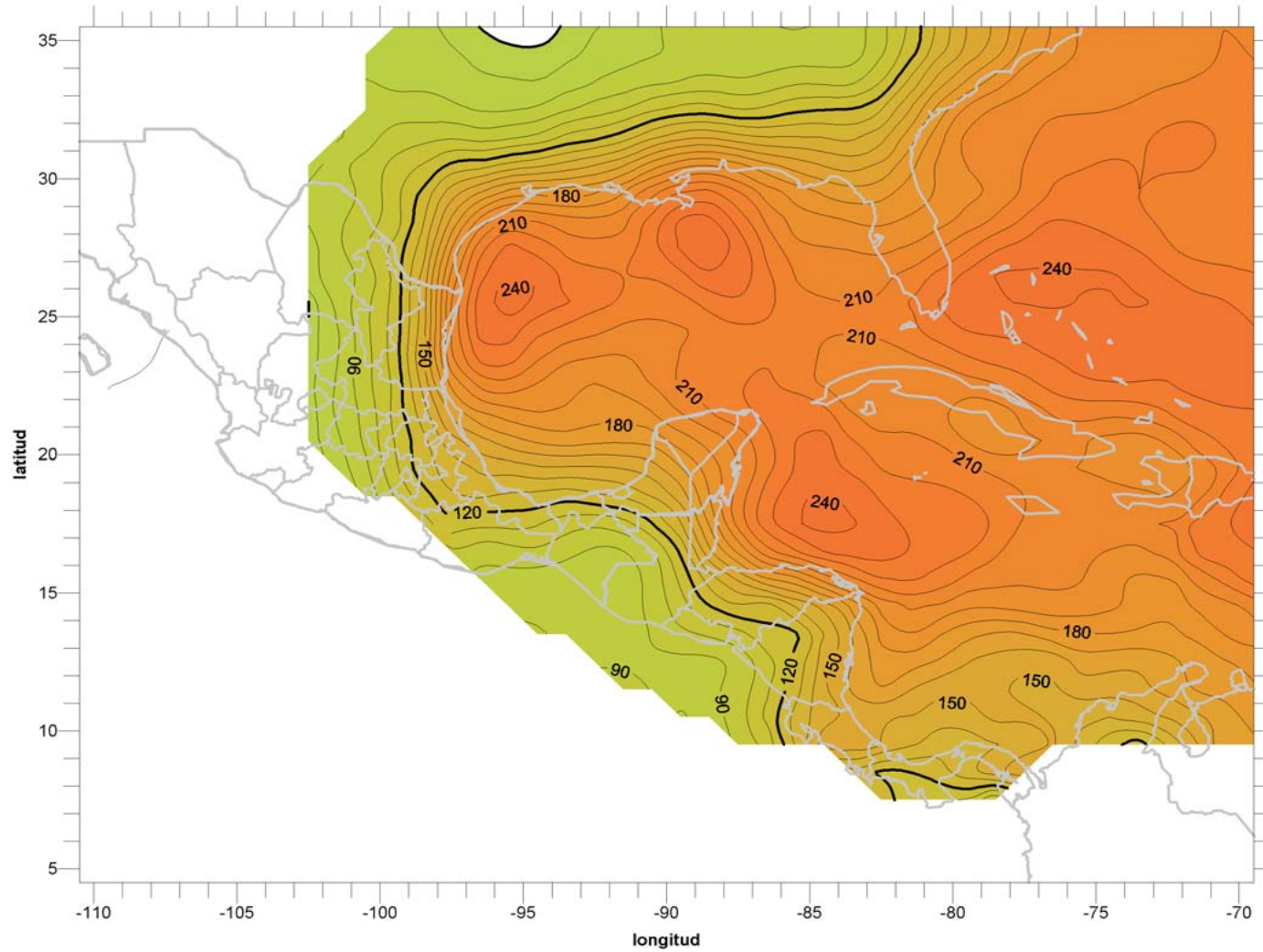
También se distinguen máximos de velocidades mayores a los 200 km/h en la punta norte de la península de Yucatán, con la salvedad de que la disminución de los valores de esta variable es más lenta que en el estado de Tamaulipas. Ello se debe a que no existe ninguna barrera montañosa que se interponga en el camino del ciclón. Una diferencia notable es que, comparado con el mapa de las medias de las velocidades (mapa 17), es la zona de alta intensidad sobre el mar Caribe, entre Cuba, Quintana Roo, Belice y Honduras, que se manifiesta de manera más explícita, ya que aunque en promedio dicha zona no muestra una concentración de intensidad especial, ocasionalmente hay ciclones en la zona sumamente intensos.

En la lámina se pueden detectar aquellas regiones con amenaza por efectos de viento, marea de tormenta y oleaje desfavorables. En el caso de requerir información para el diseño por viento de edificaciones, se recomienda utilizar el Manual de obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993), ya que se presentan mapas de isotacas (son las isolíneas para la variable viento) para varios periodos de retorno, en donde la fuente de las mediciones de velocidad son estaciones climatológicas en todo el territorio nacional (aproximadamente 57 estaciones, más otras de los Estados Unidos y de Belice). Las velocidades de diseño propuestas están basadas tanto en mediciones de viento normales, como las generadas por ciclones tropicales. Es por ello que, en general, son mayores las velocidades del Manual de C. F. E. (como ocurre en Baja California) y en el interior del país, donde los datos son más escasos para el caso

del Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales, por tratarse de zonas con poca probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos; sin embargo, al revisar los mapas del Atlas con los del Manual de C. F. E. se encuentra una similitud en la zona costera, salvo los casos apuntados anteriormente.



*Vista del mar en el Istmo de Tehuantepec/
Fotografía Jenwel Sunset*



Mapa 18. Máximo de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

El promedio, o la media, de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico, se encuentra representada en este mapa como líneas con puntos de igual valor (llamadas isolíneas) que separan áreas que han sido coloreadas para indicar, en rojo, los valores más grandes (del orden de los 115 km/h) de la media de la velocidad de vientos máximos sostenidos y, en verde, la zona donde se presentan los valores más bajos del promedio. Los valores fueron obtenidos como resultado de analizar los ciclones que cruzan celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

La distribución de la intensidad media es similar a la observada en el mapa de la presión mínima en el Atlántico norte, con la excepción de que se observa una «lengua» (área) de mayor intensidad, que se extiende desde la zona con las velocidades más altas de vientos máximos sostenidos (aproximadamente a los 18° latitud norte), hacia la entrada al golfo de California (o mar de Cortés).

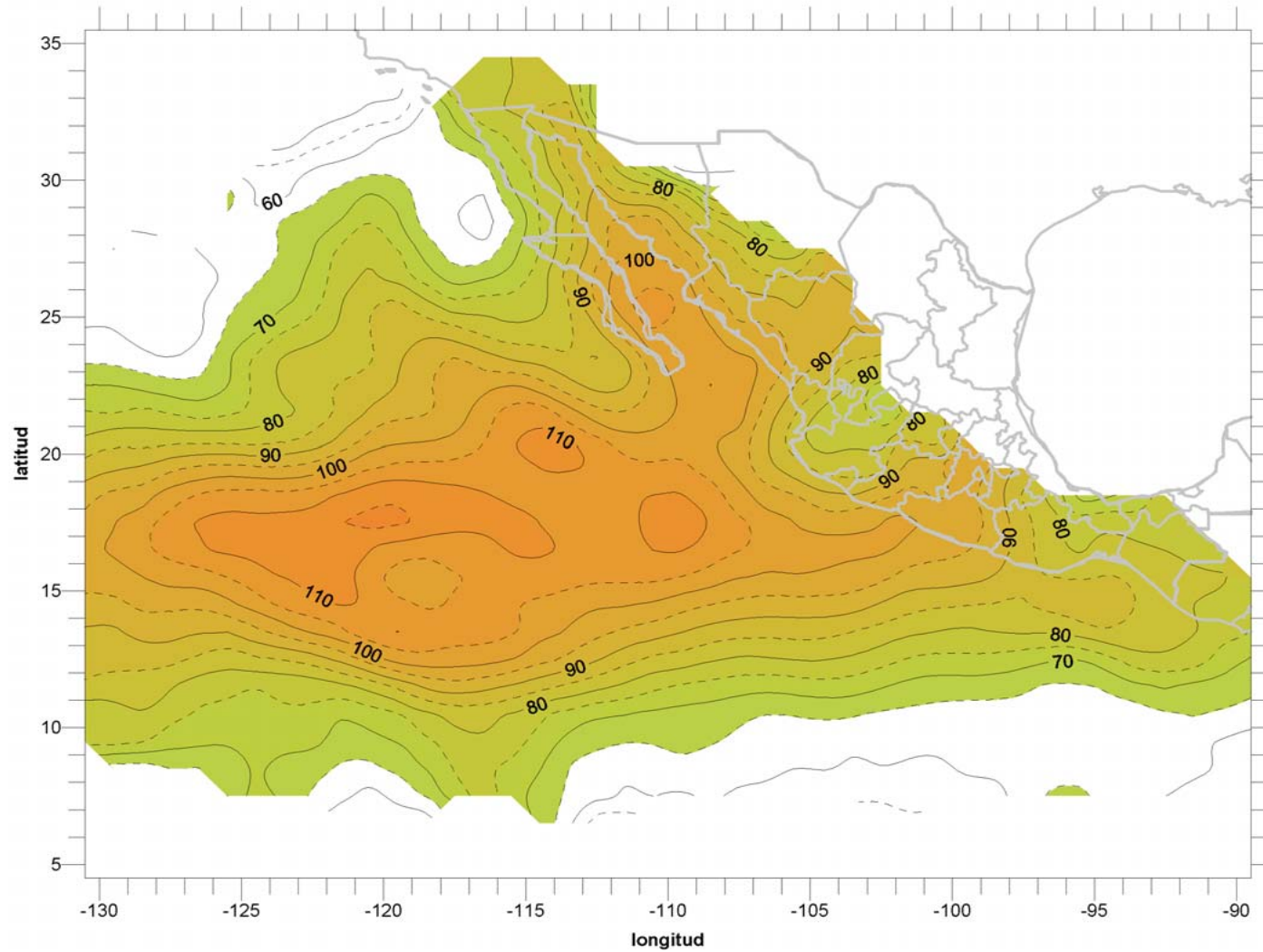
En la lámina se puede ver que la zona de color rojo se encuentra alejada de las costas de México; sin embargo, las isolíneas que cruzan casi paralelamente la costa, tienen valores de velocidades promedio de vientos máximos sostenidos entre 85 km/h y 100 km/h, equivalentes a los de una tormenta tropical, excepto Baja California, Chiapas y parte de Oaxaca. Esto quiere decir que en esa zona se han presentado velocidades de vientos máximos sostenidos de magnitud tal que pueden ocasionar daños en las casas y estructuras costeras, por lo que deben llevarse a cabo las medidas adecuadas de prevención y protección contra efectos de viento y oleaje, principalmente en el Baja California Sur, sur de Sonora, Sinaloa y Guerrero.

Se advierte en la lámina, que al menos en la vecindad de México, las intensidades de vientos ciclónicas

medias parecen ser del mismo orden de magnitud que en el caso del Atlántico norte (ver Mapa 17).



La velocidad de los vientos es una de las características principales de los huracanes



Mapa 19. Media de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

El máximo de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico se encuentra representado como líneas con puntos de igual valor llamadas isolíneas. Dichos valores fueron obtenidos al revisar las velocidades de vientos máximos sostenidos, dentro del periodo histórico estudiado, de los ciclones tropicales que han cruzado por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Se presentan las isolíneas de 120 km/h (el umbral aproximado de vientos de huracán) con línea más gruesa para facilitar la interpretación y recalcar la clara relación con la pérdida de contacto con las aguas marinas, fuente energética de los ciclones tropicales. Es muy claro en este caso que la ubicación de la isolínea 120 km/h, además de tener una relación con la pérdida de contacto con el agua del mar, tiene correlación con las temperaturas de la superficie del mar de 26° C o menos, que no promueven el funcionamiento eficiente de la máquina termodinámica que es un ciclón tropical (ver Mapa 2).

Se observa en la lámina, que las isolíneas separan zonas de diferente color. La de color rojo representa los valores más grandes (del orden de los 240 km/h, equivalente a huracán categoría 4) que se presentaron como máximos de velocidades, y la de color verde, los valores más bajos que se presentaron como máximos para el periodo de años especificado.

La zona roja cubre una franja del océano Pacífico entre la latitud norte de 10° y la de 20°, con una relativa cercanía (160 km aproximadamente) a las costas occidentales de México; sin embargo, sobre la costa se han presentado máximos correspondientes a huracanes de categoría 2 (vientos de hasta 177 km/h) en los estados de Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Sinaloa y Baja California Sur. También se han

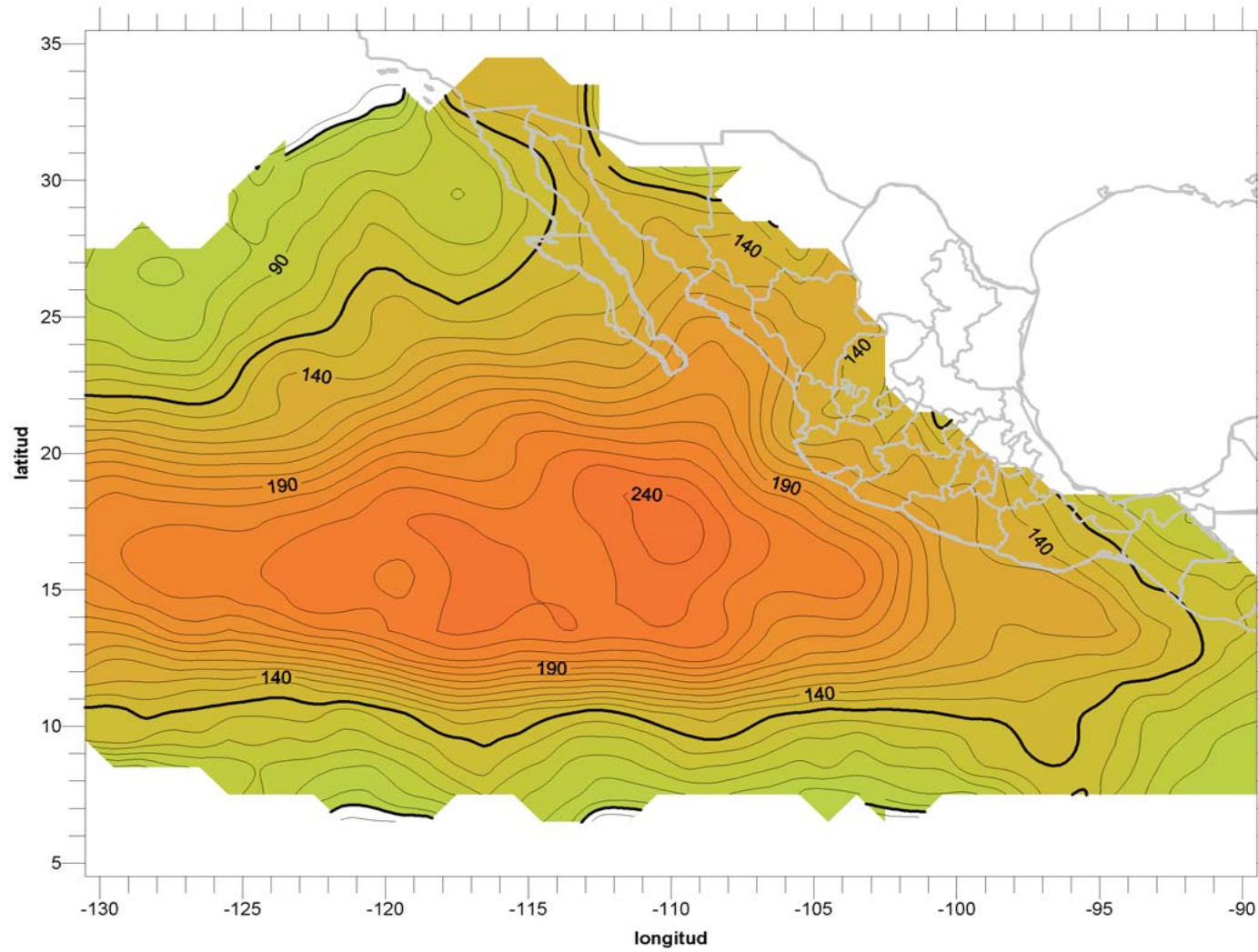
presentado vientos de huracán de categoría 1 en prácticamente toda la costa del Pacífico. Se observa que esta intensidad de velocidad de vientos se ha presentado en estados del interior, como Durango, parte de Zacatecas y Chihuahua, Morelos y hasta el D. F.

La información de esta lámina puede proporcionar datos para la determinación de aquellas zonas con peligro por viento, marea de tormenta y oleaje costero. En el caso de requerir información para el diseño por viento de edificaciones, se recomienda utilizar el Manual de obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993), ya que se presentan mapas de isotacas (son las isolíneas para la variable viento) para varios periodos de retorno, en donde la fuente de las mediciones de velocidad son estaciones climatológicas en todo el territorio nacional (aproximadamente 57 estaciones, más otras de los Estados Unidos y de Belice). Las velocidades de diseño propuestas están basadas tanto en mediciones de viento normales, como las generadas por ciclones tropicales. Es por ello que, en general, son mayores las velocidades del Manual de C. F. E. (como ocurre en Baja California) y en el interior del país, donde los datos son más escasos para el caso del Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales, por tratarse de zonas con poca probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos; sin embargo, al revisar los mapas del Atlas con los del Manual de C. F. E. se encuentra una similitud en la zona costera, salvo los casos apuntados anteriormente..

Por lo demás, la distribución espacial presente en este mapa resulta muy similar a la de los mapas de presión mínima (mapa no. 16) y la media de la velocidad de vientos máximos sostenidos (mapa no. 19), aunque por supuesto con valores de la velocidad de viento mayores que en el mapa de la media de velocidades.



*Impacto del huracán Isidore en la zona del Caribe/
fotografía Associated Press*



Mapa 20. Máximo de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)



La media del cambio en la velocidad (aceleración) de vientos máximos sostenidos para ciclonés tropicales que se han presentado en el Atlántico es el resultado de obtener el cambio de las velocidades de un ciclón cada 6 horas, y obtener el promedio o la media, de esta variable a partir de todos los ciclonés que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Los valores de la media aparecen en la lámina como líneas con puntos del mismo valor (isolíneas), donde la isolínea cero se encuentra como una línea gruesa, marcando con ello la frontera entre la zona de intensificación de velocidades (valores positivos o aceleración) y la de decaimiento de la velocidad (valores negativos o desaceleración) cada 6 h.

Se observa que las intensificaciones se dan generalmente cuando el ciclón tropical se encuentra sobre el mar, a excepción de una parte del noroccidente de la isla de Cuba, y en el extremo norte de la península de Yucatán. Los mayores incrementos de velocidad son de 4 km/h cada 6 h, y están marcados en varios puntos del océano como zonas en color rojo. También se encuentran en color verde las áreas con el máximo decaimiento de velocidad, el cual se dan cuando el ciclón tropical está próximo o entró a tierra.

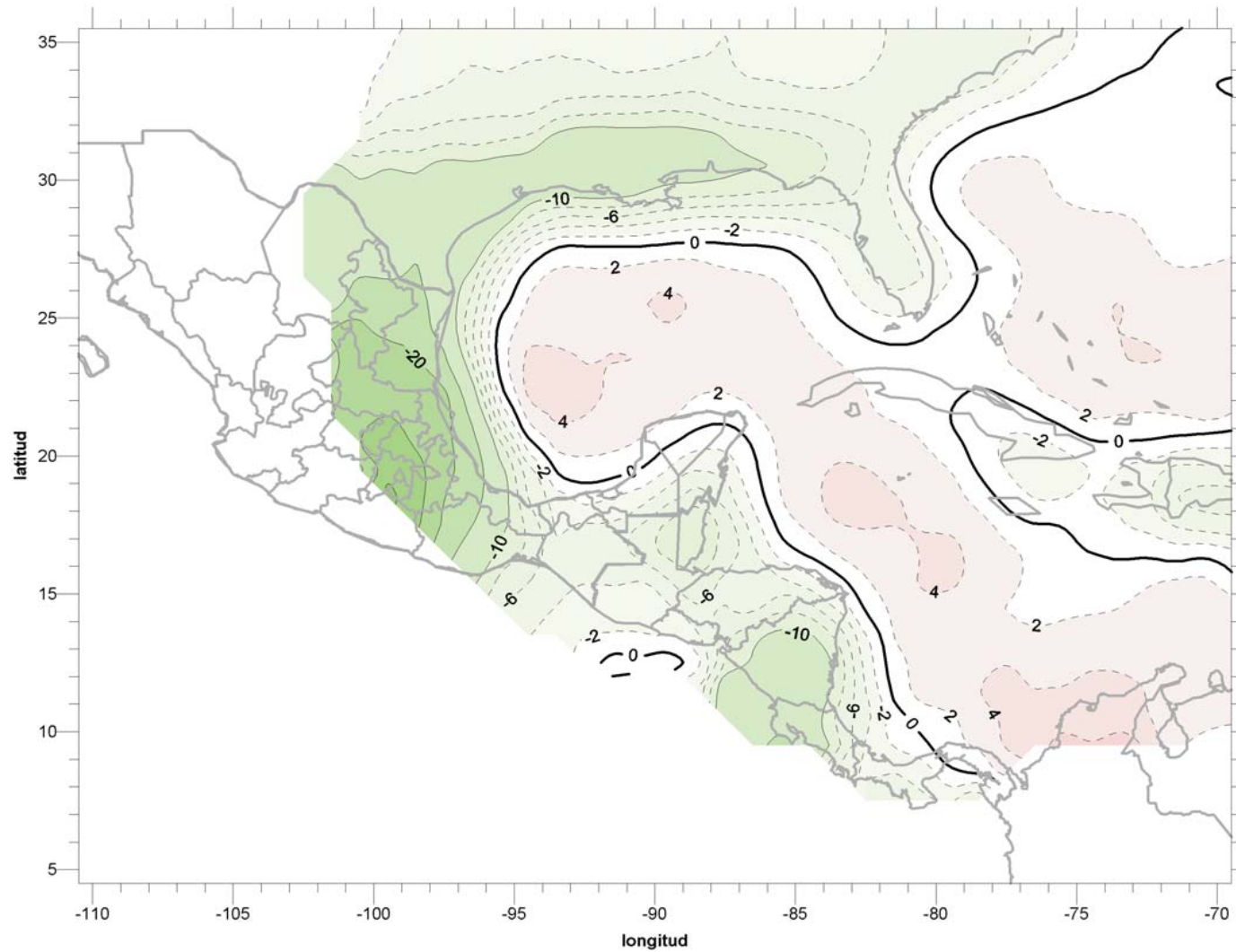
La manera como se comporta la velocidad de vientos máximos sostenidos cerca o dentro del continente, está relacionada con la existencia de barreras montañosas que ayudan al decaimiento de la velocidad de los vientos máximos sostenidos. Esto indica que en alta mar la tendencia es a intensificarse, mientras que al acercarse a la costa, la tendencia es a decaer. En las zonas montañosas del litoral del golfo de México, este decaimiento es muy intenso en los últimos 200 km del recorrido del ciclón tropical.

Sin embargo, en el caso de la península de Yucatán, no existe un efecto orográfico que obligue a los

ciclonés tropicales a disminuir su velocidad; por el contrario, en algunos casos se incrementa cuando están próximos a dejar tierra y alimentarse del mar nuevamente, como se puede observar en la lámina.



Huracán que atacó el poblado de Galveston, Texas en 1900. La ciudad quedó devastada con una cifra de 6000 muertes y 10 000 personas damnificadas. El principal efecto destructor del huracán fue la marea de tormenta



Mapa 21. Media del “cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

La media del cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico es el resultado de obtener el cambio de las velocidades cada 6 horas de un ciclón, y obtener el promedio o la media de este valor de todos los ciclones que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Los valores de la media aparecen en el mapa como líneas con puntos del mismo valor (isolíneas), donde la isolínea cero se encuentra como una línea gruesa marcando con ello la frontera entre la zona de intensificación de velocidades (valores positivos o aceleración) y la de decaimiento de la velocidad (valores negativos o desaceleración) cada 6 h.

Se observa que las intensificaciones se dan cuando el ciclón tropical se encuentra sobre el mar, y que se representa como una zona coloreada en rojo, localizada abajo de los 15° latitud norte, formando un corredor que cubre parte del océano Pacífico. En esta zona se encuentran áreas rojas con los valores medios más grandes que se han presentado en el cambio de la velocidad de vientos máximos sostenidos, equivalentes a una intensificación de 6 km/h cada 6 h.

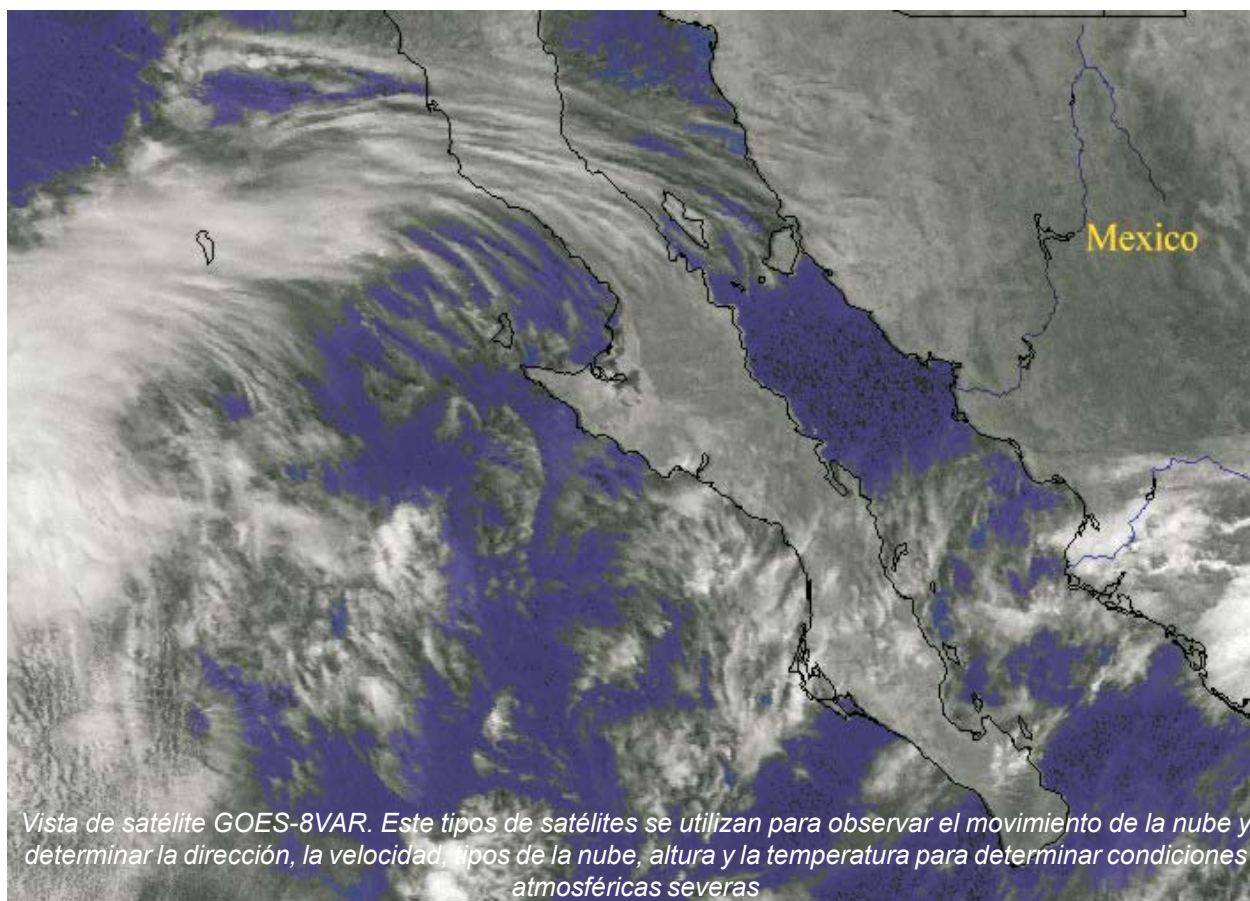
También se encuentra en color verde el máximo decaimiento de velocidad, el cual se da cuando el ciclón tropical está próximo, o entró, a tierra y cuando se encuentran por arriba de los 15° latitud norte. Se observa que la zona con mayor decaimiento se ubica entre el norte de Sonora y Baja California.

La manera como se da el cambio de la velocidad de vientos máximos sostenidos, cerca o dentro del continente, está relacionada con la existencia de barreras montañosas que ayudan al decaimiento de la velocidad de los vientos máximos sostenidos. Esto se observa a todo lo largo de la costa occidental de México; sin embargo, la sierra a lo largo de la península

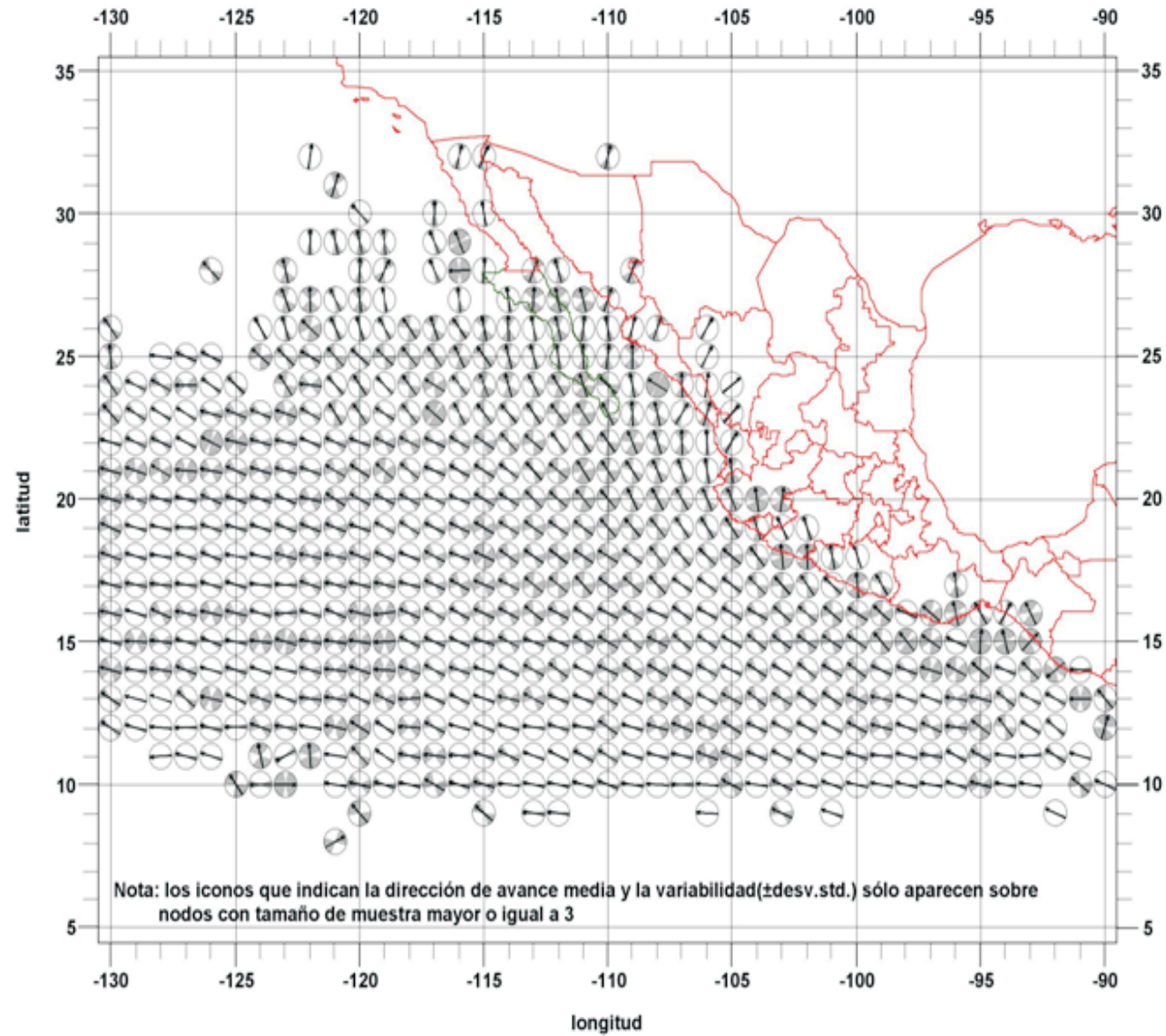
de Baja California (ver mapa no. 1 de topografía) no se manifiesta como productora clara de decaimiento de la intensidad de ciclones tropicales.

En las zonas en las que la temperatura de la superficie del mar es suficientemente alta durante todo el año, ver mapa 2, la isolínea neutra (cero aceleración), sigue a la costa sur de México a unos 100 km mar adentro. Pero en la zona donde la temperatura de la superficie

del mar no permanece toda la temporada por arriba de 26° C, la línea neutra se ajusta aproximadamente a dicha temperatura; es decir, con intensificación para temperaturas mayores que 26° C, pero decaimiento para temperaturas menores que 26° C. Esto hace que, en promedio, toda la zona de la península de Baja California y del golfo de California sea de decaimiento. Habría que esperar que eso tuviera una variación a lo largo de la temporada similar a la que presenta la línea de 26° C en el Mapa 2.



Vista de satélite GOES-8VAR. Este tipos de satélites se utilizan para observar el movimiento de la nube y determinar la dirección, la velocidad, tipos de la nube, altura y la temperatura para determinar condiciones atmosféricas severas



Mapa 22. Media del “cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos” [km/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

El mapa muestra el máximo incremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico, obtenidos al analizar, dentro del periodo histórico estudiado y para cada 6 horas, el máximo incremento de las velocidades de aquellos ciclones que han cruzado por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción); es decir, que si en una celda hay “n” número de ciclones tropicales, sólo se escogerá aquel con el incremento máximo en el análisis.

Los máximos están representados como líneas con puntos de igual valor (isolíneas) donde la línea de valor cero, es decir, aquella que tiene cero aceleración, se distingue por ser la más gruesa. Naturalmente, la línea neutra se encuentra recorrida hacia tierra adentro (con respecto al mapa de la media del cambio de la velocidad de vientos máximos sostenidos), es decir, en los casos extremos de mínimo decaimiento de la intensidad, éste empieza a ocurrir ya cuando el centro de giro se encuentra sobre tierra; sin embargo, el altiplano central, aún en este caso extremo, es siempre una zona de decaimiento.

Se debe comentar que los datos obtenidos para esta ilustración son el resultado del análisis de aquellos ciclones que han presentado las condiciones más desfavorables en el periodo de años estudiado. Esto significa que las condiciones máximas presentadas en la lámina pueden ocurrir de manera esporádica; sin embargo, deben tomarse en cuenta como parte de los escenarios más desfavorables de ciclones tropicales para proteger, mitigar y prevenir sus efectos en poblaciones expuestas.

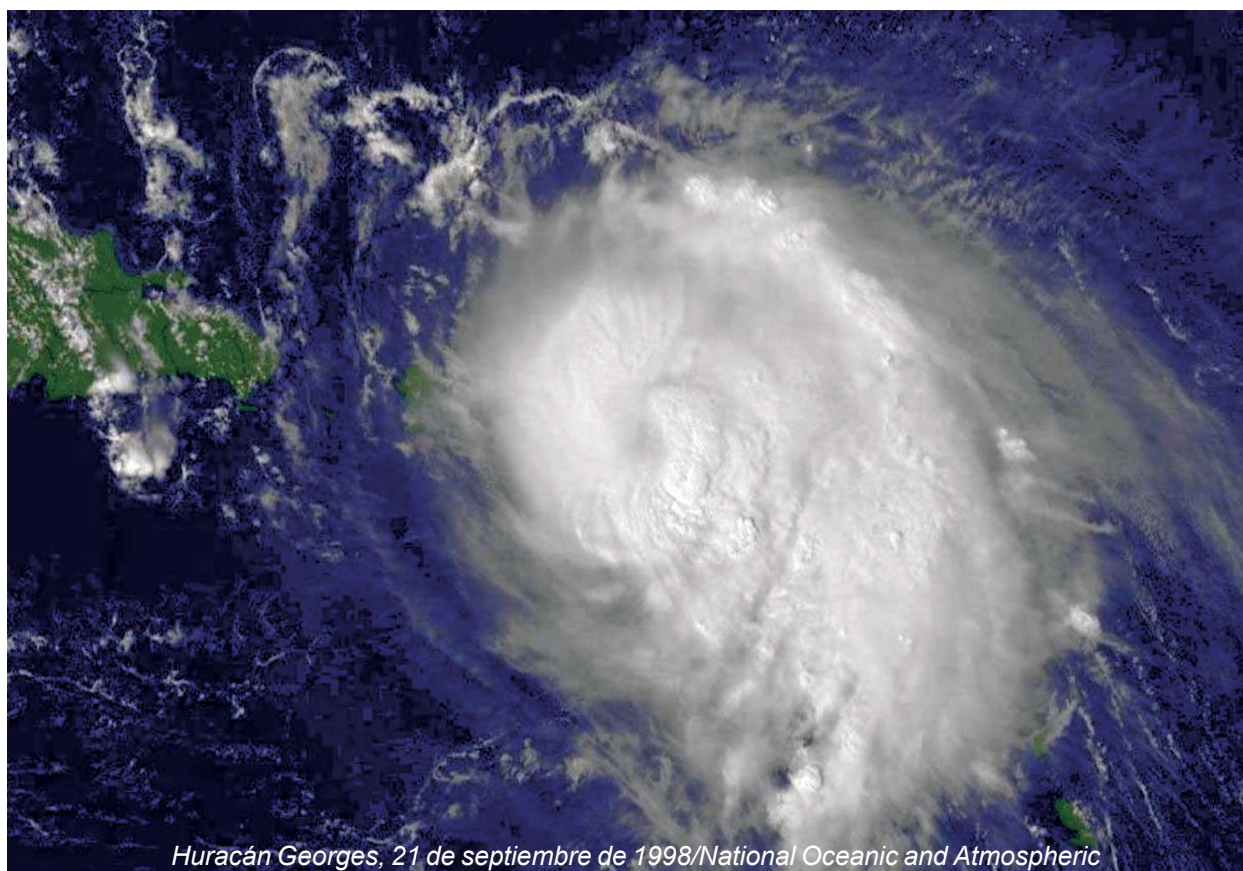
Como se puede observar en el mapa, el máximo incremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos se representa en color rojo y cubre prácticamente todo el golfo de México y parte del océano Atlántico e inclusive, cubre la península de

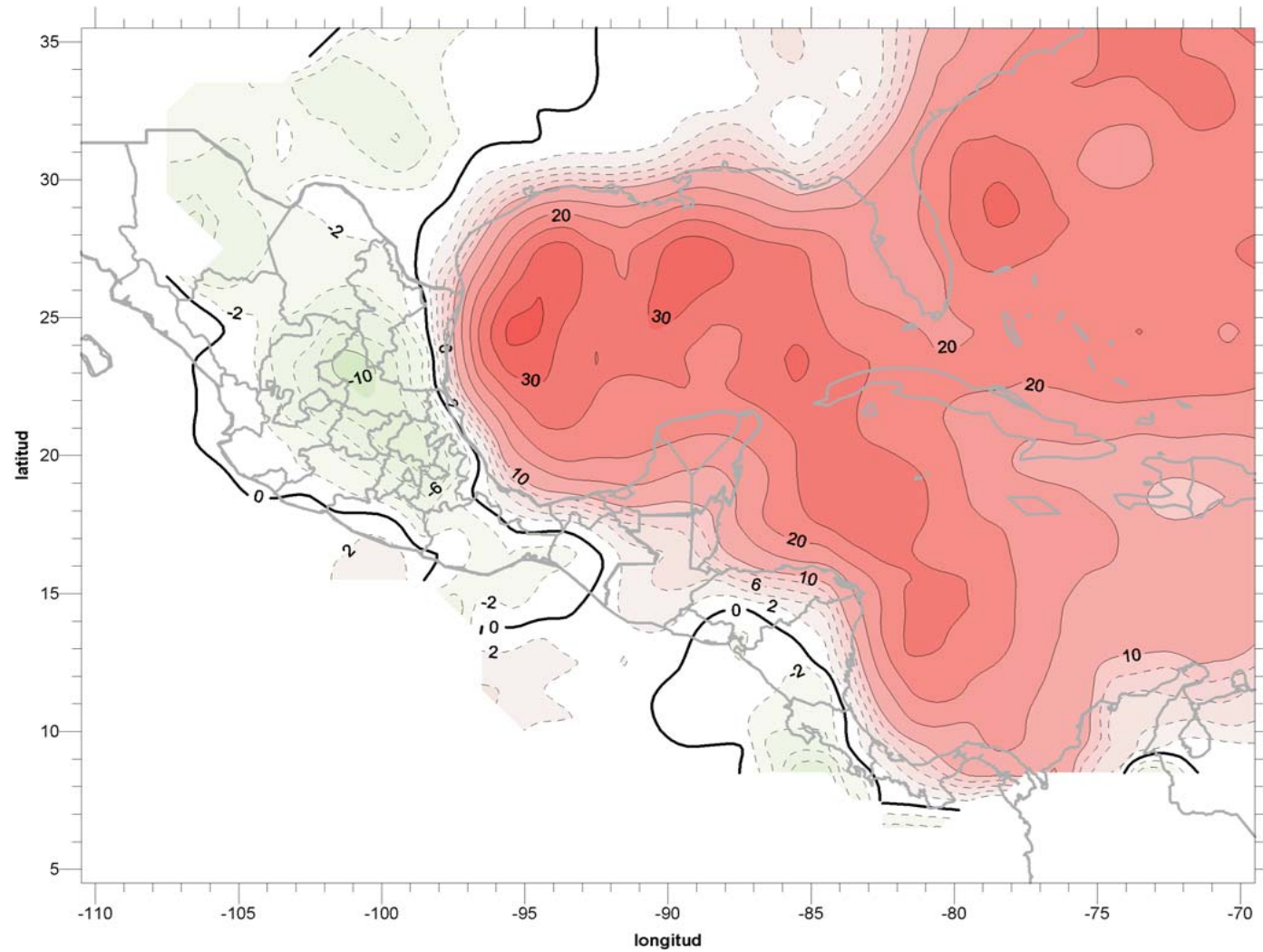
Yucatán; el incremento más grande (30 km/h cada 6 h) llega a presentarse muy cercano a las costas de Tamaulipas. En la zona más montañosa, aún en este caso extremo, la línea neutra se encuentra solo ligeramente tierra adentro de la costa.

Esto quiere decir que, dentro del periodo de años estudiado para los ciclones tropicales, en ocasiones pueden incrementar de manera dramática su velocidad

estando frente a la costa, hasta 30 km/h más de su velocidad original.

En general, se puede apreciar que en la medida que se acerca a tierra, el ciclón pierde fuerza y, por lo tanto, el incremento de la velocidad de sus vientos va disminuyendo. A la altura de las costas de Tamaulipas el cambio de velocidades es rápido, en cambio, en la zona de la península de Yucatán este cambio de velocidades es más gradual.





Mapa 23. Máximo incremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000

La lámina muestra el máximo incremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico obtenidos al analizar, dentro del periodo histórico estudiado y para cada 6 horas, el máximo incremento de las velocidades de aquellos ciclones que han pasado por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

Los máximos están representados como líneas con puntos de igual valor (isolíneas) donde la línea de valor cero, es decir, aquella que tiene cero aceleración, se distingue por ser la más gruesa. Naturalmente, en este caso extremo de máxima intensificación (o mínimo decaimiento), la línea neutra se recorre hacia tierra adentro y hacia aguas más frías (con respecto al mapa de la media del cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos en 6 horas). Las altas montañas muy cercanas a la costa sobre Jalisco llevan a la línea neutra hasta sólo ligeramente tierra adentro (similar al caso del mapa del máximo incremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos en 6 h en el Atlántico, Mapa 23).

Se debe comentar que los datos obtenidos para esta ilustración son el resultado del análisis de aquellos ciclones que han presentado las condiciones más desfavorables en el periodo de años estudiado. Esto significa que las condiciones máximas presentadas en la lámina pueden ocurrir de manera esporádica; sin embargo, deben tomarse en cuenta como parte de los escenarios más desfavorables de ciclones tropicales para proteger, mitigar y prevenir sus efectos en poblaciones expuestas.

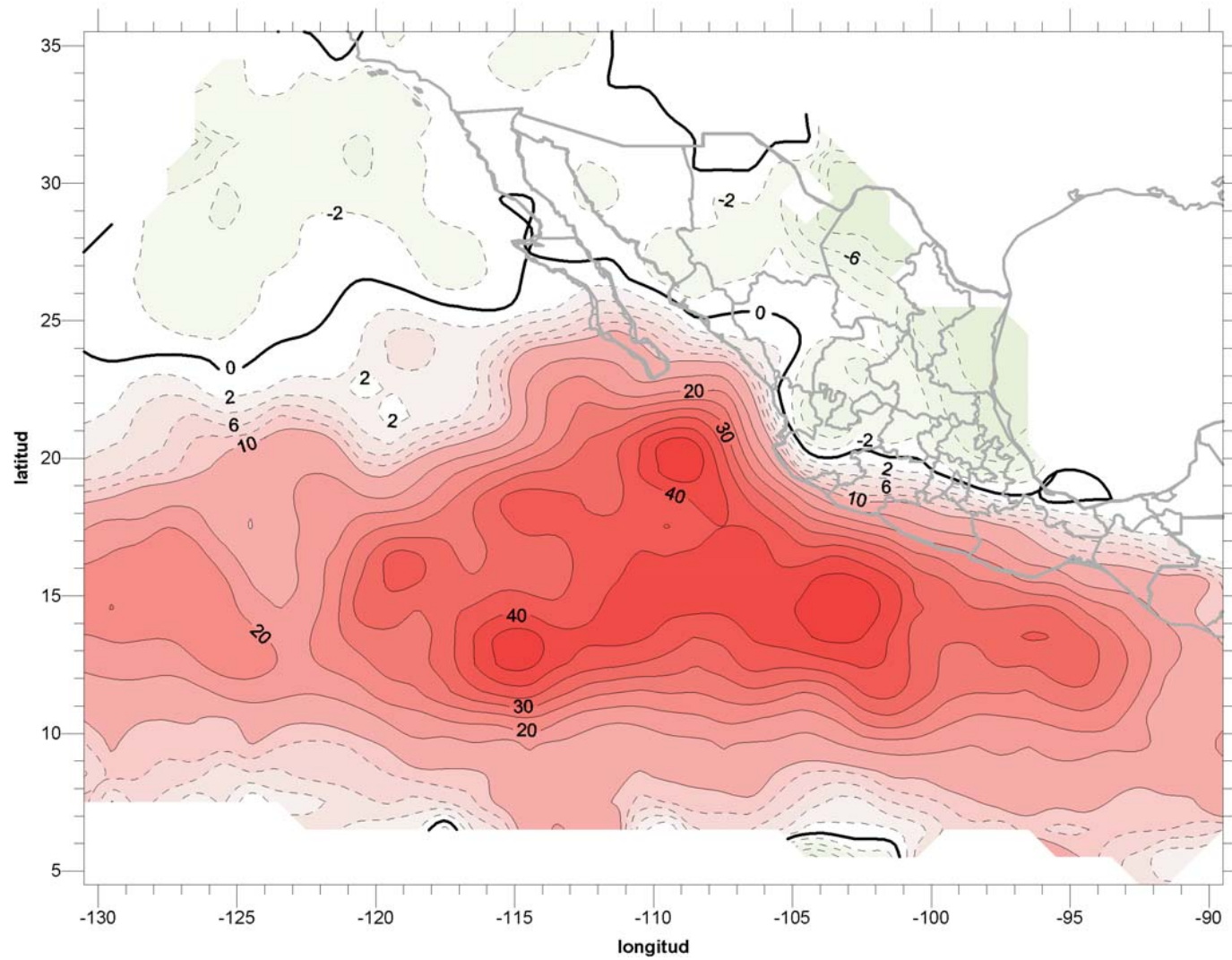
Como se puede observar, el máximo incremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos se representa en una zona en color rojo y cubre parte del océano Pacífico hasta la latitud 25° aproximadamente, desde el sur de Baja California Sur hasta Chiapas.

Dentro de esta zona existen tres áreas con los valores más altos de incrementos de velocidades (del orden de los 40 km/h cada 6 h), donde dos de ellas se ubican a 350 km aproximadamente de distancia de la costa occidental de México.

Hay que recordar que una vez que el ciclón cruza la isolínea de valor cero, comienza el decremento de las velocidades de viento.



*Daños provocados por el huracán Pauline en octubre de 1997 en Acapulco, Gro.
Se presentó un flujo de escombros/Fotografía Ing. M. Teresa Vázquez Conde/CENAPRED*



Mapa 24. Máximo incremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000

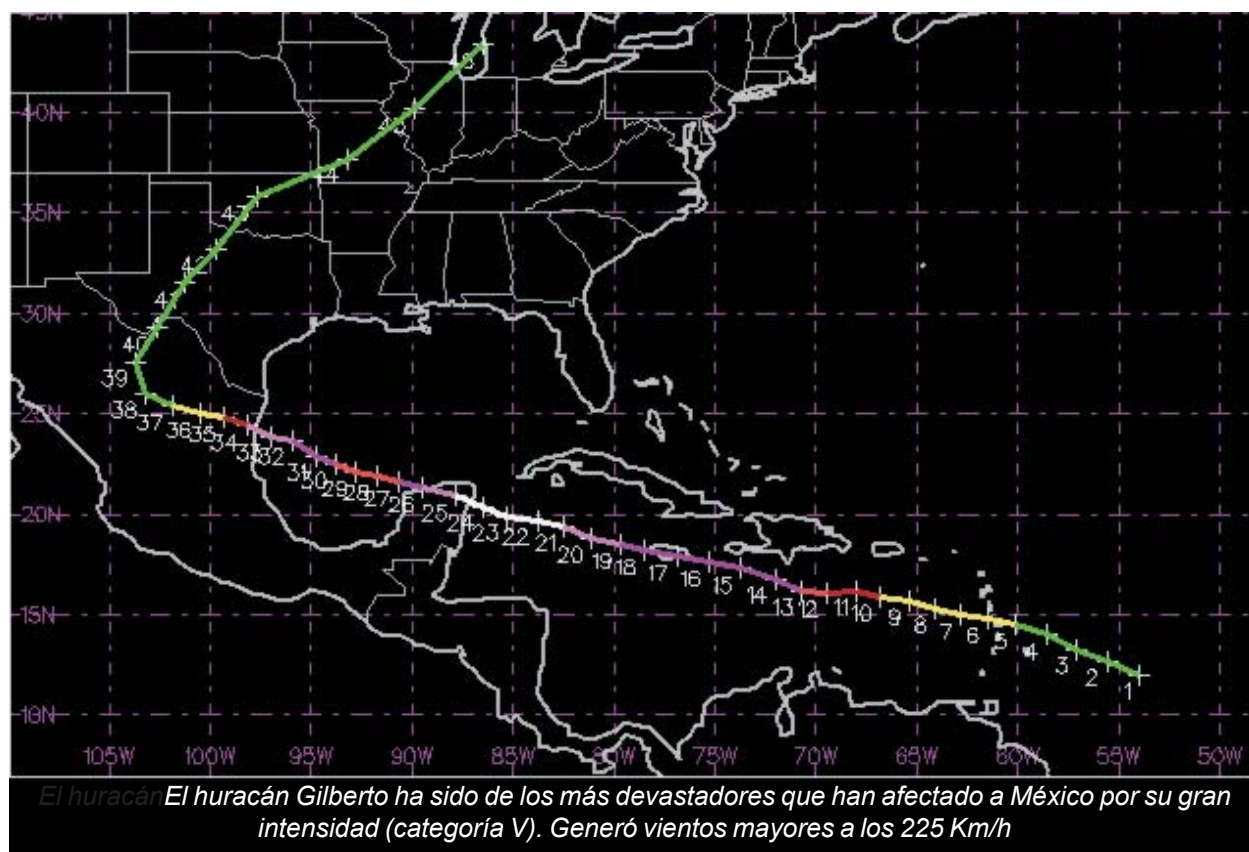
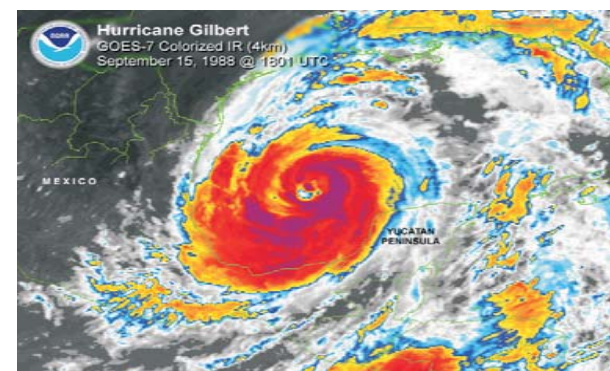
El máximo decremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico, han sido obtenidos de analizar el máximo decremento del cambio de las velocidades de los ciclones tropicales que han cruzado, dentro del periodo histórico señalado y cada 6 horas, celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

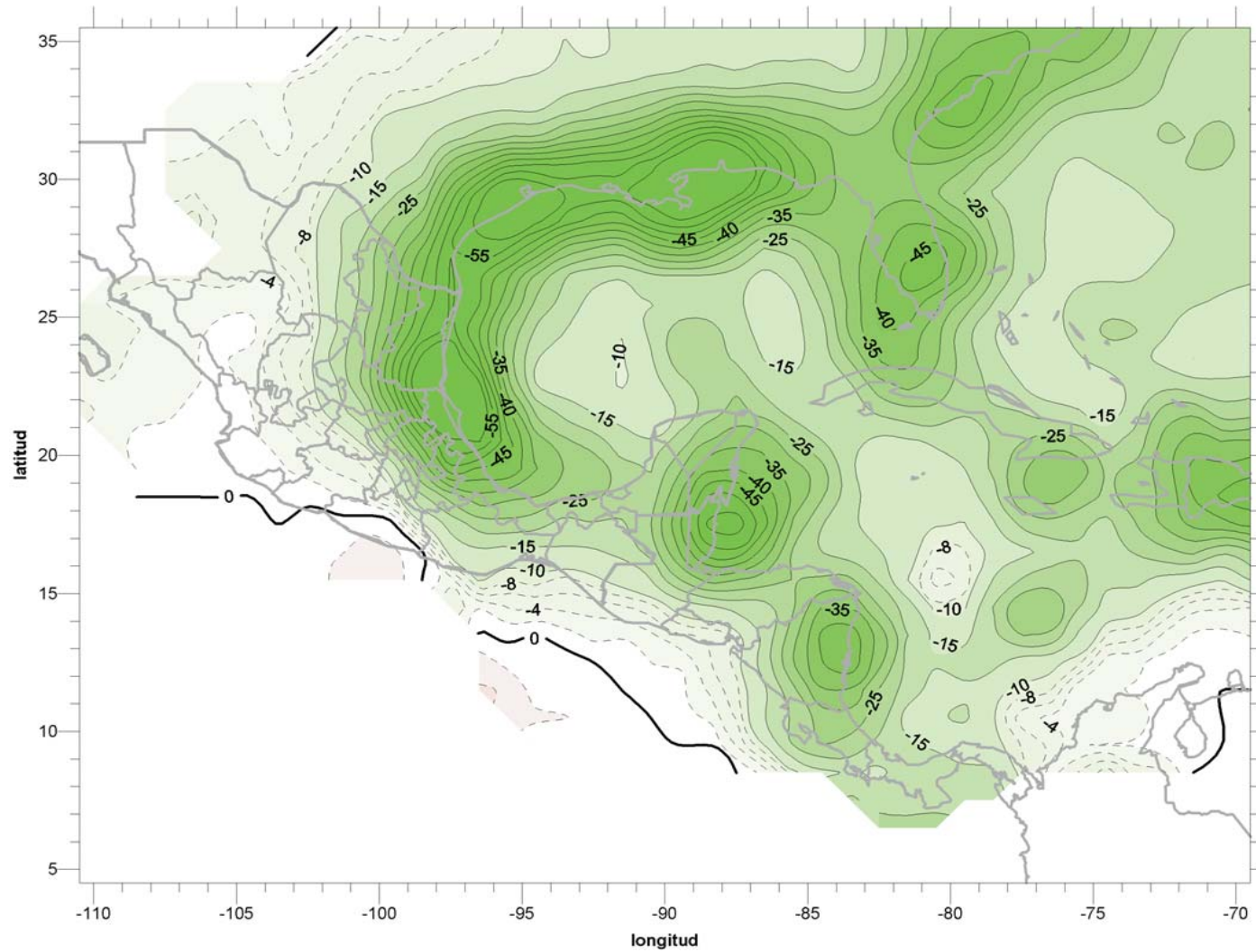
En este caso extremo (opuesto al del mapa del máximo del cambio en la velocidad de vientos máximos sostenidos en 6 horas), como es de esperarse, en todo el dominio es posible el decaimiento (por ejemplo, para aguas de temperatura demasiado fría), o sea toda la zona muestra valores negativos. Pero aún así, el decaimiento máximo se presenta en zonas alrededor de las líneas de costa y es menos marcado en alta mar.

Se debe comentar que los datos obtenidos para esta ilustración son el resultado del análisis de aquellos ciclones que han presentado las condiciones más favorables para el decaimiento de su velocidad de viento en el periodo de años estudiado. Esto significa que las condiciones máximas presentadas en la lámina pueden ocurrir de manera esporádica; sin embargo, deben tomarse en cuenta como parte de los escenarios de ciclones tropicales en la protección civil. Dichos valores se encuentran representados como líneas con puntos del mismo valor llamadas isolíneas, delimitando una zona en color verde que cubre parte del océano Atlántico y del continente.

Dentro de esta zona, existen áreas donde se encuentran los valores más grandes del máximo decremento de la velocidad (del orden de los - 60 km/h cada 6 horas); específicamente, una frente a las costas del norte de Veracruz y Tamaulipas y otra frente a las costas de Belice y parte del oriente del estado de Quintana Roo.

En el caso de la península de Yucatán, al entrar a tierra los ciclones tropicales a la altura de Chetumal, en el estado de Quintana Roo, pierden hasta 60 km/h cada 6 horas. Una vez en tierra, la velocidad de vientos máximos sostenidos de los ciclones tropicales, pueden tener decrementos paulatinos menores que 60 km/h, y mayores a los 35 km/h, cada 6 horas.





Mapa 25. *Máximo decremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico de 1851 a 2000*

El máximo decremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico, han sido obtenidos de analizar el máximo decremento del cambio de las velocidades de los ciclones tropicales que han cruzado, dentro del periodo histórico señalado y cada 6 horas, celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción). En este caso extremo (opuesto al del mapa del incremento máximo de la velocidad de vientos máximos sostenidos en 6 horas, Mapa 24), como es de esperarse, todo sitio es factible de ser zona de decaimiento (por ejemplo, por vientos fuertes a gran altura). Aún así, los mayores decaimientos se agrupan en o cerca de la línea costera.

Se debe comentar que los datos obtenidos para esta ilustración son el resultado del análisis de aquellos ciclones que han presentado las condiciones más favorables para el decaimiento de su velocidad de viento en el periodo de años estudiado. Esto significa que las condiciones máximas presentadas en la lámina pueden ocurrir de manera esporádica; sin embargo, deben tomarse en cuenta como parte de los escenarios de ciclones tropicales por parte de autoridades de protección civil.

Destaca el hecho de que, las zonas de trayectorias típicas (ver mapa del tamaño de muestra para ciclones tropicales del Pacífico, Mapa 12) y de mayor intensificación máxima (ver Mapa 24), coinciden también con estar sujetas a considerables decaimientos máximos; es decir, son zonas con alta variabilidad en cuanto a cambio de intensidad de los ciclones tropicales. Dichos valores se encuentran representados como líneas con puntos del mismo valor llamadas isolíneas, delimitando una zona en color verde que cubre parte del océano Pacífico y toda la costa occidental de México.

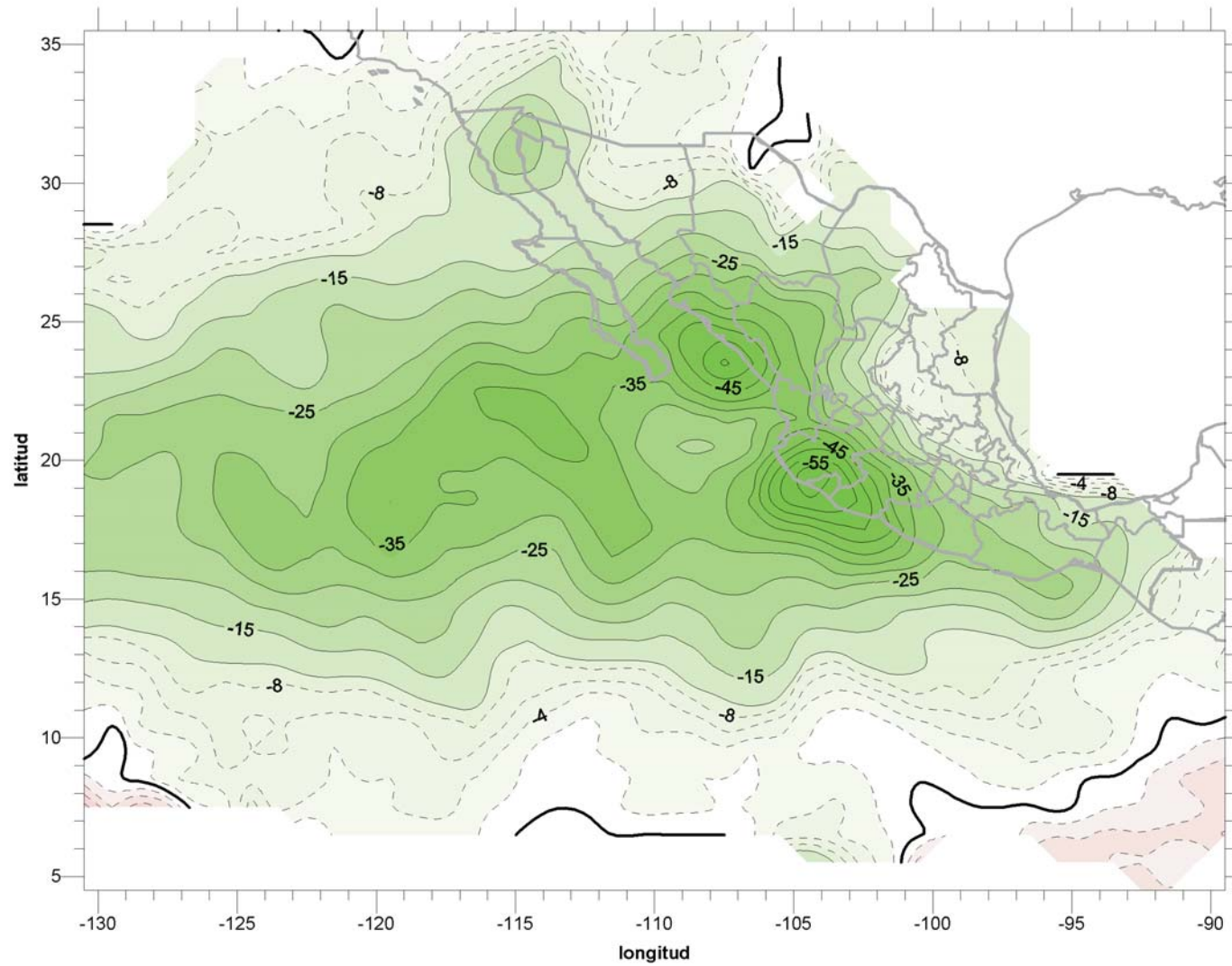
Dentro de esta zona, existen áreas donde se encuentran los valores más grandes del máximo

decremento de la velocidad (del orden de los - 55 km/h cada 6 horas); específicamente, una frente a las costas de Sinaloa y otra frente a las costas de Colima, Jalisco y Michoacán.

En el segundo caso, el estado de Colima se presenta como la zona ideal para el máximo decremento de las velocidades de vientos máximos sostenidos de los ciclones tropicales en el océano Pacífico, que penetran tierra. Aquí, los ciclones pierden hasta 55 km/h cada 6 horas al entrar a tierra. Algo similar ocurre al sur de Jalisco y norte de Michoacán.



Huracán Isidore septiembre de 2002, imágenes del impacto en Yucatán, México



Mapa 26. *Máximo decremento de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” [(km/h)/6h] para ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico de 1949 a 2000*

En el mapa se muestra la media de la dirección de traslación, representada por un vector dentro de cada círculo, y su variabilidad representada en conos que parten del vector para ciclones tropicales en el Atlántico norte y que significa la variabilidad existente para estimar la trayectoria futura.

Los valores de dirección fueron obtenidos al calcular la media y su desviación estándar (ver introducción), de las direcciones de traslación de aquellos ciclones tropicales que han pasado (mínimo tres), dentro del periodo de años establecido, por las celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

El mapa de direcciones de avance resulta de las estadísticas mezcladas entre meses que muestran comportamientos distintos (ver mapas de las trayectorias por mes del Atlántico norte, Mapa 5). Al principio y final de la temporada, cuando los ciclones nacen cerca del continente americano, presentan una trayectoria con fuerte componente hacia el norte. A la mitad de la temporada, cuando los ciclones tienden a nacer más cerca del continente africano, las trayectorias tienen un fuerte componente hacia el arco del oeste hasta el noroeste. Al mezclarse ambas poblaciones, la dirección promedio muestra una fuerte tendencia hacia el noroeste.

Aún así, siguiendo las direcciones predominantes en cada sitio, se puede identificar que los ciclones tropicales que pasan por el norte de Cuba tienen una muy baja probabilidad de incidir sobre México, mientras que los que pasan (o nacen) al sur de Cuba muestran una mayor probabilidad de hacerlo.

Se observa en la lámina que la variabilidad de la dirección de traslación de los ciclones tropicales se vuelve muy grande, principalmente frente a las costas de Campeche, Tabasco y sur de Veracruz, y sobre tierra de los mismos estados y al norte de Chiapas.

En cambio, en la península de Yucatán, la dirección de traslación no tiene gran variabilidad, es decir, los ciclones tropicales siguen un patrón de movimiento, más o menos definido hacia el noroeste al cruzar tierra.

También se observa que la media de la dirección de traslación se vuelve caótica, con direcciones encontradas, al entrar los ciclones tropicales a Guatemala. En este lugar existe una tendencia de que los ciclones tropicales del Atlántico, crucen Centroamérica hasta llegar al océano Pacífico, debido al tramo corto de tierra que divide a ambos océanos.

Cuando los ciclones tropicales se encuentran en el golfo de México, existe una franja larga que cubre a Veracruz y Tamaulipas, donde la media de la dirección de traslación indica que los ciclones se dirigen

perpendiculares, o casi perpendiculares, a las costas de dichos estados, provocando efectos mayores por viento, marea de tormenta y oleaje (con respecto a los que ocurrirían para incidencias oblicuas). Además, los ciclones tropicales se adentran a estados sin costa, como Nuevo León, San Luis Potosí, Puebla e Hidalgo, entre otros, donde los efectos principales provocados por los ciclones se manifiestan en lluvias abundantes de larga duración y gran extensión, pues es donde éstos chocan con las barreras montañosas y comienzan a disiparse.

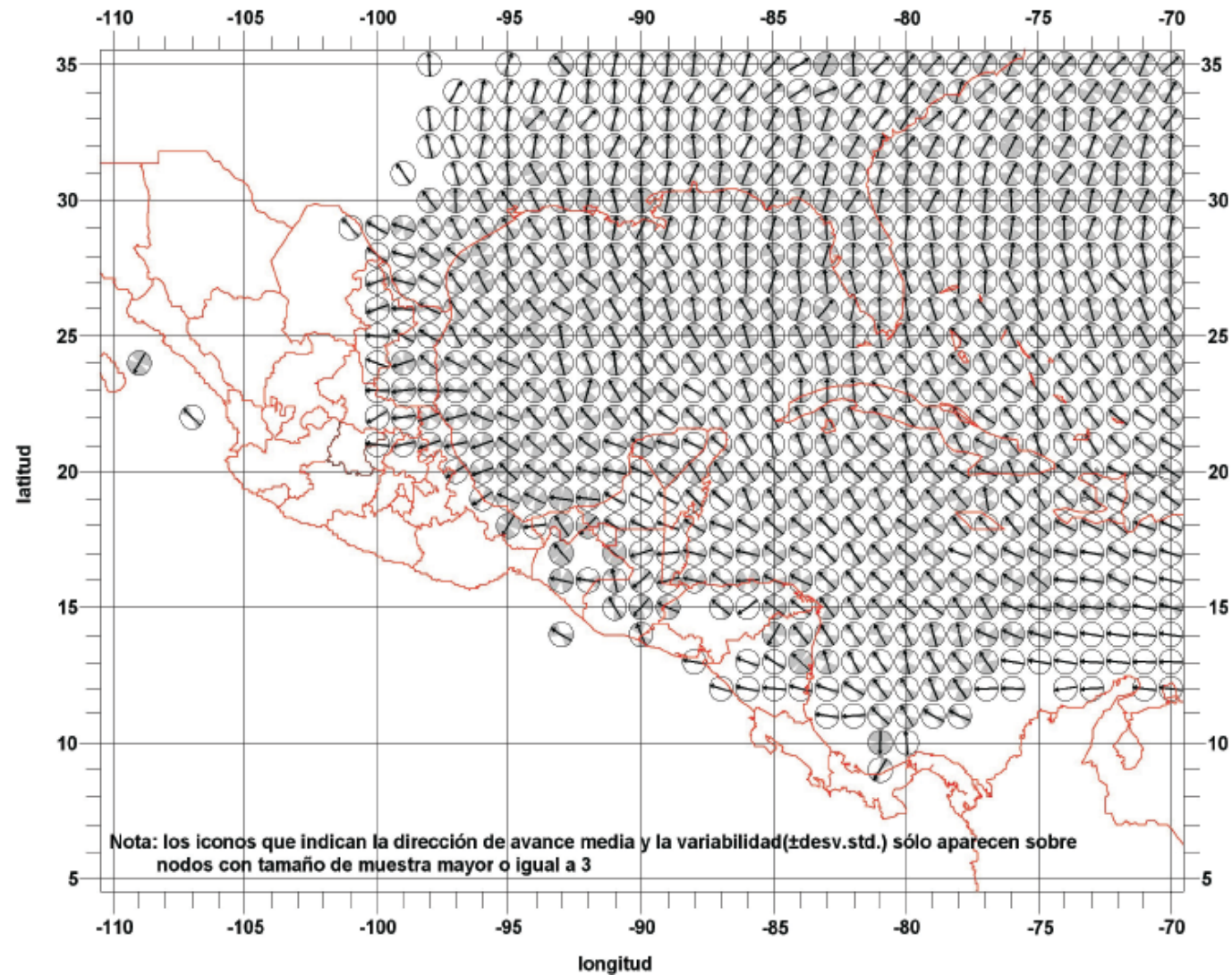
Puede observarse claramente una tendencia de los ciclones al giro en dirección de las manecillas del reloj, al aumentar la latitud, lo que coincide con el comportamiento de recurvamiento al entrar a zonas de latitudes medias (como se observa en los Mapas 3 a 6).



Impacto del huracán Isidore en la zona del Caribe/Fotografía Associated Press



Dirección de translación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte (1851-2000)



Mapa 27. Dirección de translación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte (1851-2000)

En el mapa se muestra el promedio o la media, representada como una flecha dentro de cada círculo, y la variabilidad, representada en conos que parten de la flecha, de la dirección de traslación para ciclones tropicales en el Pacífico nororiental y que significa la variabilidad existente para pronosticar la trayectoria futura. En este caso se observa claramente el comportamiento climatológico de las trayectorias antes percibido en los mapas de las trayectorias por década en el Pacífico nororiental y el de las trayectorias por mes. Las trayectorias tienden a ser casi paralelas al litoral del Pacífico mexicano.

Dichos valores de dirección fueron obtenidos al calcular la media y su desviación estándar de las direcciones de traslación de aquellos ciclones tropicales que han cruzado (mínimo tres), dentro del periodo de años establecido, por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

En el Pacífico, la dirección predominante sobre la línea de costa también es hacia tierra, pero sin lograr la perpendicularidad que se observa en la cuenca del Atlántico (ver Mapa 27). En combinación con las significativas profundidades del mar cerca de la costa, esto indica una baja probabilidad de mareas de tormenta de gran magnitud. Desde el punto de vista de precipitación pluvial magnificada por orografía, la incidencia oblicua a los ejes de las sierras probablemente reduce la precipitación a la derecha de la trayectoria; sin embargo, aumenta el área sujeta a precipitaciones significativas (pues los ciclones toman mayor distancia en disiparse que si incidieran perpendicularmente a los ejes serranos).

Se observa en la lámina, que la tendencia general de la media de la dirección de traslación de los ciclones tropicales es hacia el noroeste, y que su variabilidad se vuelve muy grande en casos aislados, como lo es frente a las costas de Baja California, de Sinaloa a la

altura de los 24° latitud norte, de Chiapas y de Guerrero, y también tierra adentro del estado de Jalisco.

Donde la dirección de traslación no sufre gran variabilidad, es en las latitudes bajas (del orden de los 10°, 11° latitud norte), y también cuanto más alejada se encuentre la trayectoria del ciclón tropical de la costa de México, ya que la tendencia de los ciclones tropicales es la de dirigirse hacia el oeste.

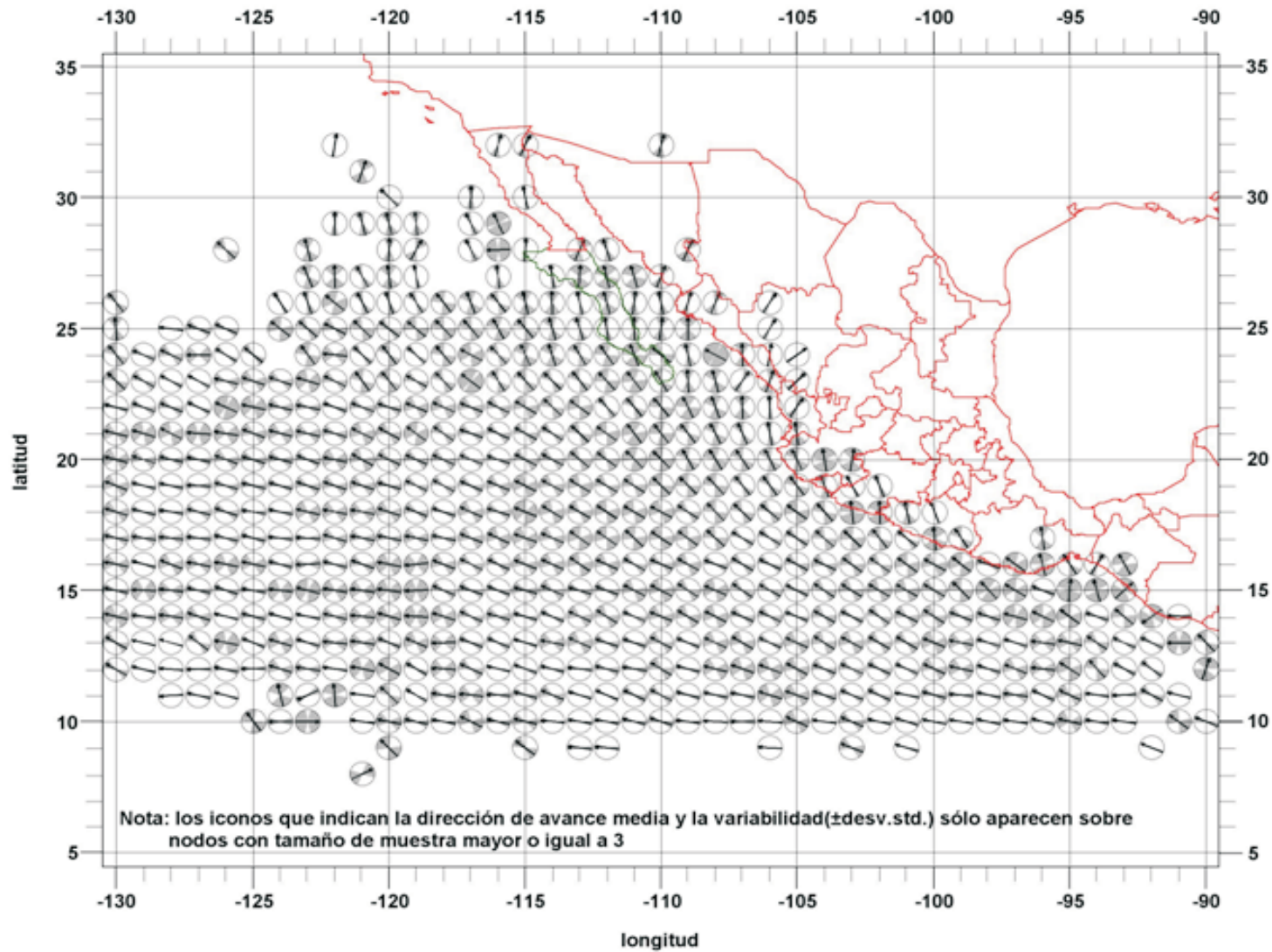
También se observa, según la media de la dirección de traslación, que los ciclones tropicales pueden penetrar a tierra desde el estado de Chiapas hasta Sinaloa y Baja California Sur, y esporádicamente

pueden penetrar Sonora y hasta el extremo norte de Baja California, como fue el caso del huracán Juliette en el año 2001 que afectó Los Cabos en Baja California Sur, Sonora, y posteriormente a Tecate en Baja California.

De acuerdo con la lámina, los ciclones tropicales en el Pacífico, mientras más cercanos se encuentren de las costas de México, existe más posibilidad de que recurven en dirección de las manecillas del reloj (como se observa en los Mapas 3 a 6), y se adentren, tarde o temprano, por completo a territorio mexicano. Dicho recurvamiento afecta principalmente al estado de Sinaloa.



Impacto del huracán Kenna en los estados de Colima, Jalisco y Nayarit, noviembre de 2002/Fotografía Associated Press



Mapa 28. Dirección de translación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Pacífico nororiental (1949-2000)

La media de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que se han presentado en el océano Atlántico para un periodo de 150 años (1851 al 2000), se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos con el mismo valor, denominadas isolíneas, y se observa que no existe un marcado contraste para la velocidad de traslación en cuanto a su distribución geográfica.

Los valores de la media de las velocidades fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y obtener la media de sus velocidades de traslación. Las isolíneas delimitan zonas en color azul, y se observa que los máximos valores de la media de la velocidad de traslación se presentan cuando los ciclones tropicales penetran a tierra. Es decir, que en promedio, el ciclón tropical acelera su velocidad de traslación cuando toca los estados del centro y noreste del territorio nacional, con un aumento de algo más que 20 km/h.

Se observa también, que la media de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales en la península de Yucatán se mantiene constante, lo que quiere decir que no sufre cambios aun cuando cruza dicha península.

Se puede hablar que para México la media de la velocidad de traslación en el Atlántico es del orden de los 16 km/h; además de que las velocidades de traslación son similares a las del Pacífico nororiental (ver Mapa 30). Posteriormente se muestra el efecto de la dispersión de los datos, medida a través de la desviación estándar, y su efecto en el valor que puede tomar la velocidad de traslación (Mapas 35a y 38).

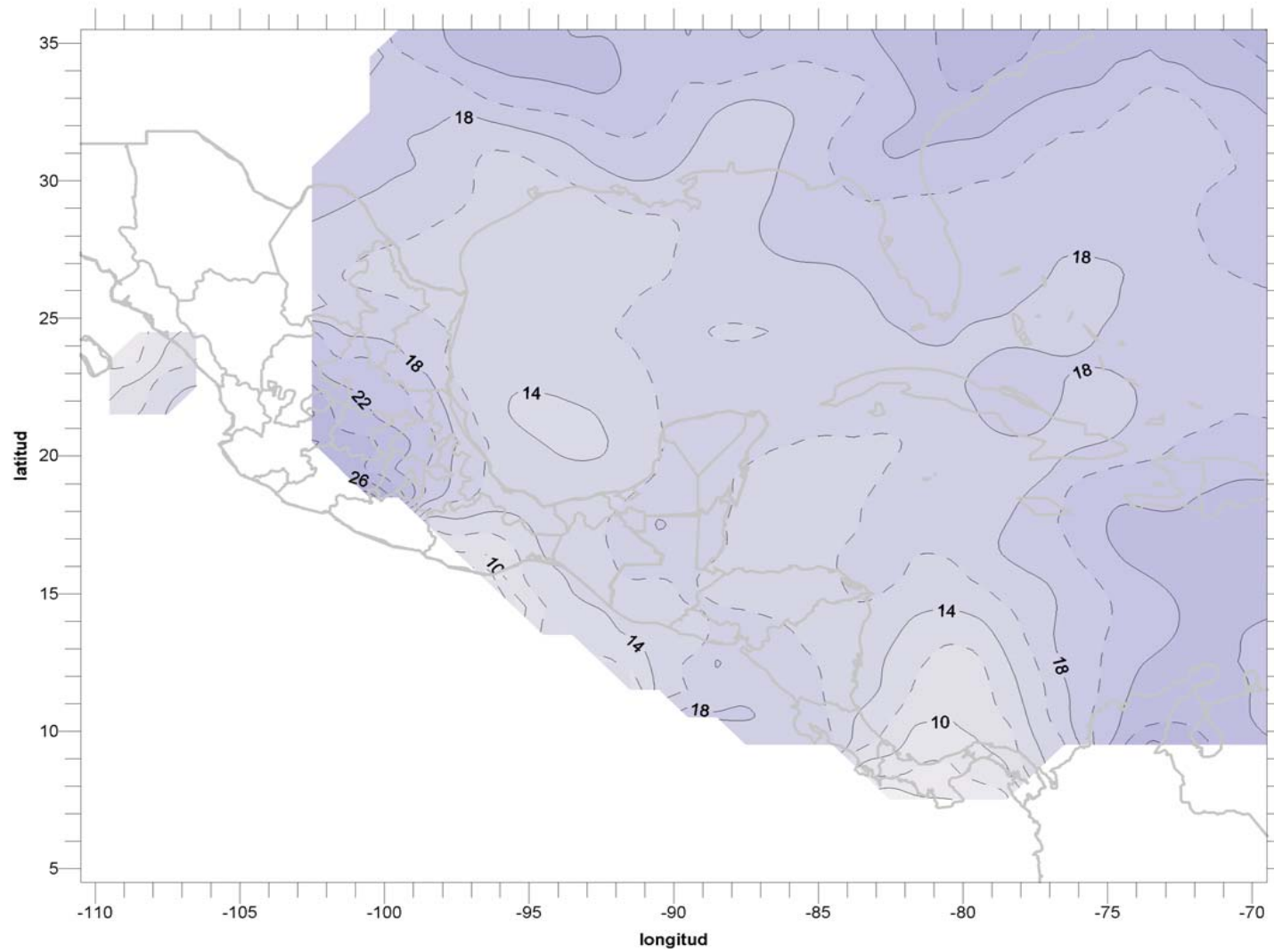
El conocimiento de los valores de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales permite a las autoridades de Protección Civil hacer una estimación

del tiempo de llegada, en caso de que éste se dirija a la costa. Con base a lo anterior, es posible establecer los rangos de alertamiento a la población.

Dicha información es tomada en cuenta por el Sistema de Alerta Temprana (SIAT), de la Secretaría de Gobernación, para el alertamiento por ciclones tropicales, el cual considera una velocidad de traslación de 20 km/h para estar del lado de la seguridad.



Impacto del huracán Kenna en los estados de Colima, Jalisco y Nayarit, noviembre de 2002/Fotografía Associated Press



Mapa 29. Media de la velocidad de translación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

La media de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que se han presentado por el océano Pacífico para un periodo de 52 años (1949 al 2000), se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos con el mismo valor, denominadas isolíneas. Se observa que no existe un contraste marcado para la velocidad de traslación en cuanto a su distribución geográfica.

Los valores de la media de las velocidades fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y obtener la media de sus velocidades de traslación. Las isolíneas delimitan zonas en color azul y se observa que los máximos valores de la media de la velocidad de traslación se presentan cuando los ciclones tropicales penetran a tierra. Es decir, que en promedio, el ciclón tropical acelera su velocidad de traslación cuando toca los estados al norte del territorio nacional, específicamente los estados de Sonora, Sinaloa y los que hacen frontera con éstos. Probablemente este incremento se debe a que los ciclones tropicales ya han recurvado sobre la Sierra Madre Occidental. Posteriormente se muestra el efecto de la dispersión de los datos, medida a través de la desviación estándar, y su efecto en el valor que puede tomar la velocidad de traslación (Mapas 36 a 38).

Se observa también, que en general para México, la media de la velocidad de traslación en el Pacífico es del orden de los 16 km/h, similar a la del Atlántico norte (ver Mapa 29); sin embargo, para la región de Baja California Sur, la media de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales, dentro de la Península, es entre los 18 km/h y los 20 km/h, y para la región de Baja California, entre los 20 km/h y los 22 km/h. Esto se debe a que los ciclones tropicales recurvan en el noroeste de México.

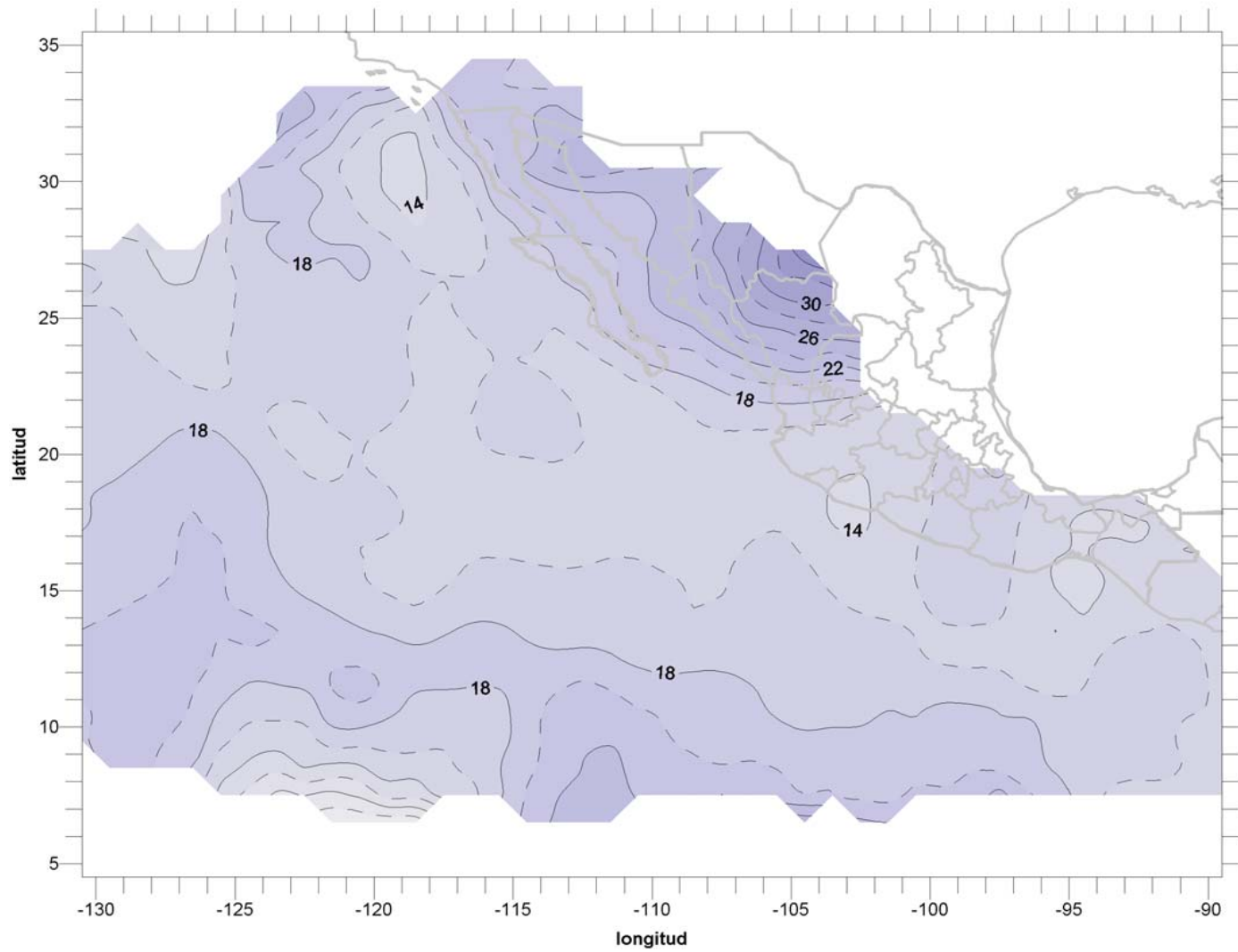
El conocimiento de los valores de la velocidad de

traslación de los ciclones tropicales permite a las autoridades de Protección Civil hacer una estimación del tiempo de llegada, en caso de que éste se dirija a la costa. Con base a lo anterior, es posible establecer los rangos de alertamiento a la población.

Dicha información es tomada en cuenta por el Sistema de Alerta Temprana (SIAT), de la Secretaría de Gobernación, para el alertamiento por ciclones tropicales, el cual considera una velocidad de traslación de 20 km/h para estar del lado de la seguridad.



Impacto del huracán Kenna en los estados de Colima, Jalisco y Nayarit, noviembre de 2002/Fotografía Associated Press



Mapa 30. Media de la velocidad de translación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 2$)

La velocidad de traslación máxima de los ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico para un periodo de 150 años, se muestra en la lámina como líneas con puntos de igual valor llamadas isolíneas, donde aparece en zonas azul profundo aquellos máximos mayores de 35 km/h, y en azul pálido, los que son menores a esta velocidad.

Los valores de la velocidad de traslación máxima fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y al obtener el máximo que se ha presentado de las velocidades de traslación de estos ciclones. En este caso, la cobertura de regiones con datos, es mayor que las de los mapas de la media de la velocidad de traslación, pues aquí se presentan datos con tan solo un ciclón sobre el sitio.

Naturalmente, las velocidades de traslación máximas que se han presentado tienen una distribución espacial mucho más variada y más caótica que la media de la velocidad de traslación, debido a que sólo representan al más veloz de los ciclones que se ha presentado en cada celda, lo cual los hace eventos totalmente independientes.

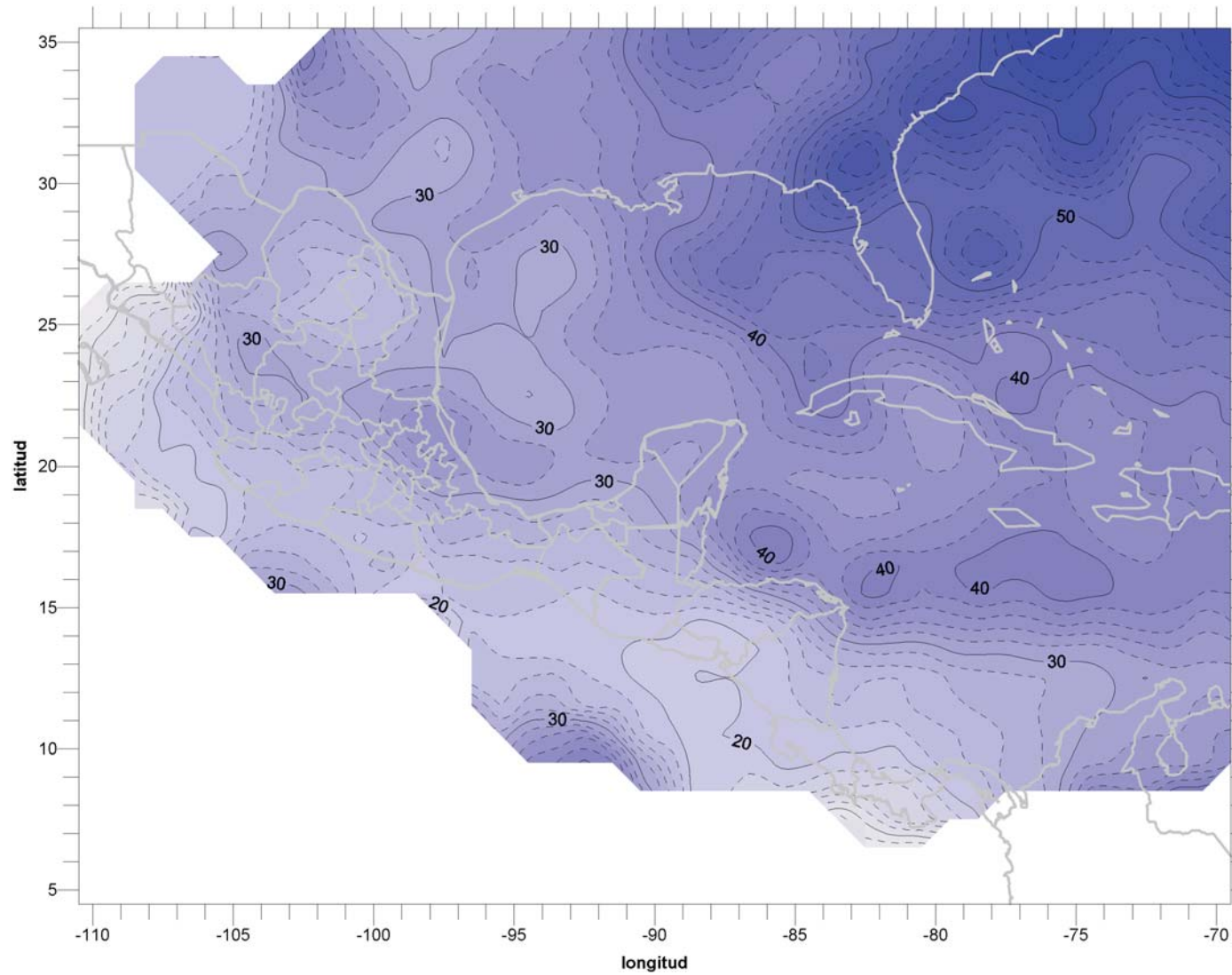
Se observa que la zona con los valores más grandes de la velocidad de traslación máxima se ubica dentro de la península de Florida con 58 km/h. En tierras y aguas mexicanas, las máximas andan en el orden de 30 a 38 km/h. El valor más grande del máximo se ubica en el mar Caribe, entre Honduras, Guatemala, Belice y el estado de Quintana Roo, con 38 km/h, y existe otro valor sobre tierra, al sur de Veracruz con 34 km/h. Esto quiere decir que existe la posibilidad de que un ciclón tropical se aproxime con rapidez inusual a las costas veracruzanas, con una velocidad de traslación equivalente a la media de la velocidad de traslación en esa zona (ver Mapa 29), por lo que se

deben contemplar medidas eficaces y oportunas de alerta y evacuación.

Se debe aclarar que las máximas que se ilustran en esta lámina son producto del análisis de los ciclones tropicales que presentaron una condición extraordinaria en su velocidad de traslación, por lo que no representan una situación general de esta característica, sino que se debe considerar como uno de los escenarios más desfavorables y peligrosos de la ocurrencia de ciclones tropicales dentro del riesgo al que están sujetas las poblaciones. Además de ser desfavorables, son velocidades poco frecuentes.



Impacto del huracán Kenna en los estados de Colima, Jalisco y Nayarit, noviembre de 2002/Fotografía Associated Press



Mapa 31. Máxima velocidad de translación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000

La velocidad de traslación máxima de los ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico para un periodo de 52 años, se muestra en la lámina como líneas con puntos de igual valor llamadas isolíneas, donde aparece en zonas azul intenso aquellos máximos mayores de 35 km/h y, en azul pálido, los que son menores a esta velocidad.

Los valores de velocidad de traslación máxima fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y al obtener el máximo que se ha presentado de las velocidades de traslación de estos ciclones. La cobertura con datos en este tipo de mapas es mayor pues se presentan aún en celdas con un solo ciclón tropical.

Naturalmente, las velocidades de traslación máximas que se han presentado tienen una distribución espacial más variada y más caótica (aunque menos que en el Atlántico), que la media de la velocidad de traslación para los ciclones tropicales en el Pacífico, debido a que sólo representan al más veloz de los ciclones que se ha presentado en cada celda, lo cual los hace eventos totalmente independientes.

En primer lugar se puede observar sobre el mar, en la región de las trayectorias típicas (ver Mapa 12), que las velocidades de traslación máximas van de los 30 a los 34 km/h.

También se puede observar que los ciclones que inciden sobre la costa sur de México tienden a tener velocidades máximas significativamente menores que las que se presentan en el noroeste de México, aunque sobre el mar, al oeste de Baja California sobre aguas frías, las velocidades máximas vuelven a disminuir.

La lámina muestra que la zona con los valores más grandes de la velocidad de traslación máxima se ubica

dentro del mar de Cortés con 42 km/h, aunque existe otra zona aledaña frente a las costas y en tierra del estado de Sinaloa con 40 km/h. Esto quiere decir que cabe la posibilidad de que un ciclón tropical se aproxime con rapidez inusual a las costas de Sinaloa y Baja California Sur, con una velocidad de traslación equivalente al doble de la media de la velocidad de traslación en esa zona (ver Mapa 30), por lo que se deben contemplar medidas eficaces y oportunas de alerta y evacuación.

Las velocidades de traslación máximas en la cuenca del Pacífico tienden a ser algo menores que las correspondientes en la cuenca Atlántico (ver Mapa 31).

Se debe aclarar que las máximas que se ilustran en esta lámina son producto del análisis de los ciclones tropicales que presentaron una condición extraordinaria en su velocidad de traslación por lo que no representan una situación general de esta característica, sino que se debe considerar como uno de los escenarios más desfavorables de la ocurrencia de ciclones tropicales dentro del riesgo al que están sujetas las poblaciones. Además de ser desfavorables, son velocidades poco frecuentes.

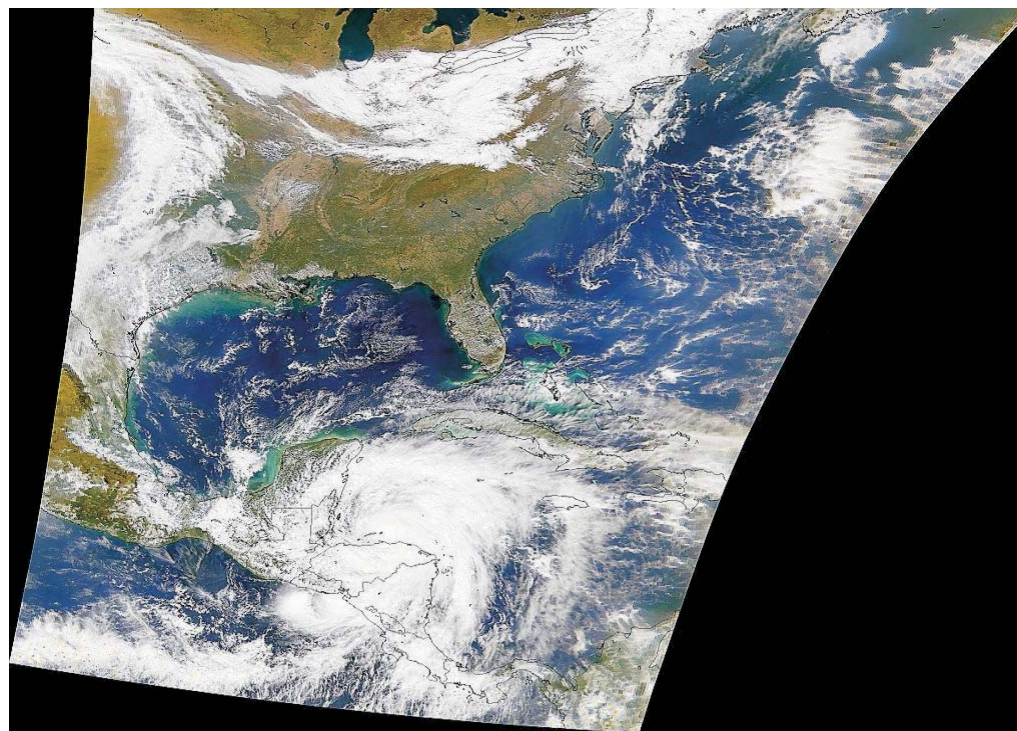
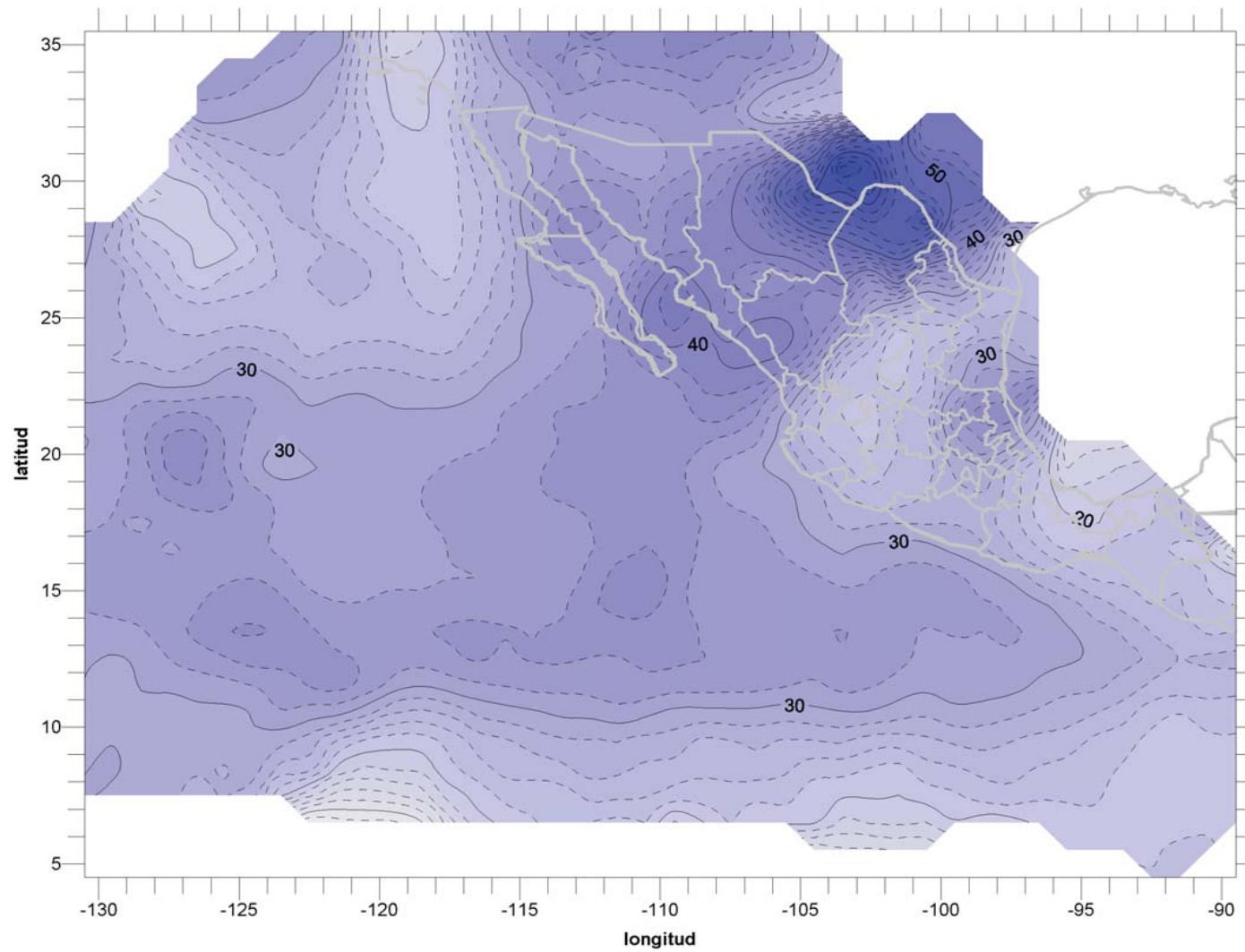


Imagen que nos muestra al huracán Mitch, octubre de 1998



Mapa 32. Máxima velocidad de translación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000

La velocidad de traslación mínima para los ciclones tropicales que se han presentado en el Atlántico en un periodo de 150 años, se encuentra representada en el mapa como líneas con puntos de igual valor llamadas isolíneas, las cuales delimitan zonas en color azul.

Los valores de velocidad de traslación mínima fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y al obtener el mínimo de las velocidades de traslación de estos ciclones. En este caso, la cobertura de regiones con datos, es mayor que las de los mapas de la media de la velocidad de traslación, pues aquí se presentan datos con tan sólo un ciclón sobre el sitio. También se sugiere tomar en cuenta que en aquellos casos en que el ciclón haya tenido una velocidad de traslación nula, es decir, que permanece estático por un tiempo, el algoritmo de generación de isolíneas suaviza entre varios casos cercanos, y por ello, el mínimo aparente es ligeramente mayor que cero en todos lados.

Se observa que algunas de las zonas con los valores más pequeños de la velocidad de traslación mínima se ubican dentro del golfo de México, frente al estado de Veracruz con velocidades del orden de 4 y 6 km/h, y en el mar Caribe, frente al estado de Quintana Roo, con 4 km/h, aunque al entrar a tierra estas velocidades bajas no se pueden mantener y tienden a ser bastante mayores. Esto quiere decir que cabe la posibilidad de que un ciclón tropical se aproxime con una velocidad de traslación muy baja, inusual, a las costas orientales de México, equivalente a casi cuatro veces menor que la media de la velocidad de traslación en esa zona (ver Mapa 29), por lo que se deben contemplar posibles estancias largas de la población evacuada en los albergues temporales.

Cabe señalar, que la zona de velocidad de traslación mínima frente a Belice y al estado de Quintana Roo (a

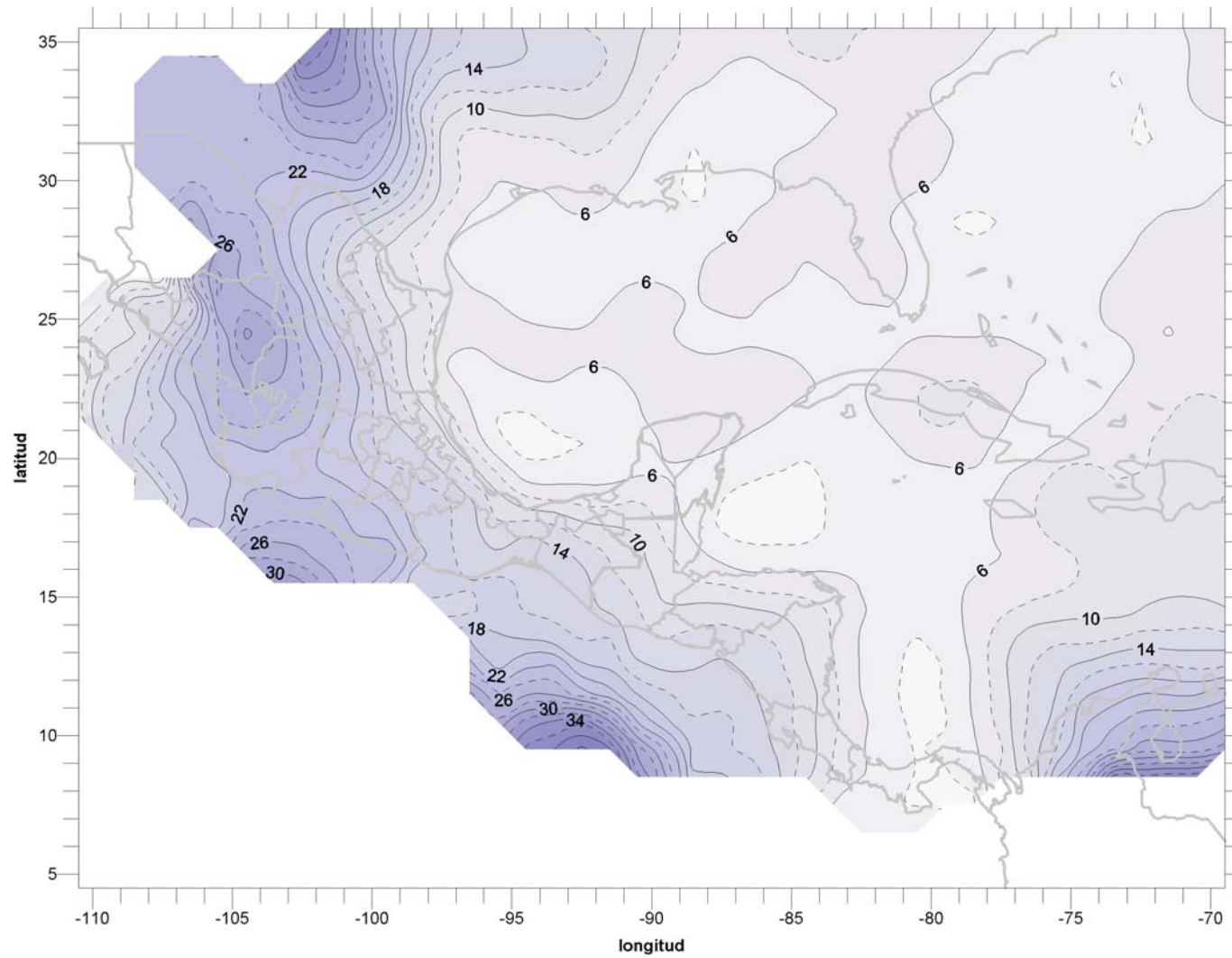
la altura de Chetumal), coincide con la zona del máximo decremento de la velocidad de vientos máximos sostenidos (ver Mapa 25). Esta coincidencia podría ser un tema de estudio para analizar lo que ocurre en esa zona.

Se debe aclarar que los mínimos que se ilustran en esta lámina son producto del análisis de los ciclones tropicales que presentaron una condición extraordinaria en su velocidad de traslación, por lo que no representan una situación general de esta característica, sino que se debe considerar como uno de los escenarios más

desfavorables en la ocurrencia de ciclones tropicales dentro del riesgo al que están sujetas las poblaciones, dado que la precipitación y el oleaje pueden ser importantes. En el caso de la lluvia, debido a que la actividad convectiva dura más tiempo, propiciando lluvias abundantes sobre una misma zona y en el caso del oleaje, debido a que éste puede persistir durante intervalos largos de tiempo sobre la misma zona costera, y con ello producir fuertes erosiones e inundaciones.



Árbol arrancado desde su raíz por los vientos del huracán Isidore en Yucatán/Fotografía Associated Press



Mapa 33. *Mínima velocidad de translación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000*

La mínima velocidad de traslación para los ciclones tropicales que se han presentado en el Pacífico en un periodo de 52 años, se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos de igual valor llamadas isolíneas, las cuales delimitan zonas en color azul.

Los valores de velocidad de traslación mínima fueron obtenidos al analizar los ciclones tropicales que cruzan por cada celda de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción), y al obtener el mínimo de las velocidades de traslación de estos ciclones.

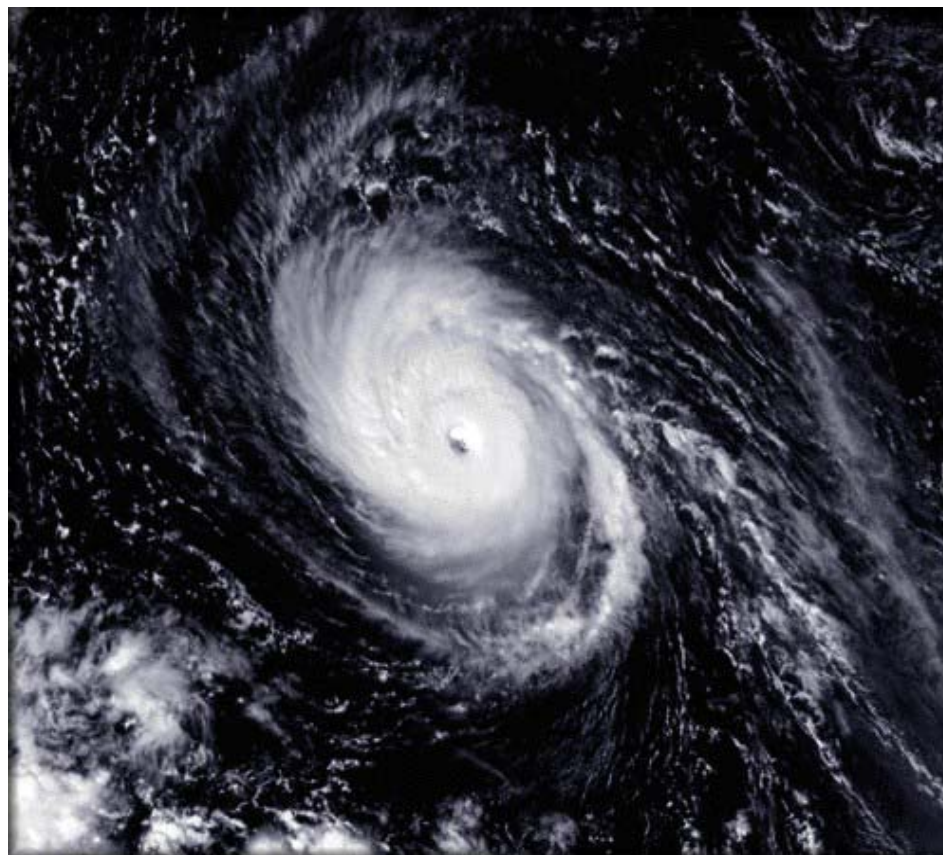
En primer lugar, se observa que sobre el mar, en la región de las trayectorias típicas (ver Mapa 12), las velocidades de traslación mínimas van de los 4 a los 6 km/h, similares a las correspondientes del Atlántico (ver Mapa 33).

También se puede apreciar que las zonas con los valores más pequeños de la velocidad de traslación mínima se ubican dentro las aguas del Pacífico, con 4 km/h, donde tres de estas zonas se encuentran frente a las costas de México, muy cercanas a Los Cabos, en Baja California Sur y a las costas de Jalisco y Michoacán. Esto quiere decir que cabe la posibilidad de que un ciclón tropical se aproxime a las costas del occidente de México, con una velocidad de traslación inusualmente baja, equivalente a cuatro veces menor que la media de la velocidad de traslación en esa zona (ver Mapa 30), por lo que se deben contemplar posibles estancias largas de la población evacuada en los albergues temporales.

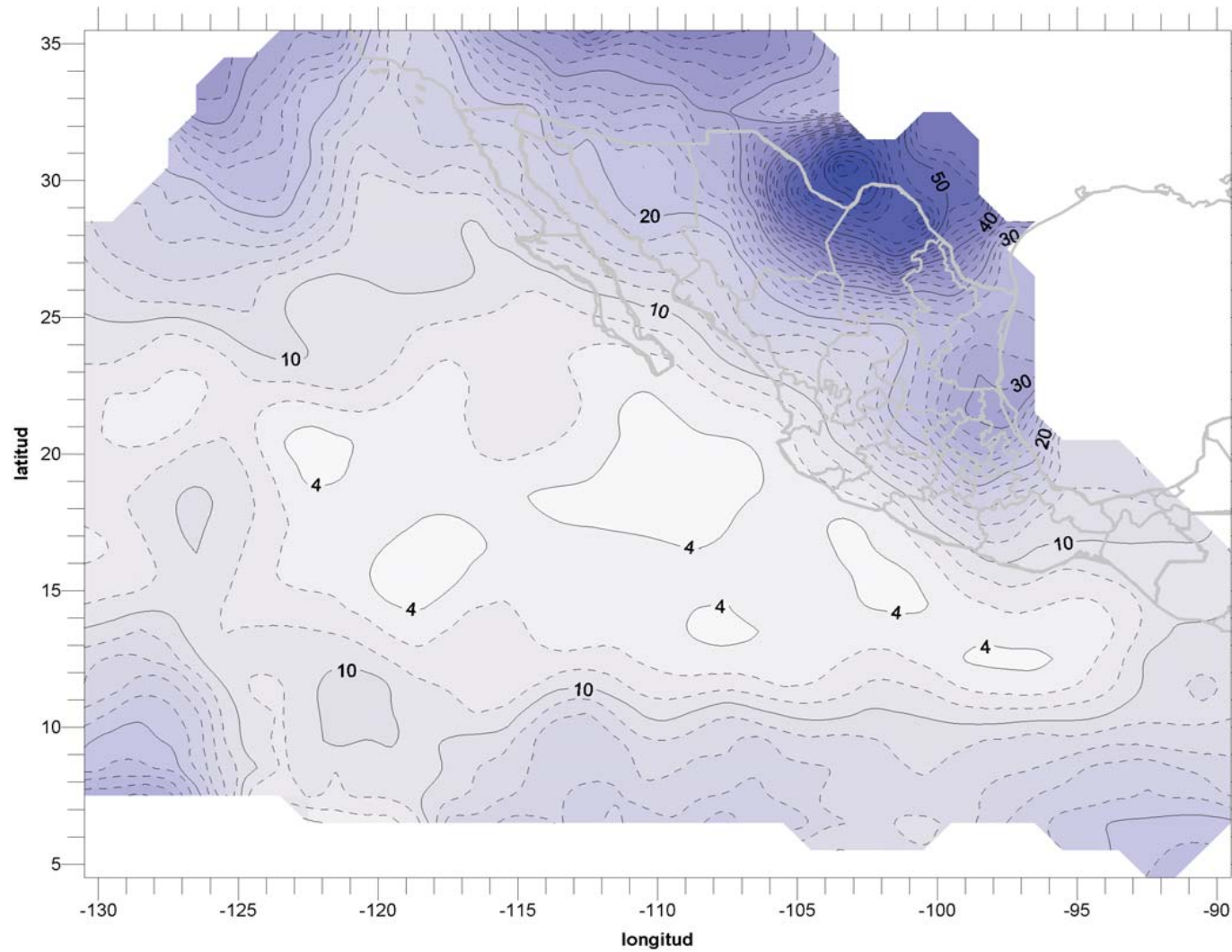
En contraste con el mapa de la velocidad de traslación máxima, en este caso la diferencia entre el sur y el noroeste de México es mucho menos marcada. Sólo aquellos (muy pocos) ciclones que continúan después de recurvar hasta la frontera con los E. U. A., sobre Texas, presentan velocidades mínimas mucho más altas.

Se debe aclarar que los mínimos que se ilustran en esta lámina son producto del análisis de los ciclones tropicales que presentaron una condición extraordinaria en su velocidad de traslación, por lo que no representan una situación general de esta característica, sino que se debe considerar como uno de los escenarios más desfavorables en la ocurrencia de ciclones tropicales dentro del riesgo al que están sujetas las poblaciones,

dado que la precipitación y el oleaje pueden ser importantes. En el caso de la lluvia, debido a que la actividad convectiva dura más tiempo, propiciando lluvias abundantes sobre una misma zona y en el caso del oleaje, debido a que éste puede persistir su acción sobre la misma zona costera durante largos intervalos y con ello incrementar su efecto erosivo.



En la imagen se aprecia la imagen de un huracán, captada por un satélite meteorológico el 28 de septiembre de 2000 en el Atlántico tropical. Se advierte la presencia de un ojo, y la típicas bandas de nubosidad en forma de espiral.



Mapa 34. Mínima velocidad de translación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000

La media más la desviación estándar de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que se han presentado en el océano Atlántico en un periodo de 150 años, se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos de igual valor conocidas como isolíneas. Se observa una distribución similar a la del mapa de la media de la velocidad de traslación (Mapa 29).

Los valores de la media más la desviación estándar de la velocidad de traslación, fueron obtenidos mediante un análisis estadístico de los datos de velocidad de traslación para obtener la media y la desviación estándar (ver introducción), y sumar ambos parámetros, de aquellos ciclones que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

La suma de ambos parámetros permite obtener la cota superior de los valores más probables de la velocidad de traslación que pudieran presentarse en los ciclones tropicales del Atlántico, a diferencia de la lámina de los máximos de las velocidades de traslación, donde se analizaron los valores más grandes que se han presentado en el periodo estudiado, pero que son los menos frecuentes.

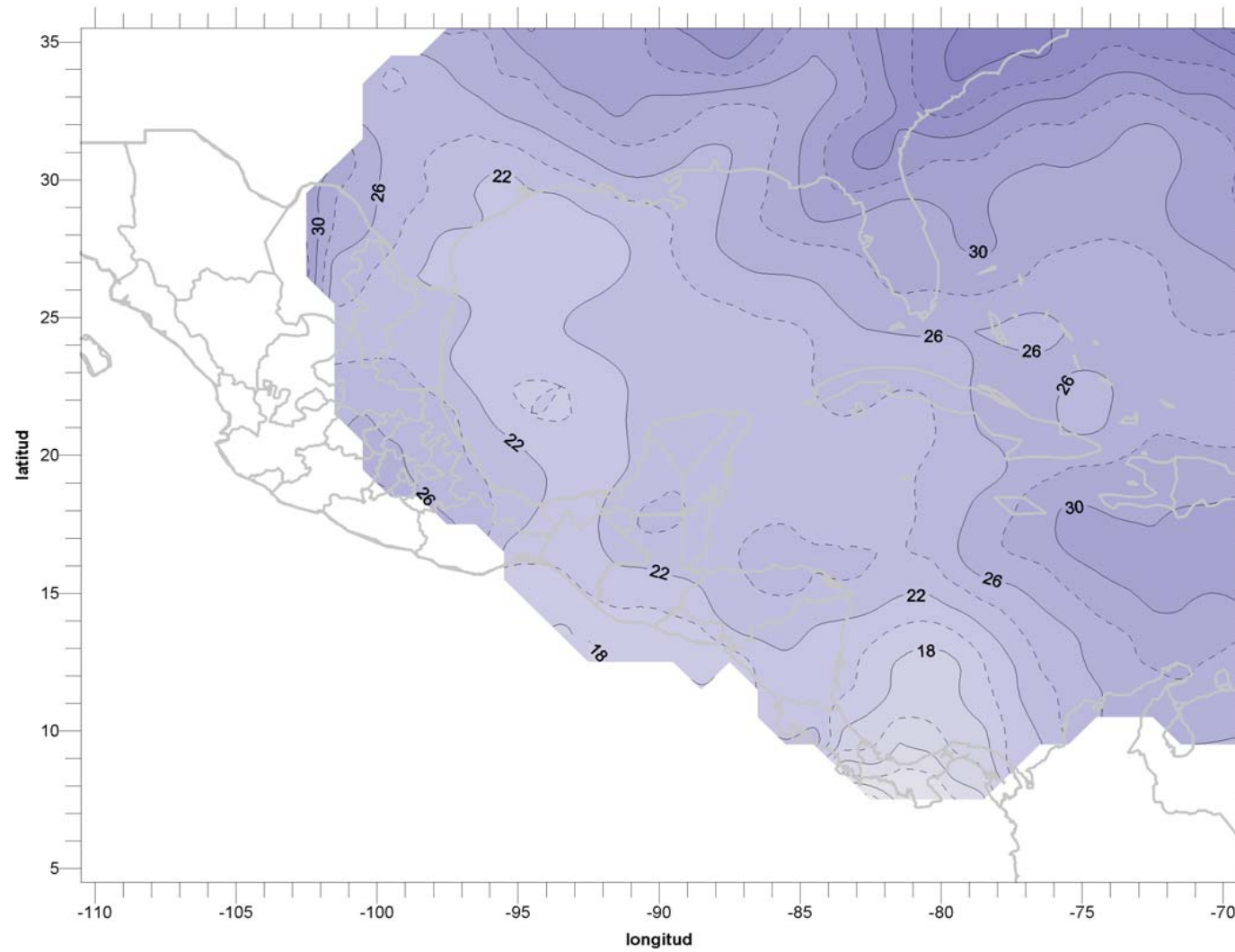
El mapa muestra las velocidades de traslación mayores al promedio, sin llegar a los casos extremos. Los valores más grandes aparecen en zonas de color azul profundo (mayores a los 30 km/h), y se observa que ninguna de éstas se encuentra cercana a las costas de México. Las velocidades de traslación más altas que probablemente pudieran presentarse, según la lámina, serían del orden de los 22 a 24 km/h al entrar a tierra (este último valor en un área muy pequeña), con un incremento de velocidad en la medida que se va adentrando el ciclón tropical a tierra. Esto muy probablemente se debe a la presencia de las barreras montañosas, a excepción de la península de

Yucatán, donde la velocidad de traslación de un ciclón tropical no aumenta significativamente.

En otras palabras, se puede decir que para el Atlántico de México, aproximadamente un 84% de los ciclones tienen una velocidad de traslación igual o menor que unos 22 km/h.



Imagen desde un satélite donde se aprecia la composición de un huracán



Mapa 35. Media más desviación estándar de la velocidad de translación [km/h] en el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 4$)

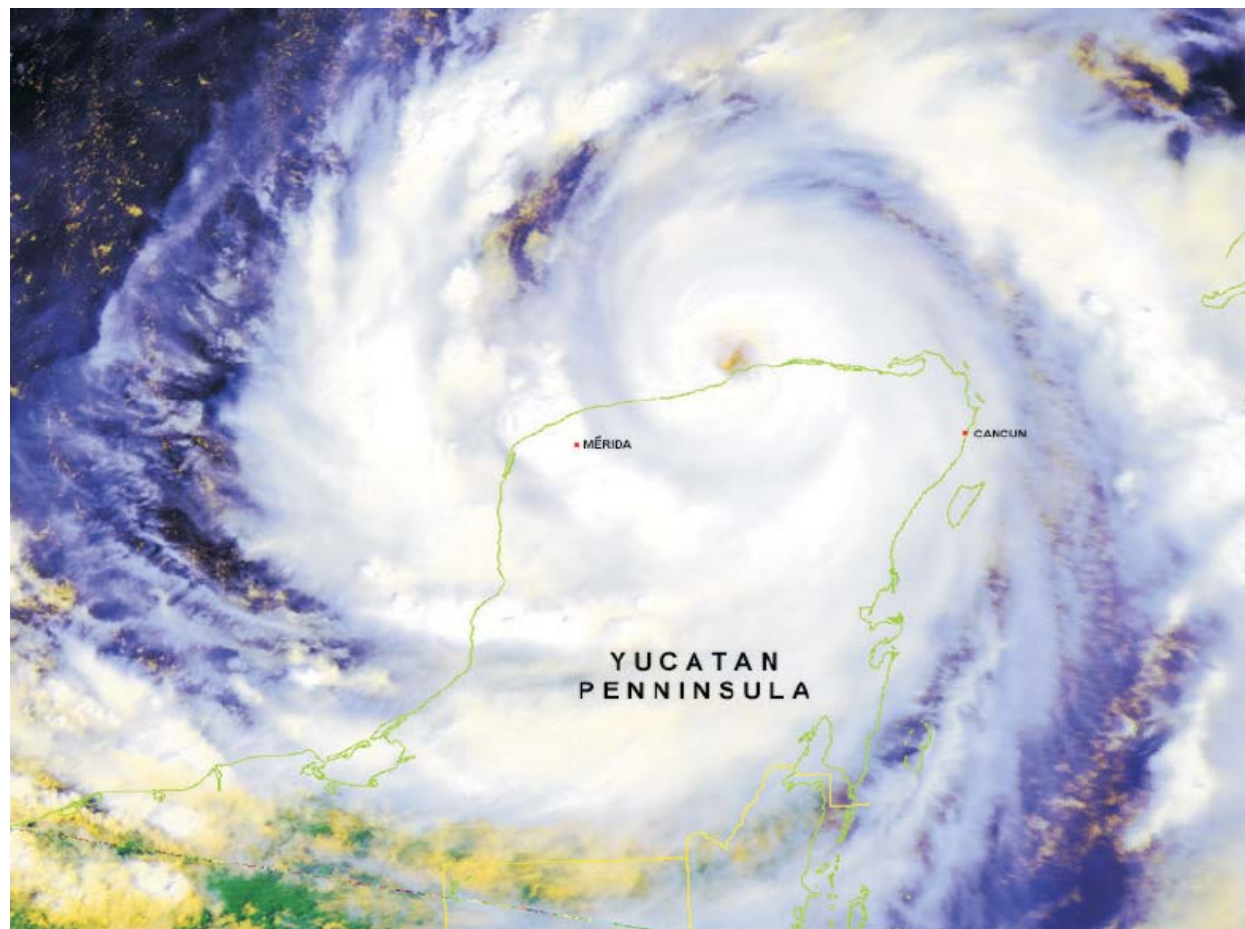
La media más la desviación estándar de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que se han presentado en el océano Pacífico en un periodo de 52 años, se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos de igual valor conocidas como isolíneas. Se observa una distribución similar a la del mapa de la media de la velocidad de traslación para el Pacífico (Mapa 30), sin grandes contrastes y la estadística resulta similar a la correspondiente en el Atlántico norte (ver Mapa 35).

Los valores de la media más la desviación estándar de la velocidad de traslación, fueron obtenidos mediante un análisis estadístico de los datos de velocidad de traslación para obtener la media y la desviación estándar, y sumar ambos parámetros, de aquellos ciclones que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

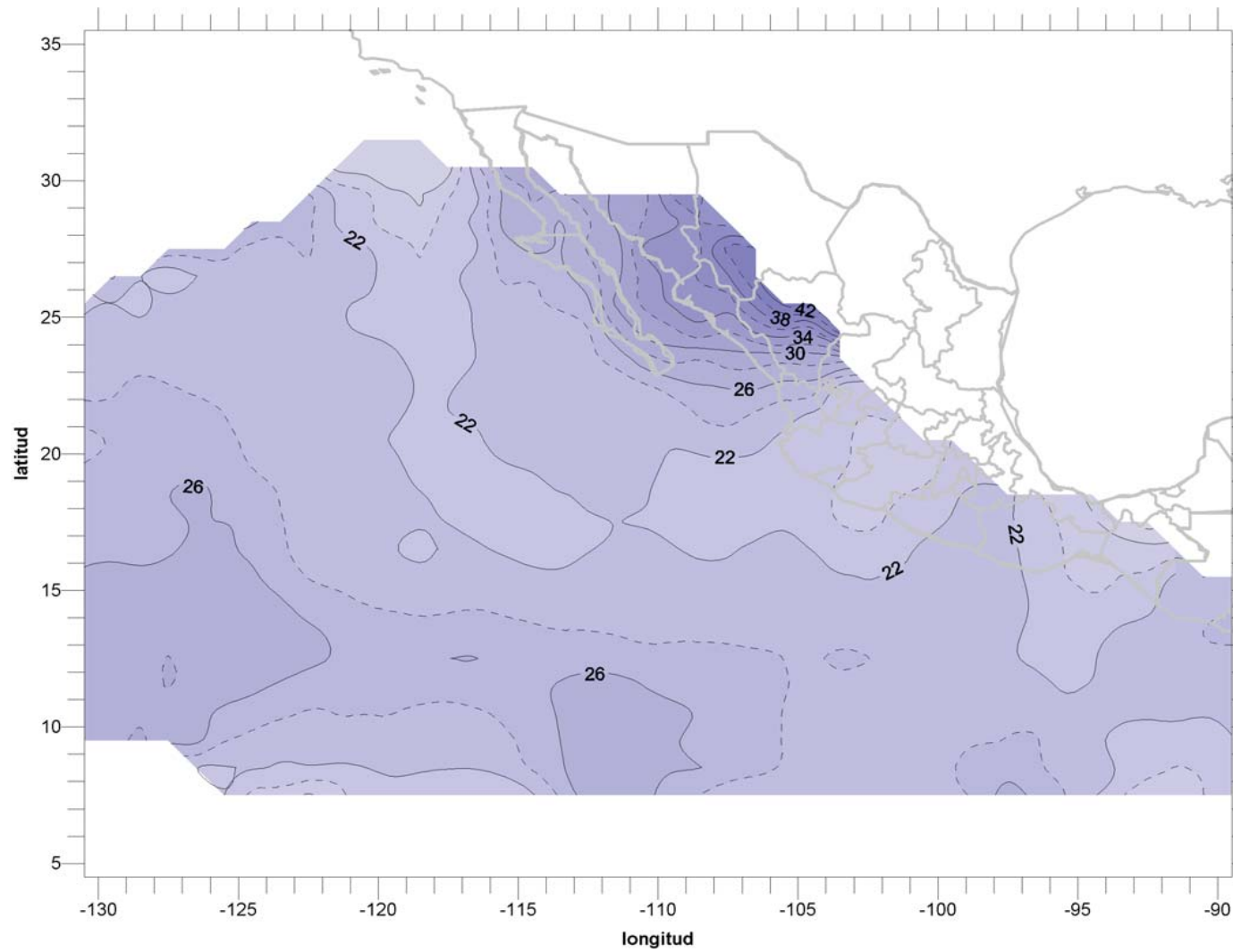
La suma de ambos parámetros permite obtener la cota superior de los valores más probables de la velocidad de traslación que pudieran presentarse en los ciclones tropicales del Pacífico, a diferencia de la lámina de los máximos de las velocidades de traslación, donde se plasmaron los valores más grandes que se han presentado en el periodo estudiado, pero que son los menos frecuentes.

El mapa muestra las velocidades de traslación mayores al promedio, sin llegar a los casos extremos. Los valores más grandes aparecen en la zona de color azul profundo (mayores a los 30 km/h), la cual se encuentra sobre el mar de Cortés y sobre tierra en los estados de Sonora, Sinaloa y en los límites con Chihuahua en la Sierra Madre Occidental. Las velocidades de traslación más altas que probablemente pudieran presentarse, según la lámina, serían del orden de los 34 km/h al entrar a tierra, con un incremento de velocidad en la medida que se va adentrando el ciclón tropical a tierra.

La velocidad de traslación en este caso aumenta al orden de unos 22 a 24 km/h. En otras palabras, se puede decir que para el Pacífico de México, aproximadamente un 84% de los ciclones tienen una velocidad de traslación igual o menor que unos 22 a 24 km/h.



El huracán Isidore afectó recientemente a la costa mexicana del Golfo de México (en 2002) y causó daños severos a las poblaciones de la península de Yucatán.



Mapa 36. Media más desviación estándar de la velocidad de translación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 4$)

La media menos la desviación estándar de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico en un periodo de 150 años, se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos de igual valor conocidas como isolíneas. Se observa una distribución similar a la de los mapas de la media de la velocidad de traslación (Mapa 29) y el de la media más la desviación estándar (Mapa 35).

Los valores de la media menos la desviación estándar de la velocidad de traslación, fueron obtenidos al analizar los datos de velocidad de traslación y obtener la media y la desviación estándar, y restar la desviación de la media, de aquellos ciclones que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud (ver introducción).

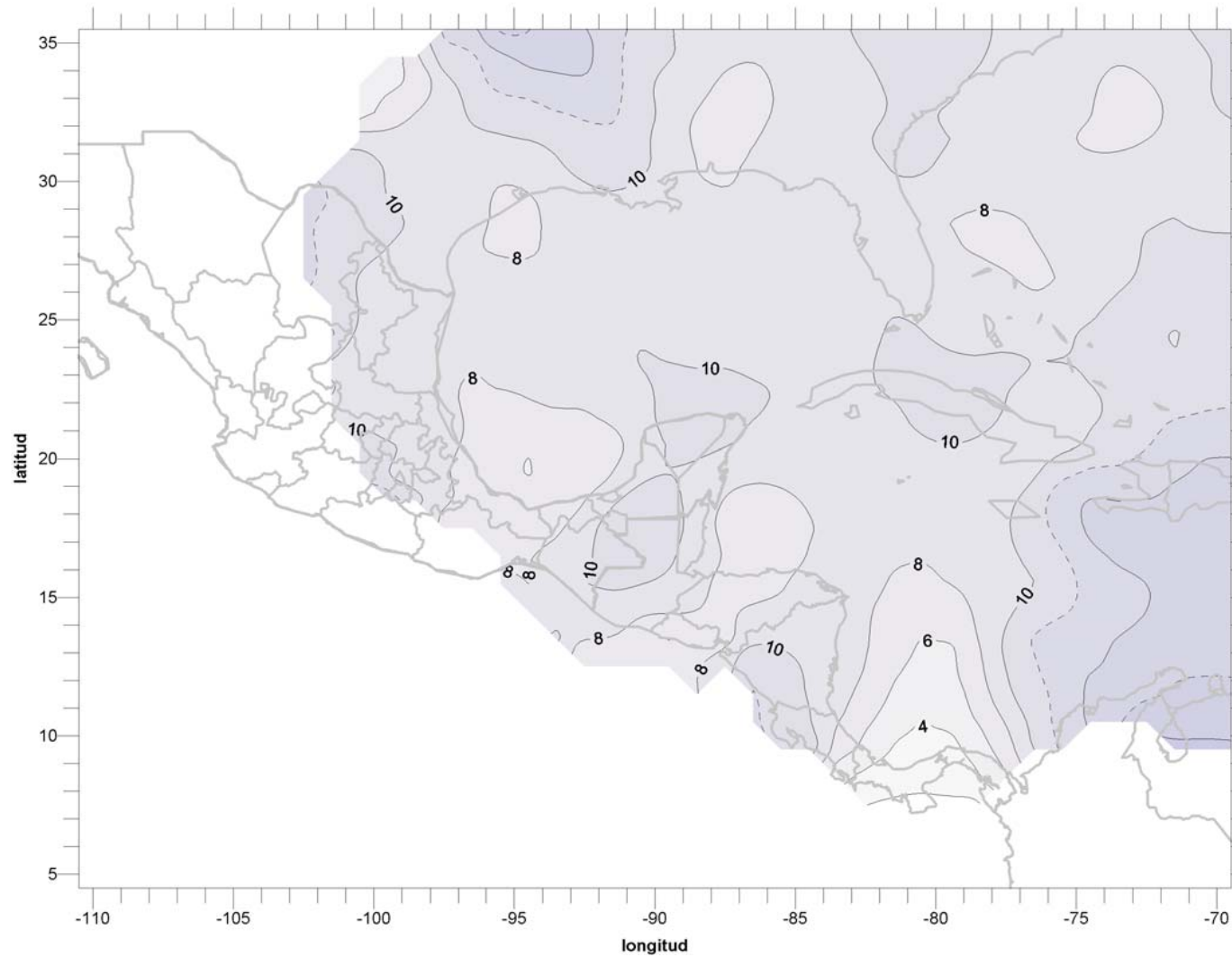
La diferencia de ambos parámetros permite obtener la cota inferior de los valores más probables de la velocidad de traslación que pudieran presentarse en los ciclones tropicales del Atlántico, a diferencia de la lámina de los mínimos de las velocidades de traslación, donde se plasmaron los valores más pequeños que se han presentado en el periodo estudiado, ya que son los menos frecuentes.

El mapa muestra las velocidades de traslación menores al promedio, sin llegar a los casos extremos. Los valores más pequeños aparecen en zonas de color azul pálido (menores que los 8 km/h), y se observa que algunas se encuentran cercanas a las costas de México, una frente a los estados de Veracruz y Campeche; otra frente a Belice y la ciudad de Chetumal en México.

La velocidad de traslación en este caso disminuye a unos 10 km/h. En otras palabras, se puede decir que para el Atlántico de México, aproximadamente 84% de los ciclones tienen una velocidad de traslación igual o mayor que unos 10 km/h.



Efecto de marea de tormenta debido al huracán Hugo en Charleston, Carolina del Sur.



Mapa 37. Media menos desviación estándar de la velocidad de translación [km/h] para el Atlántico de 1851 a 2000 (sólo zona con $n > 4$)

La media menos la desviación estándar de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales que se han presentado por el océano Pacífico en un periodo de 52 años, se encuentra representada en la lámina como líneas con puntos de igual valor conocidas como isolíneas. Se observa en el mapa una distribución similar a la de los mapas de la media de la velocidad de traslación y el de la media más la desviación estándar, sin grandes contrastes.

Los valores de la media menos la desviación estándar de la velocidad de traslación, fueron obtenidos al analizar los datos de velocidad de traslación y obtener la media y la desviación estándar (ver introducción), y restar la desviación de la media, de aquellos ciclones que han cruzado por celdas de 1° latitud por 1° longitud, dentro de una malla imaginaria que cubre parte del océano Pacífico y del continente (ver introducción).

La diferencia de ambos parámetros permite obtener la cota inferior de los valores más probables de la velocidad de traslación que pudieran presentarse en los ciclones tropicales del Pacífico, a diferencia de la lámina de los mínimos de las velocidades de traslación, donde se analizaron los valores más pequeños que se han presentado en el periodo estudiado y que son los menos frecuentes.

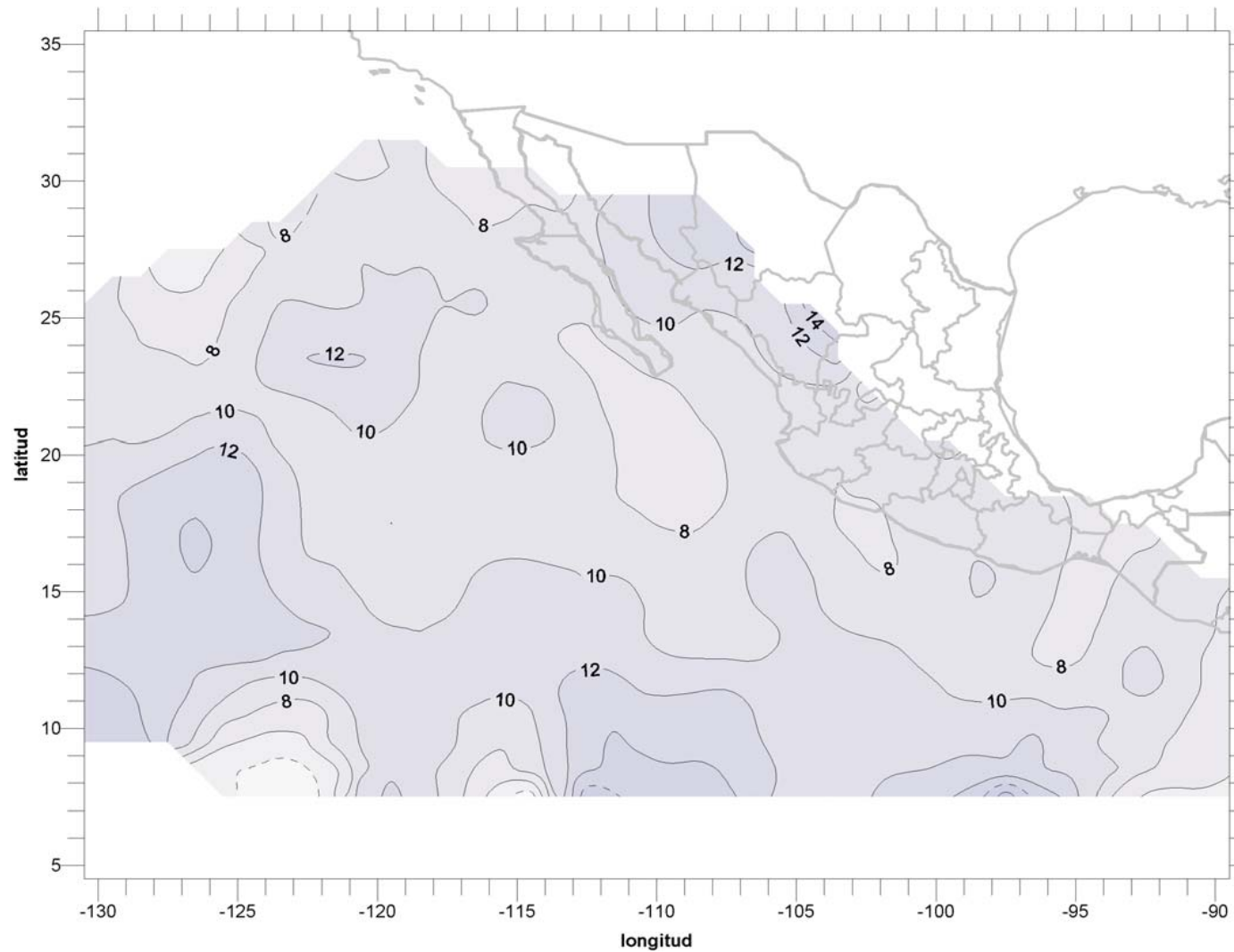
El mapa muestra las velocidades de traslación menores que el promedio, sin llegar a los casos extremos. Los valores más pequeños aparecen en zonas de color azul pálido (menores que los 8 km/h), las cuales se encuentran frente a las costas del sur de Baja California Sur del lado del Pacífico, frente a las costas de Jalisco y otra frente a los límites de Chiapas y Oaxaca.

La velocidad de traslación en este caso disminuye, en general, a unos 8 a 10 km/h. En otras palabras,

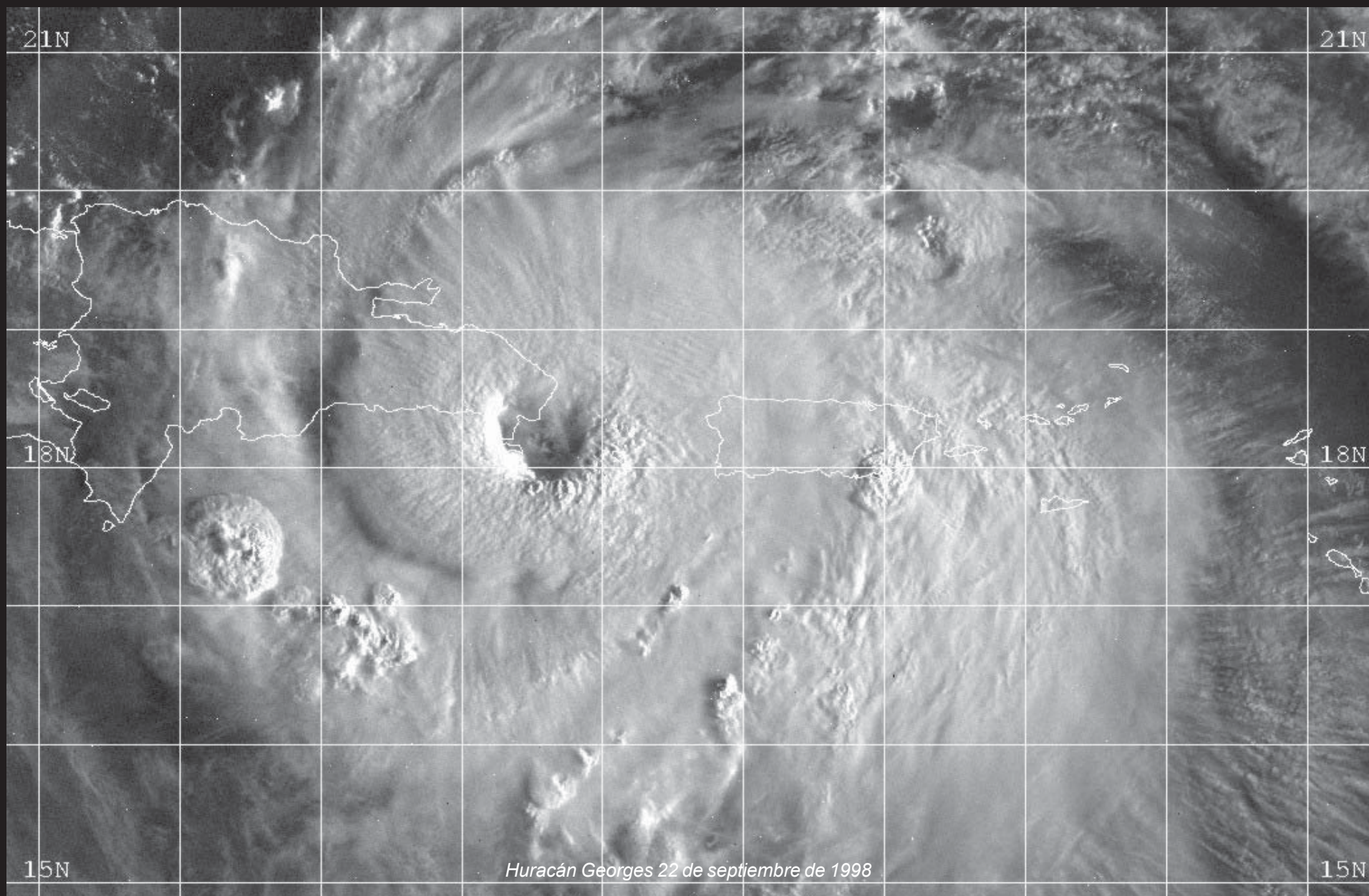
se puede decir que para el Pacífico de México, aproximadamente 84% de los ciclones tienen una velocidad de traslación igual o mayor que unos 8 a 10 km/h.



Nubes de tormenta/Fotografía NASA



Mapa 38. Media menos desviación estándar de la velocidad de translación [km/h] para el Pacífico de 1949 a 2000 (sólo zona con $n > 4$)





Glosario

Actividad convectiva (también circulación convectiva). Convección es una actividad natural en la atmósfera, producto de la transferencia vertical de calor entre masas de aire. La circulación convectiva se refiere al movimiento vertical del aire donde la masa de aire caliente, ubicada sobre la superficie, sube a las capas altas de la atmósfera expandiéndose y enfriándose, lo que provoca su descenso.

Bandas nubosas. Los fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor del centro de baja presión del ciclón, provocan que la gran masa de aire de éste se mueva en la misma dirección que los vientos. Justamente los desprendimientos de dicha masa al momento de girar son los que se denominan como bandas nubosas y su formación es más clara en la medida que el ciclón se ha desarrollado como huracán.

Campo de vientos. Es el patrón o distribución del viento dentro de la zona de influencia del ciclón tropical. Su conocimiento es útil, ya que permite estimar efectos en la población y sus bienes por vientos fuertes, además de oleaje y marea de tormenta.

Ciclón tropical. Es una gran masa de aire cálida y húmeda con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15° latitud, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26° C. Cuando éstos se ubican en el hemisferio norte, giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ciclones tropicales tienen un área casi circular con la presión más baja en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h.

Climatología. Rama de la meteorología que se relaciona con las características del tiempo a largo plazo (meses, años, décadas, etc.).

Depresión tropical. Etapa inicial de un ciclón tropical en la que aun no se le asigna un nombre. Sus vientos son menores que los 62 km/h (ver escala Saffir-Simpson).

Desviación estándar. Es una medida de la variabilidad de los valores de la muestra de datos. Bajo ciertas suposiciones comunes se puede considerar que el intervalo de valores entre la media menos la desviación estándar, como cota inferior, y la media más la desviación estándar, como cota superior, incluirá aproximadamente 2/3 de los casos en la muestra.

Dirección de traslación. Ángulo respecto al norte, que se mide en dirección de las manecillas del reloj (azimut) y que sirve como referencia al desplazamiento del ciclón tropical, de un punto a otro en su trayectoria.

El Niño. Condición anómala en la temperatura del océano en el Pacífico tropical. El Niño corresponde al estado climático en que la temperatura de la superficie del mar está 0.5° C o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como "Niño 3" (4° norte-4° sur, 150° oeste-90° oeste), la cual se encuentra a la altura de Perú. Los efectos que puede ocasionar en la naturaleza son de diversos tipos, causando daños importantes.

Escala Saffir-Simpson. Proporciona una escala potencial de daños relacionada con intensidades de huracanes. Fue creada por Herbert Saffir, ingeniero

consultor en Coral Gables, Florida, E. U., en 1971. Debido a su vasta experiencia en el estudio de daños por huracanes a edificios y vegetación en varias partes del mundo, se le pidió propusiera los requerimientos de carga por viento para el Código de Construcción del sur de Florida. Más tarde, la escala fue presentada al Centro Nacional de Huracanes en Miami, donde el director de aquella época, R. H. Simpson, agregó el criterio de daños por marea de tormenta a cada categoría de intensidades. La tabla de escalas fue publicada en 1974 por la revista *Weatherwise* en su artículo del mes de agosto y en un principio fue utilizada únicamente como guía para las agencias de ayuda por desastres. Su primera aparición en avisos públicos fue en 1975. La velocidad de viento determina la categoría del huracán; adicionalmente, se asigna la presión central y la marea de tormenta que corresponde a la magnitud de viento típica de cada intensidad del huracán. Fuente: <http://www.weatherwise.org>

Frecuencia. Número de repeticiones con que se presenta una variable.

Hectopascal. Unidad para medir la presión atmosférica. Su abreviación es [hPa] y equivale a 100 Pascales por unidad (1 hecto [h]=100); 1 hPa=1 mbar (ver milibar).

Huracán. Categoría que alcanza un ciclón tropical, con alto grado de destrucción, después de ser tormenta tropical. El huracán puede tener a su vez, 5 grados de intensidad con velocidades que varían entre los 118 y más de los 250 km/h (ver la escala de Saffir-Simpson).

Isolíneas. Son puntos con un mismo valor que se unen para trazar líneas que denotan un área de influencia

de ese valor en específico. Dependiendo del dato con que se esté trabajando, las isolíneas pueden cambiar de nombre, por ejemplo: líneas con valor constante de lluvia (isoyetas), líneas con valor constante del nivel de elevación (curvas de nivel), líneas con misma presión atmosférica (isobaras), líneas con misma profundidad del mar (isopacas), líneas con misma temperatura (isotermas), líneas con mismo valor de viento (isotacas), etc.

Isotacas. Isolíneas para la variable viento (ver isolíneas).

La Niña. Condición anómala en la temperatura del océano en el Pacífico tropical que se caracteriza por temperaturas inusuales frías, en la misma región donde se presenta El Niño (ver El Niño). También se le conoce como “El Viejo” y “Anti-El Niño” por presentar rasgos completamente opuestos al fenómeno de “El Niño”.

Marea de tormenta. Corresponde a la sobre elevación de más de un m, del nivel medio del mar en la costa. Esta sobre elevación se produce por el viento que sopla en dirección normal a la masa continental. El máximo ascenso del mar ocurre cuando a la marea de tormenta se le suma la habitual (debida a la atracción de la Luna y el sol sobre la Tierra, que se le llama astronómica). Como al incremento del nivel medio del mar se le agrega el oleaje que está produciendo el viento, no es fácil percatarse de la existencia de dicha sobre elevación. Sin embargo, a ello se debe que las olas impacten sobre estructuras que están tierra adentro. Esta manifestación del ciclón es la menos obvia para la población en general y, a la vez, es la que mayor número de muertes produce, ya que su efecto principal es la inundación de las zonas costeras bajas.

Milibar. Unidad para medir la presión atmosférica. Su abreviación es [mbar]. Un bar equivale a 10^5 Pa, por lo tanto, un milibar es igual a 100 Pascales (1 mili [m]= 0.001); 1 mbar=1 hPa (ver hectopascal).

Oleaje. El oleaje de un ciclón tropical es del tipo extraordinario; es decir, se forman oleajes fuertes debido a la gran intensidad de los vientos y lo extenso de la zona en que actúan, de tal manera que pueden dañar de modo importante a la zona costera. Por una parte, las estructuras en tierra cercanas al mar quedan expuestas al oleaje al ascender el nivel medio del mar por la marea de tormenta y, por otra, pueden acarrear gran cantidad de arena de la costa hacia otros sitios, con lo cual se disminuye el ancho de las playas.

Parámetro. Dato que se considera fijo en el estudio de las variables analizadas (presión atmosférica, velocidad de los vientos, etc.)

Presión central. Presión medida en el centro del ojo del huracán.

Precipitación. Los ciclones tropicales arrastran consigo enormes cantidades de humedad que al precipitarse, generalmente con mayor intensidad cuando el huracán encuentra una barrera montañosa, provocan avenidas extraordinarias, deslizamientos de tierra e inundaciones en las zonas mal drenadas.

Pronóstico del tiempo. Se refiere a la predicción del tiempo y clima en el futuro. Existen tres métodos para hacer el pronóstico del tiempo: persistencia, meteorológico y climatológico. El pronóstico de persistencia predice un evento meteorológico a muy corto plazo (6 horas o menos). Se basa en proyectar

la historia pasada de una tormenta a futuro. Este método es poco exacto dado que ningún factor que pudiera cambiar el curso o intensidad de la tormenta es considerado. El pronóstico meteorológico es de los más exactos y de mayor importancia, dado que se hace para 12 a 48 horas, con predicciones a menor detalle para 3, 4 y 5 días. Los pronósticos climatológicos se refieren a la predicción de un fenómeno meteorológico en un periodo de tiempo largo (mayor a una semana). Debido a dicha duración, la exactitud del método es menor.

Pronóstico meteorológico. Ver “Pronóstico del tiempo”.

Recurvamiento. Acción de un ciclón tropical en su trayectoria a apartarse de su dirección recta. Este efecto puede ser sumamente peligroso cerca de las costas.

Resolución. Término que se utiliza para definir el grado en que se detallan los elementos que se están analizando.

Riesgo. Es el resultado de combinar la vulnerabilidad y el peligro ante un fenómeno natural y antropogénico, que represente una amenaza a la población.

Satélite meteorológico o ambiental. Un satélite meteorológico es un plataforma de observación de las nubes ubicado en una órbita de nuestro planeta. Proporciona información sumamente valiosa sobre la formación de las nubes en la atmósfera, que son capaces de formar tormentas severas, tornados y ciclones tropicales. El satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) es un satélite



de la temperatura atmosférica y de humedad, al detectar la radiación emitida por gases atmosféricos, tales como el vapor de agua. Esta herramienta es muy útil para darle seguimiento a un fenómeno meteorológico y así alertar con anticipación a la población.

Tiempo real. Se refiere a la capacidad de recibir datos, segundos después de ser medidos, como la lluvia por ejemplo, para poder analizarlos de tal manera que sirvan como una herramienta para implantar un sistema de alerta ante algún fenómeno que represente un peligro para la población.

Tormenta tropical. Categoría que alcanza un ciclón tropical después de ser depresión tropical y a partir del cual se le designa un nombre. Puede alcanzar velocidades entre 62 km/h y 118 km/h (ver la escala de Saffir-Simpson).

Trayectoria. Es el recorrido que sigue un ciclón tropical desde su origen hasta su disipación y está en función de las condiciones climatológicas existentes.

Trayectorias típicas. Se refiere a la tendencia general del recorrido de los ciclones tropicales, desde su origen hasta su disipación.

Variable. Magnitud indeterminada que puede ser sustituida por diversos términos o valores numéricos, y que ayuda a la representación de los efectos de los ciclones tropicales.

Valor máximo. El valor más grande o límite superior dentro de la muestra de datos.

Valor medio o media. El valor promedio aritmético de los diversos valores de la muestra.

Valor mínimo. El valor más pequeño o límite inferior dentro de la muestra de datos.

Velocidad de traslación. Se refiere a la velocidad con que se traslada un ciclón de un punto a otro en su trayectoria.

Velocidad de vientos máximos sostenidos. Representa los vientos más intensos que se presentan precisamente sobre el borde derecho (mirando hacia donde se mueve el ciclón) del ojo del huracán. El calificativo de velocidad máxima se refiere al máximo con respecto a la distribución en planta del viento sostenido. Éste es el índice de intensidad del ciclón más común y más adecuado para labores de protección civil (Rosengaus, 1998).

Vertiente. Pendiente de una montaña o ladera. En este documento el término se refiere al lado de las cadenas montañosas que drenan hacia los océanos, ya sea hacia el Pacífico o el golfo de México.

Viento. Son corrientes de aire generadas por la diferencia de presiones atmosféricas entre el centro y el exterior de un ciclón tropical, y que conforman un patrón de movimiento rotacional alrededor de dicho centro. Adicionalmente hay corrientes de aire húmedo ascendente cerca del centro y bajo las bandas nubosas en espiral del ciclón.

Zonas de disipación de ciclones. Son las regiones donde los ciclones tropicales se desvanecen al perder energía.

Zonas generadoras, ciclogénicas o matrices de los ciclones tropicales. Son las regiones donde se originan los ciclones tropicales. En el caso de México, los ciclones provienen de la sonda de Campeche, Golfo de Tehuantepec, Caribe (alrededor de los 13° latitud norte y 65° longitud oeste) y sur de las islas Cabo Verde en África (cerca de los 12° latitud norte y 57° longitud oeste, región Atlántica).

Referencias

C. F. E., (1993) "Manual de obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Diseño Por viento", C. F. E. e Instituto de Investigaciones Eléctricas, México.

CENAPRED, (2001) "Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana ", CENAPRED, SEGOB, México.

Eagleman J. R., (1985) "Meteorology. The Atmosphere in action". Second edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, U.S.A.

Rosengaus M., M., (1998). "Efectos destructivos de ciclones tropicales", MAPFRE, México.



Vista satelital de la zona Ciclogénica del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México



Centro Nacional de Prevención de Desastres

Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Deleg. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx

