

Un estudio explorativo de los Sistemas Convectivos de Mesoescala de México

Arturo Valdés Manzanilla*
Miguel Cortéz Vázquez**
Juan José Pastrana Francisco**

Recibido: 13 de enero de 2004
Aceptado en versión final: 15 de abril de 2005

Resumen. Se analizan los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) en México, para lo cual se emplearon imágenes infrarrojas de satélite meteorológico durante un año. En el periodo de análisis fueron identificados 548 SCM, con un máximo en julio y un mínimo en enero y febrero. La variación mensual de los SCM es consistente con la variación mensual de la precipitación sobre el área de estudio. Las zonas con mayor número de SCM son las llanuras costeras del sur del Golfo de México, la península de Yucatán y la zona marítima frente a las costas del Pacífico Sur. Hay zonas con máximos o mínimos estacionales de SCM, que reflejan eventos climáticos intraestacionales como el monzón de Norteamérica y el periodo de canícula. La duración promedio de los SCM es de siete horas alcanzando hasta 10 horas en otoño. En general, los SCM inician su desarrollo al anochecer y se disipan a la medianoche. Un aspecto interesante es que el movimiento de los SCM es de este a oeste durante los meses de mayor precipitación (mayo a octubre) y de oeste a este en el resto del año, lo que es un reflejo del patrón de circulación dominante en México en esos periodos.

Palabras claves: Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), actividad convectiva.

An exploratory study of Mesoscale Convective Systems of Mexico

Abstract. An exploratory study of Mesoscale Convective Systems in Mexico was done, using infrared satellite images of one year. During the analyzed period 548 MCSs were found with a maximum in July and a minimum in January and February. The MCSs monthly variations are consistent with the monthly variations of rainfall in Mexico. The zones with the highest formation of MCSs are the southern coastal plains of the Gulf of Mexico, the Yucatan peninsula and marine zones in front of Southern Pacific coast of Mexico. There are zones with seasonal maximum or minimum number of MCSs, reflecting climatic intraseasonal events like North America monsoon season in the Northwest Mexico, and the canícula in Northeast and Central-Southern Mexico. The MCSs trajectories are from the east in the main rainy season (May to October) and from the west during the rest of the year, reflecting the dominant wind circulation over the studied region in these periods. The MCS mean duration is seven hours, reaching until ten hours in fall. In general, MCSs start to develop during the late afternoon and dissipate at midnight.

Key words: Mesoscale Convective Systems (MCSs), convective activity.

*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas Km 0.5, Villahermosa, Tabasco, 86100. E-mail: avmanzanilla@hotmail.com

**Servicio Meteorológico Nacional, Av. Observatorio # 192, Delegación Miguel Hidalgo, México D. F. E-mail: mcortez@mailsmn.cna.gob.mx

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista geográfico, se tiene un buen conocimiento de la distribución espacial y temporal de la precipitación en México, debido a los trabajos de Wallén (1955) y Mosiño y García (1974), entre otros. Sin embargo, poco se sabe aún de los fenómenos meteorológicos de escala sinóptica que producen lluvia en México, con excepción de los ciclones tropicales. De acuerdo con su origen, la precipitación puede ser de dos tipos: convectiva y estratiforme. En la precipitación convectiva, los movimientos verticales del aire son mayores que la velocidad de caída de los cristales de hielo contenidos en las nubes (Houze, 1993), lo cual favorece una mayor condensación, mayor formación de gotas de lluvia y, por tanto, precipitaciones más intensas que su contraparte estratiforme. Debido a lo anterior, los fenómenos meteorológicos que tienen inmersas zonas con precipitación convectiva, son los mayores productores de lluvia.

Los fenómenos meteorológicos productores de precipitación convectiva incluyen desde tormentas convectivas con diámetro de 10 km, hasta sistemas o conglomerados nubosos con dimensiones de varios cientos de kilómetros como los ciclones y ondas tropicales. Es obvio que los sistemas nubosos producen más lluvia que las tormentas pequeñas, por lo que la frecuencia de estos fenómenos de grandes dimensiones, determina en gran medida la cantidad de precipitación que ocurre en cierta región.

Uno de los conglomerados nubosos más conocidos son los Sistemas Convectivos de Mesoescala (en adelante SCM), que según la definición de Houze (*op. cit.*), son sistemas nubosos que ocurren en conjunto con grupos de tormentas convectivas y que producen un área de precipitación de 100 km más en cualquier dirección.

A la fecha, son pocos los estudios realizados sobre SCM en México. Maddox y

Howard (1988) hicieron una climatología de un tipo de SCM en el norte de México. En 1991, Maddox *et al.* clasificaron los diferentes sistemas convectivos que se desarrollan en el noroeste de México en tres tipos: tormentas convectivas multicelulares, sistemas convectivos meso-beta y sistemas convectivos meso-alfa; posteriormente, mediante el uso de imágenes de satélite e información de localizadores de descargas eléctricas, Smith y Gall (1989) estudiaron un tipo de SCM en Arizona y Sonora, al que denominaron línea de turbo-nada. Farfán y Zehnder (1994), mediante el uso de imágenes de satélite y datos de radiosondeos, estudiaron el ciclo de vida y movimiento de SCM que se formaron en la Sierra Madre Occidental. Estos autores identificaron dos tipos de SCM: los estacionarios, que se concentran en la parte sur del Golfo de California y los móviles, que se desarrollan y mueven en forma paralela a la Sierra Madre Occidental. Hashem (1997) realizó una climatología de los SCM que ocurren durante la primavera en Texas, para lo cual utilizó información meteorológica de altura y superficie, así como imágenes de radar y satélite, para investigar la organización y estructura de estos sistemas y las condiciones meteorológicas que influyeron en su formación y desarrollo, además de sus trayectorias típicas. Algunos de los SCM investigados por este autor iniciaron su desarrollo en México.

Todos los trabajos anteriores analizan los SCM sólo en el norte de México, notablemente la región noroeste, por lo que está pendiente de realizarse un estudio a nivel nacional.

El objetivo de este trabajo es conocer la distribución espacial y temporal, así como la variación diurna de los sistemas convectivos de mesoescala en México, mediante el uso de imágenes de banda infrarroja de satélites meteorológicos geostacionarios.

DATOS Y MÉTODOS

Debido a que los SCM se definen con base con imágenes de satélite infrarrojas, para este estudio se ocuparon imágenes recopiladas en la estación receptora de imágenes de satélite del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Estas imágenes son de 8 bits por pixel, tienen un formato de 750 x 512 píxeles. El área de estudio comprende el territorio nacional (Figura 1), más las regiones observadas por la red de radares del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), incluyendo una porción del norte de Guatemala (Valdés y Aparicio, 1997). El periodo de estudio es de un año, de septiembre de 1996 a agosto de 1997, debido a la disponibilidad de imágenes durante ese periodo.

Para determinar si un sistema nuboso era un SCM, se estableció un criterio basado en imágenes de satélite parecido al que usaron

Bartels *et al.* (1984) en la parte central de Estados Unidos (Tabla 1).

Para identificar los sistemas nubosos que cumplen con el criterio para ser considerados como SCM, se utilizó el software ASMEIS (Sosa y Valdés, 1999) desarrollado para este fin.

El proceso para localizar un SCM fue el siguiente: *a)* usando el programa ASMEIS, se transforma cada imagen de satélite recopilada al filtro MB (Bartels *et al.* 1984), que es el usado para definir los SCM; *b)* para cada sistema nuboso candidato, se calcula cada hora, la longitud lineal del área limitada por la isoterma de -54°C (219 K) y su centroide por medio del programa ASMEIS; *c)* si un sistema nuboso cumple con el criterio para ser considerado un SCM, se toma el centroide calculado cada hora para determinar la trayectoria del SCM desde su inicio hasta su disipación.

Para determinar la variación diurna, se determinaron las horas de inicio y disipación

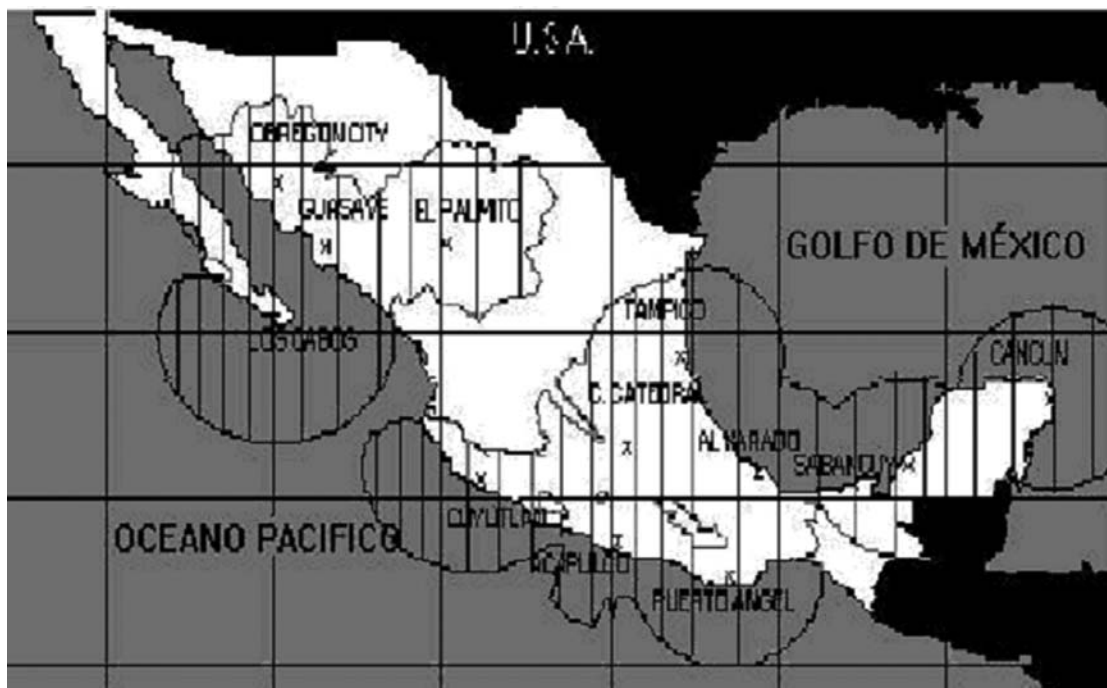


Figura 1. Área de estudio de los Sistemas Convectivos de Mesoescala.

Tabla 1. Criterio para definir si un sistema nuboso es un SCM

Parámetro	Descripción
Longitud	Longitud lineal del área de la imagen de satélite con temperatura $\leq -54^{\circ}\text{C}$ (219 K) > 250 km.
Duración	La longitud lineal mínima se mantiene al menos por tres horas.
Inicio	Cuando el sistema alcanza la longitud lineal mínima por primera vez.
Disipación	Cuando el sistema deja de alcanzar la longitud lineal mínima.

de los SCMs usando la información de las trayectorias anteriormente mencionadas. Asimismo, se calculó la duración de un SCM restando la hora de inicio de la hora de disipación; posteriormente, se calcularon los promedios mensuales.

RESULTADOS

a) Distribución espacial y temporal a nivel mensual de los SCM

Durante el periodo de estudio se identificaron 548 SCM que ocurrieron principalmente de mayo a octubre, lo que coincide con la principal temporada de lluvias en México (Figura 2).

En septiembre de 1996, la frecuencia de SCM fue de 65 (Figura 3), cuatro zonas presentaron un mayor número de sistemas: sur de Sinaloa y Nayarit, en donde los sistemas

se desplazaron preferentemente a lo largo de la línea de costa; frente a la costa del Pacífico Sur, con trayectorias relativamente largas y movimiento hacia el oeste; el sur de Tamaulipas y norte de Veracruz (cuenca del Pánuco) y sur del Golfo, en estas dos últimas zonas, los SCM siguieron trayectorias variables. El patrón de distribución de los SCM coincide con la fase de retiro del monzón sobre el noroeste (Douglas y Li, 1993), cuando la actividad convectiva se desplaza hacia el este y sur de la región (Cortéz, 2000).

Durante octubre de 1996, el número de SCM disminuyó a 29, menos de la mitad del número de sistemas identificados el mes anterior, lo que refleja el retiro de la temporada de lluvias en México. Durante este mes los

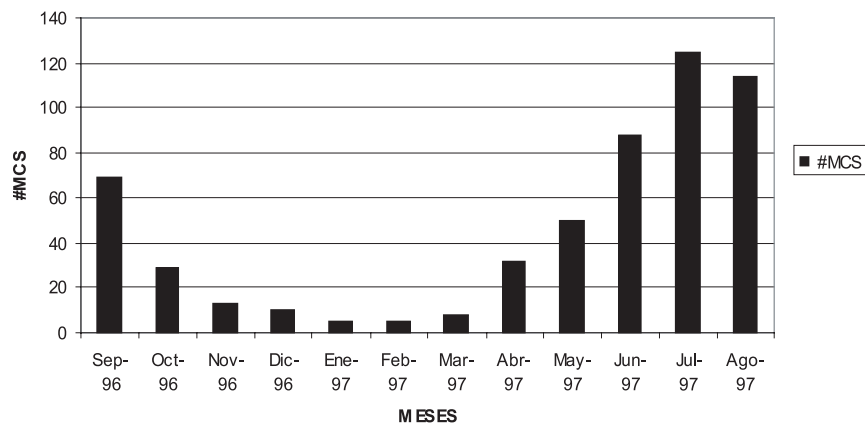


Figura 2. Distribución mensual de los Sistemas Convectivos de Mesoescala durante el periodo de estudio.

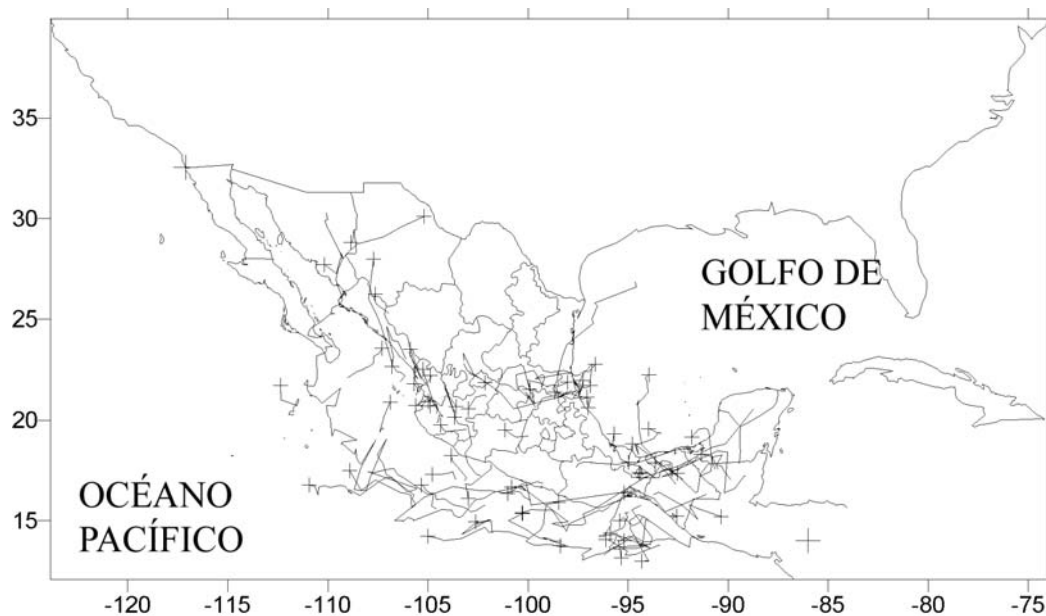


Figura 3. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en septiembre de 1996.
El signo (+) indica el final de la trayectoria.

SCM prácticamente desaparecen sobre el norte y centro del territorio nacional (Figura 4). Hay dos zonas con actividad, una de ellas localizada frente a las costas del Pacífico Sur, en donde la formación de los SCM puede estar asociada a la actividad de ciclones tropicales; la otra zona con mayor actividad que la anterior durante este mes, es la península de Yucatán, en donde los SCM muestran un movimiento preferentemente hacia el este; se puede especular que esta actividad está asociada a la interacción de los primeros frentes fríos con los últimos sistemas tropicales de la temporada.

En noviembre de 1996 únicamente se contabilizaron 13 SCM. La zona con mayor actividad fue la parte norte del país, en donde los sistemas tuvieron una larga trayectoria hacia el este, siguiendo aproximadamente la frontera con Estados Unidos (Figura 5), aparentemente estos sistemas están relacionados

al paso de los frentes fríos, los cuales se desplazan hacia el este y tienen también largas trayectorias en la misma dirección. En este mismo mes se observaron aún algunos SCM frente a las costas del Pacífico Sur y en la península de Yucatán.

En diciembre de 1996 se identificaron diez sistemas, algunos de los cuales se desarrollaron en el noroeste de México y mostraron un movimiento hacia el este. Un aspecto interesante durante este mes es la formación de algunos sistemas en el Pacífico nororiental, los cuales siguieron una trayectoria noreste y penetraron al país en la parte centro-occidente (Figura 6), lo cual sugiere la influencia de la corriente en chorro subtropical, en el transporte de humedad hacia el interior del país. En enero de 1997 se presentaron sólo cinco SCM, principalmente en el norte de México, los sistemas mostraron un movimiento hacia el noreste (Figura 7). En febrero de 1997 se presentó un patrón muy seme-

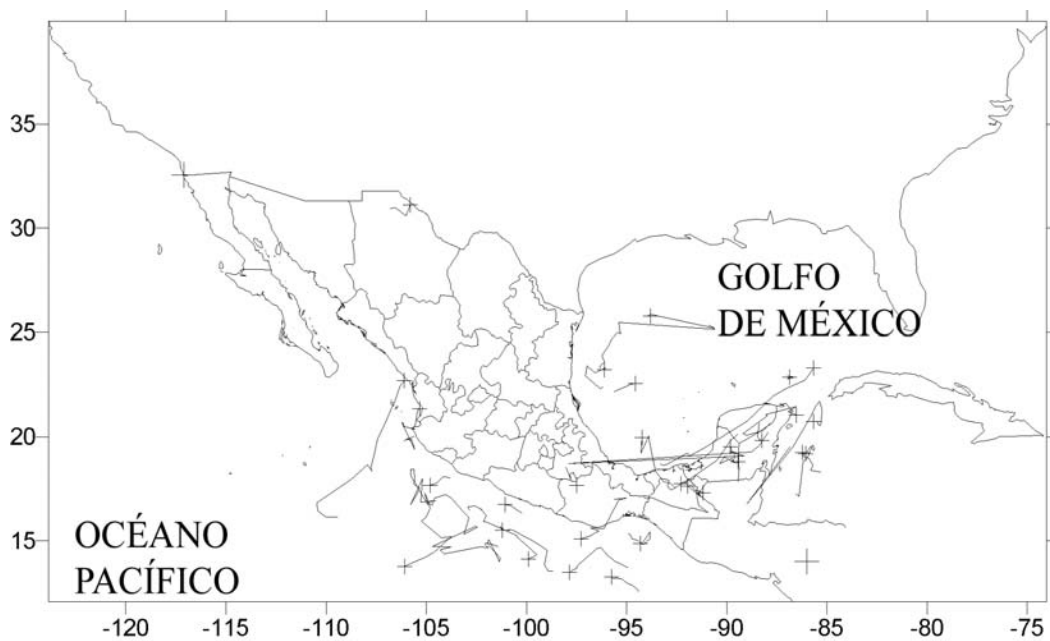


Figura 4. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en octubre de 1996.

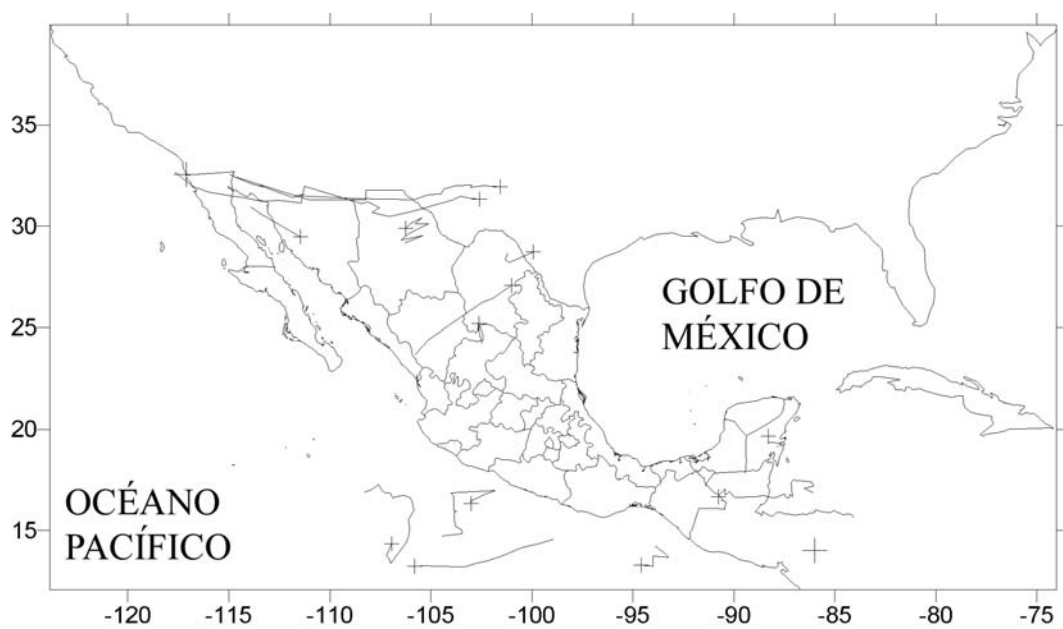


Figura 5. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en noviembre de 1996.

jante al de enero, con cinco sistemas identificados (Figura 8). En marzo de 1997 se tuvo un ligero incremento en el número de SCM, con respecto a los dos meses anteriores, contabilizándose un total de ocho sistemas, los cuales se concentraron en el noreste del país (Figura 9), lo que coincide con el inicio de la temporada de SCM en Texas (Hashem, 1997).

En abril de 1997 se tuvo un cambio cuantitativo notable en la formación de los SCM, ya que su número se cuadruplica, pues se contabilizaron hasta 32 sistemas. Destacan dos zonas de mayor actividad, una en el noreste de México, en donde los SCM siguieron un movimiento hacia el noreste y una más en la península de Yucatán, en donde los sistemas siguieron una dirección variable (Figura 10).

En mayo de 1997, el número de SCM continuó en incremento hasta alcanzar la cifra de 50, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias en México, la mayor actividad se observó en las regiones elevadas del país, como las mesetas del norte y central (Figura 11), debido a un incremento en la inestabilidad atmosférica en los altiplanos y a un mayor desarrollo de circulaciones locales. En menor medida, los SCM se desarrollaron también en la parte sur del Golfo de México.

En junio de 1997, el número de SCM continuó en ascenso con un total de 88 sistemas identificados, lo que indica el establecimiento de la temporada de lluvias en el país. Un cambio notable es que durante este mes hay una migración de los SCM de las mesetas, hacia las Sierras Madre Occidental y del Sur (Figura 12). También se aprecia una fuerte actividad frente a las costas del Pacífico sur, con SCM que siguen un movimiento hacia el oeste. En la península de Yucatán se observó un gran número de sistemas, con movimiento predominantemente hacia el oeste. En julio de 1997 se contabilizaron 125 SCM, lo que hace de este mes el de mayor actividad

durante el periodo de análisis. Un aspecto interesante es que el número de sistemas se incrementó notablemente en la Sierra Madre Occidental, mientras que su número disminuyó notablemente en el noreste y centro-sur de México (Figura 13), lo que indica el pleno desarrollo del monzón en el noroeste de México (Douglas y Li, 1993) y el inicio del periodo de canícula en el centro-sur del país (Mosiño y García, 1974).

Por otra parte, la Figura 13 muestra aparentemente que hay dos tipos de SCM en el noroeste de México, los que se mueven en forma paralela a la Sierra Madre Occidental (el mayor número de sistemas), y los que se mueven perpendicularmente a ella, con dirección hacia el Golfo de California. Durante este mes, la actividad disminuye ligeramente, frente a las costas del Pacífico Sur, con SCM de largas trayectorias y movimiento hacia el oeste, probablemente asociados a la actividad de ciclones tropicales. Otra zona con fuerte actividad es la península de Yucatán, donde los SCM son probablemente producto del paso de ondas tropicales por esa región.

En agosto de 1997 se presentaron 114 SCM en el territorio nacional, especialmente en el noroeste del país, donde la mayoría de ellos se concentra en la parte sur del Golfo de California y tienen una trayectoria paralela a la línea de costa; aunque algunos se mueven hacia el oeste, en forma perpendicular a ella (Figura 14). En contraste, en el noreste del país, casi ningún sistema se presentó, coincidiendo con la canícula, ya que es la región y la época del año donde este fenómeno es más intenso (*Ibid.*). Otras zonas con una alta frecuencia de SCM, son la parte occidental de la península de Yucatán, debido probablemente al paso de ondas tropicales y sus interacciones con circulaciones locales como brisas marinas en esta región y el Istmo de Tehuantepec, quizás asociados al paso de ondas tropicales sobre las montañas de Chiapas y Guatemala. Hay otra zona de

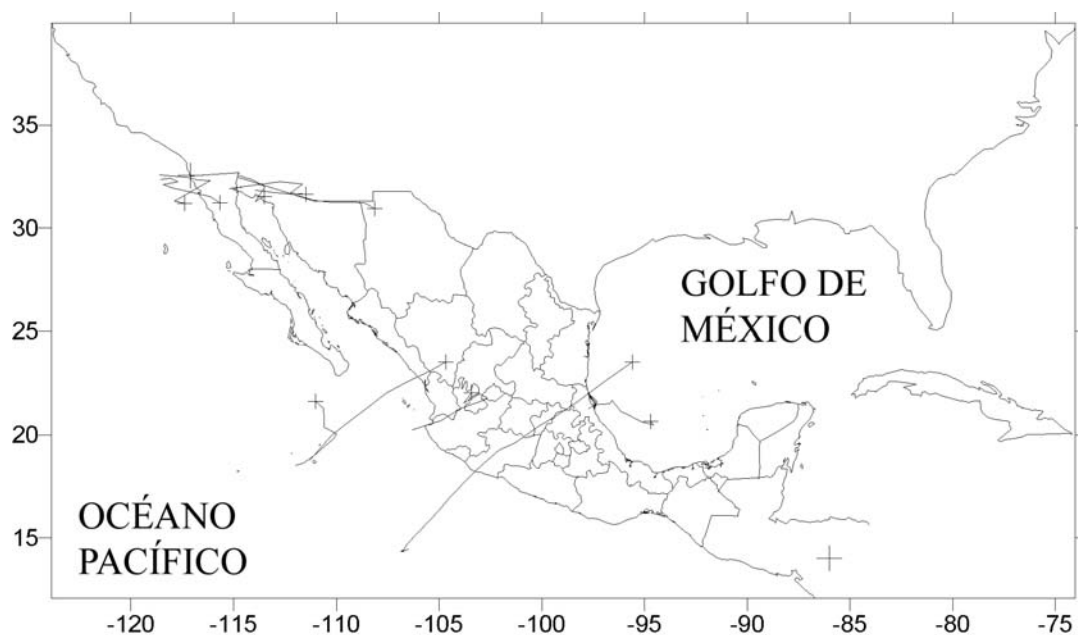


Figura 6. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en diciembre de 1996.

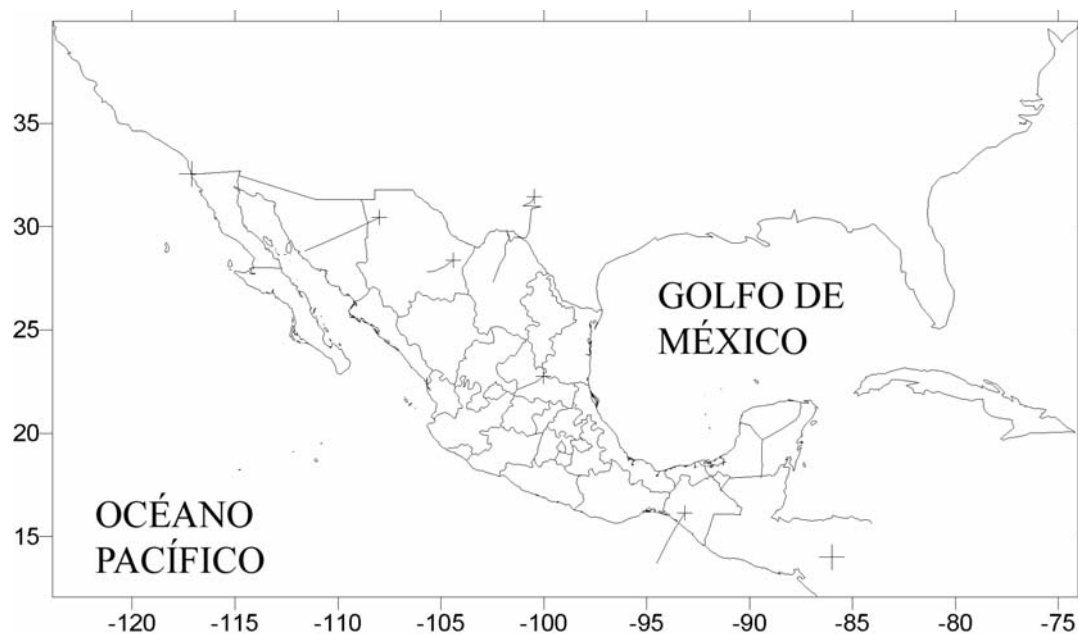


Figura 7. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en enero de 1997.

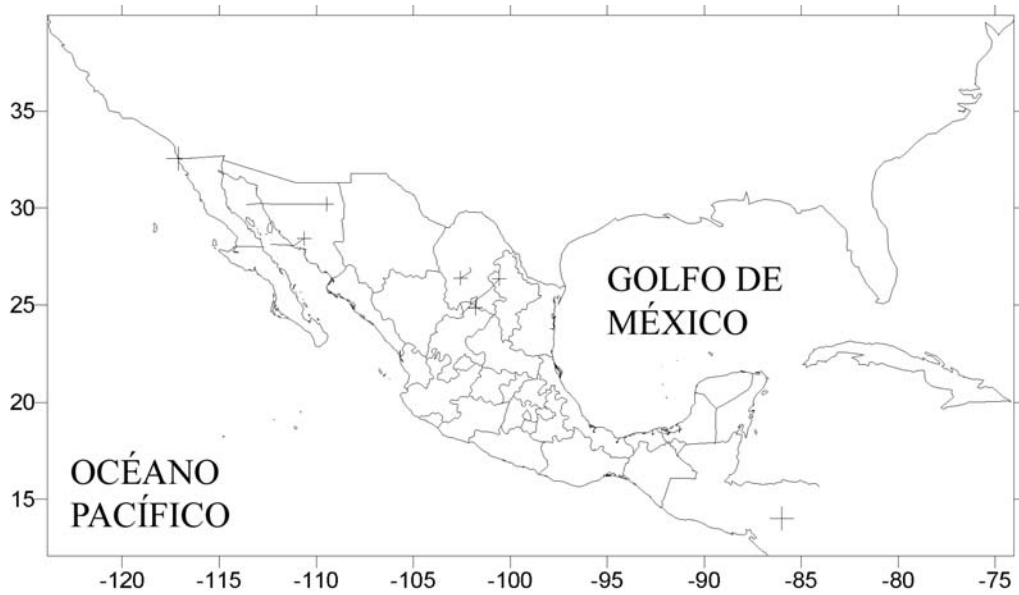


Figura 8. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en febrero de 1997.

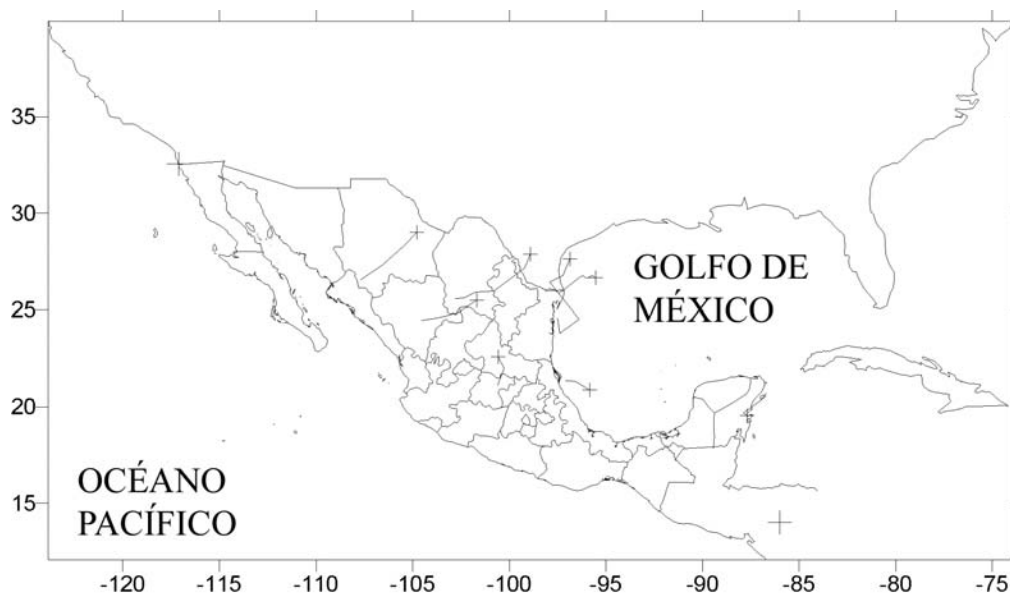


Figura 9. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en marzo de 1997.

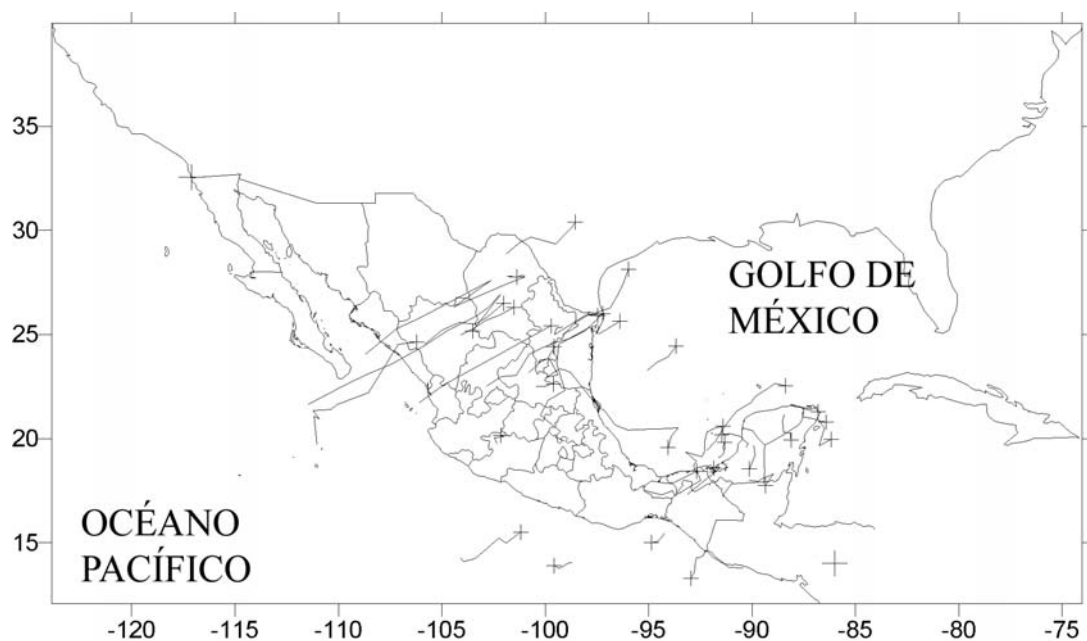


Figura 10. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en abril de 1997.

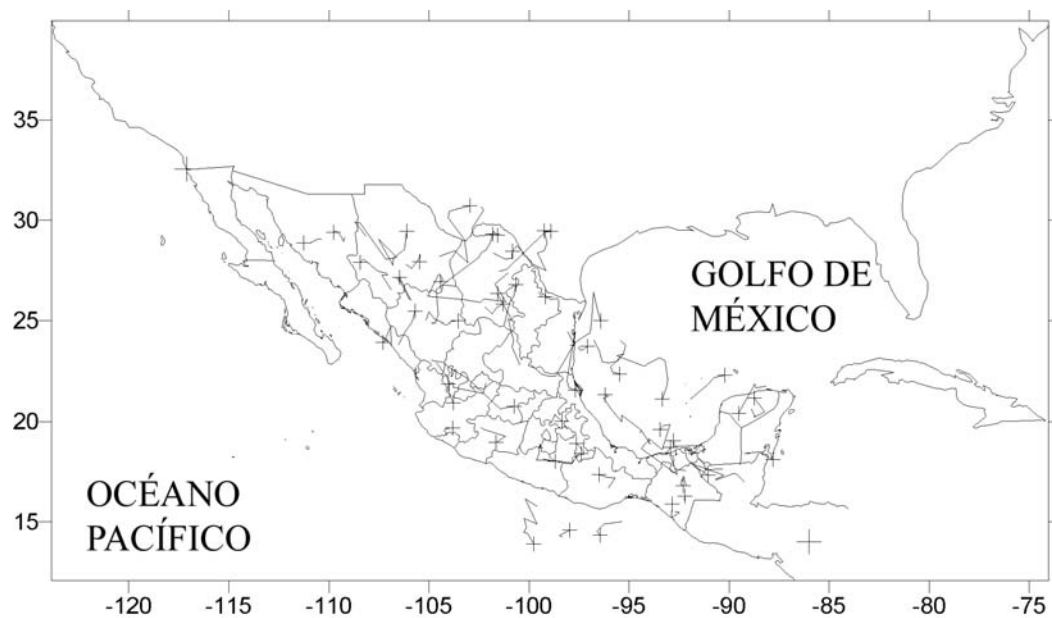


Figura 11. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en mayo de 1997.

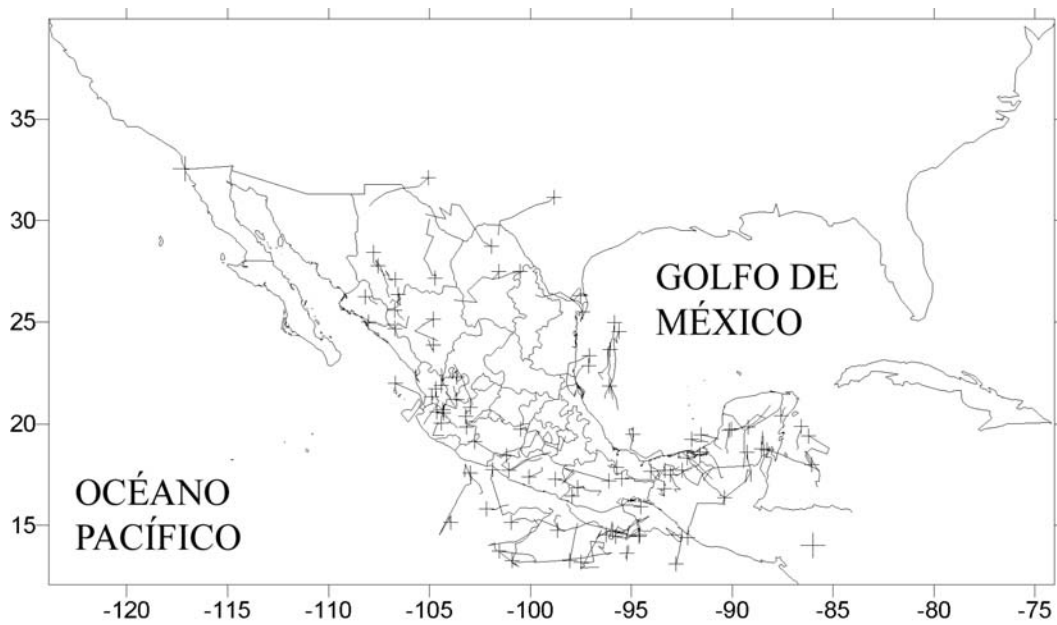


Figura 12. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en junio de 1997.

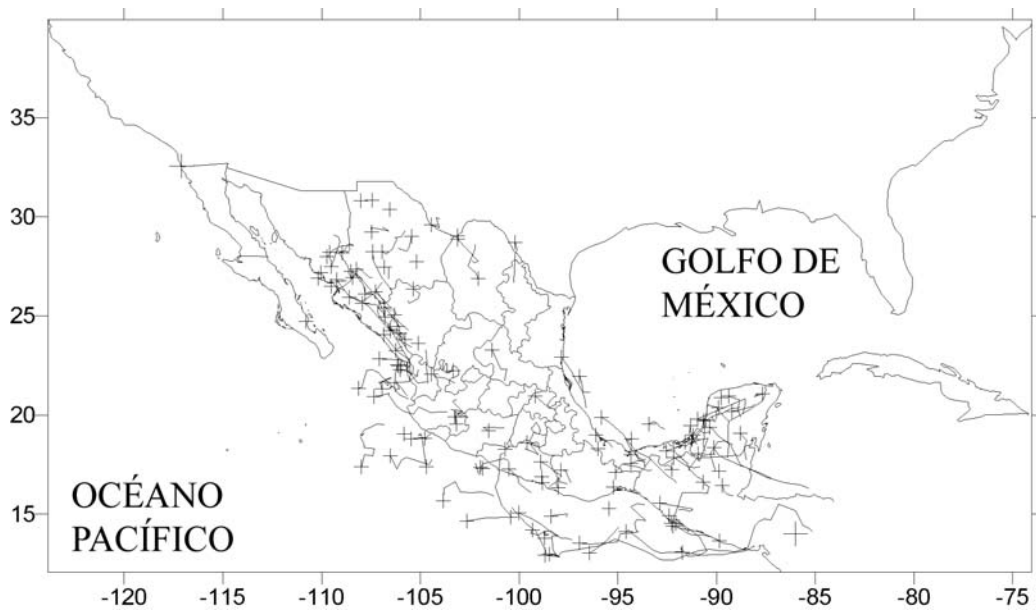


Figura 13. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en julio de 1997.

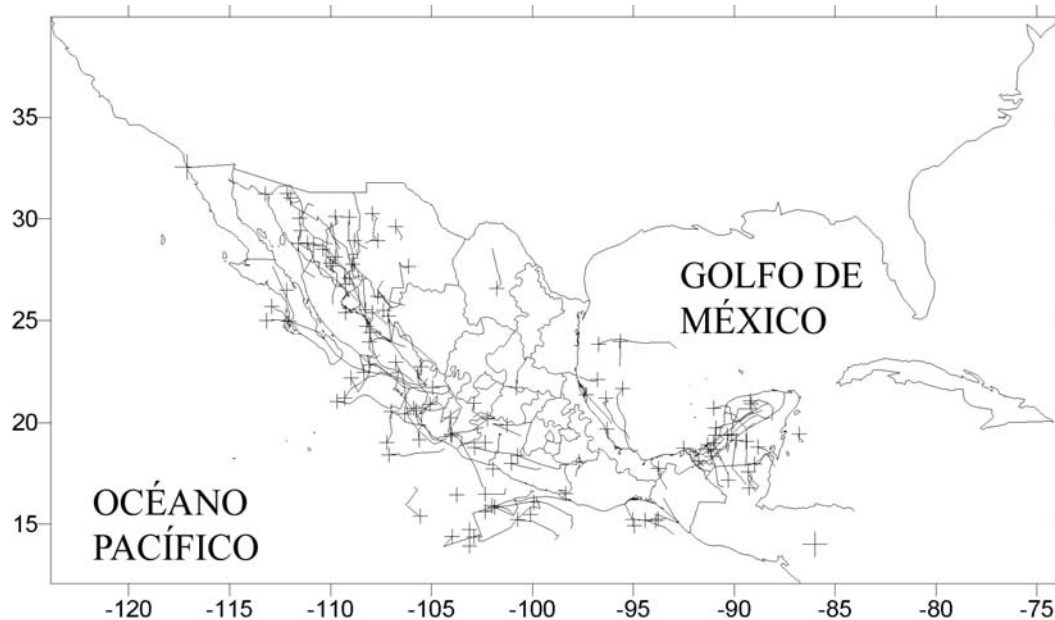


Figura 14. Trayectorias de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en agosto de 1997.

formación en el occidente del país, frente a las costas de Guerrero, Michoacán y Jalisco, debido al paso de SCM asociados a ciclones tropicales.

b) Variación diurna y estacional de la formación y disipación de los SCM

La hora en la que inician y terminan los SCM permite inferir las causas, así como las condiciones meteorológicas, a nivel sinóptico o de mesoescala, asociadas a su formación o disipación. En general, en México los SCM se inician al anochecer y terminan cerca de la medianoche, la duración promedio anual es de siete horas, lo que contrasta con la duración promedio de los SCM en Texas, que es de 18 horas (Hashem, 1997).

Durante el invierno (dic. 96, ene. 97, feb. 97), los SCM se iniciaron al anochecer (0:00-3:00 Z; Figura 15) y terminaron principalmente al amanecer (12:00-15:00Z; Figura 16), pero tienen una duración promedio de seis horas, indicando poca influencia de cir-

culaciones locales. Por otro lado, en primavera (mar. 97, abr. 97 y may. 97), los SCM comienzan un poco más temprano, por la tarde (21:00-0:00 Z; Figura 17) y terminan tanto en la mañana (15:00-18:00 Z) como en el atardecer (Figura 18), indicando una creciente influencia del calentamiento diurno en su formación. La duración promedio estacional es de seis horas. En el verano (jun. 97, jul. 97, ago. 97), los SCM empiezan por la tarde (21:00-0:00 Z; Figura 19) y terminan cerca de la medianoche (3:00-6:00 Z; Figura 20), lo que indica una marcada influencia de fenómenos meteorológicos de mesoescala. Durante esta estación, los SCM tienen una duración promedio de seis horas. Finalmente, en el otoño (sep. 96, oct. 96 y nov. 96), los SCM inician su desarrollo más tarde que durante el verano (0:00-3:00 Z; Figura 21) y terminan mayormente cerca de la medianoche (3:00-6:00Z), aunque también en otras horas del día (Figura 22). La duración promedio de los SCM en esta estación es de diez horas, lo que representa el

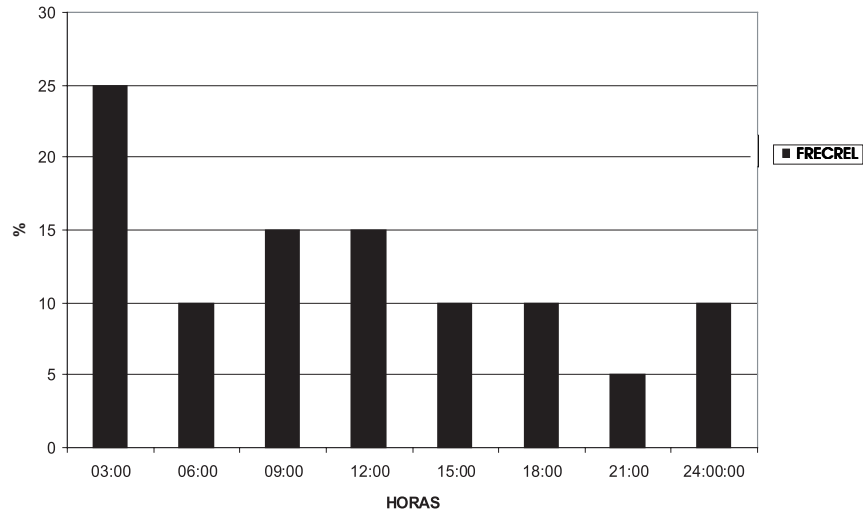


Figura 15. Variación diaria de la formación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en los meses de invierno (dic. 96, ene. 97 y feb. 97).

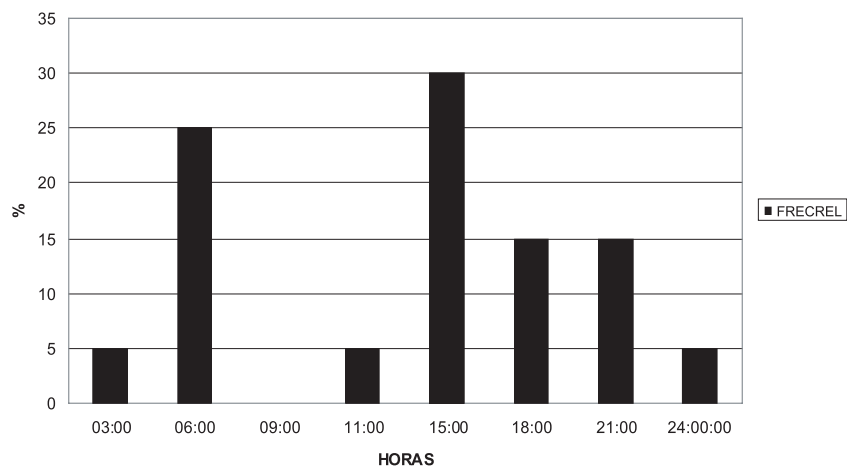


Figura 16. Variación diaria de la disipación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala para los meses de invierno.

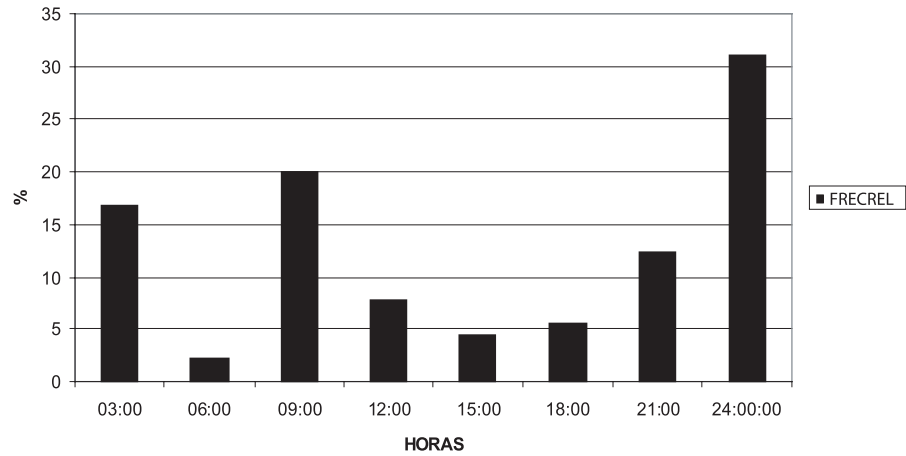


Figura 17. Variación diurna de la formación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala para los meses de primavera (mar. 97, abr. 97 y may. 97).

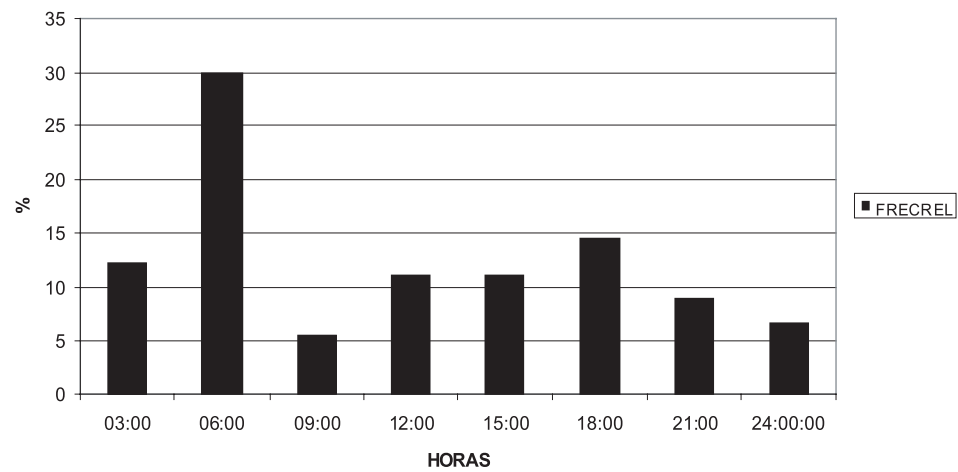


Figura 18. Variación diurna de la disipación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala para los meses de primavera.

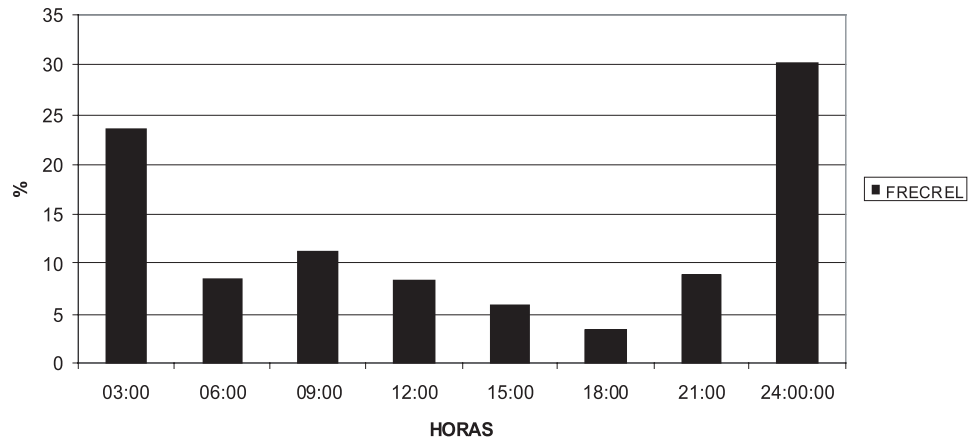


Figura 19. Variación diurna de la formación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en los meses de verano (may. 97, jun. 97 y jul. 97).

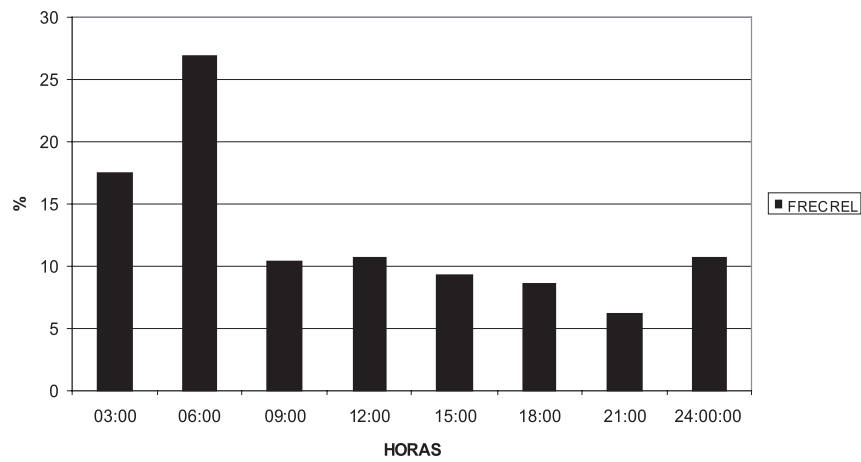


Figura 20. Variación diurna de la disipación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en verano.

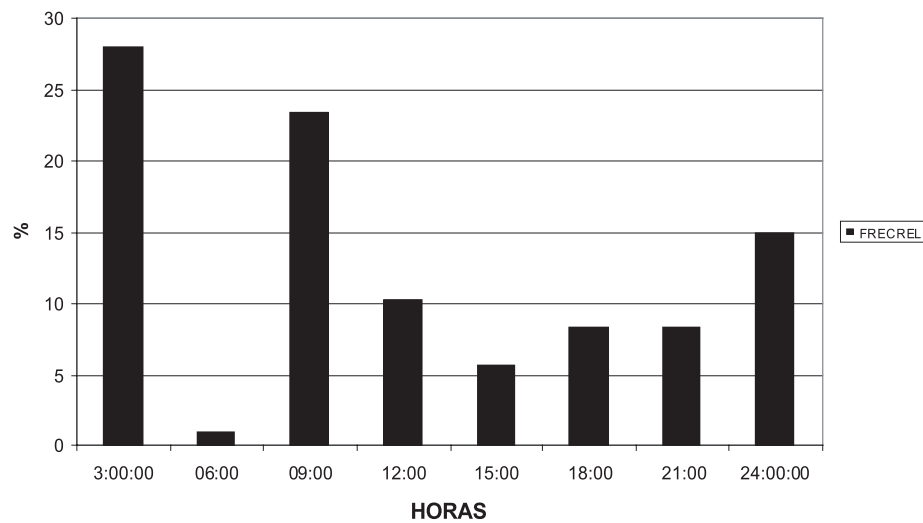


Figura 21. Variación diurna de la formación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en los meses de otoño (sep. 96, oct. 96 y nov. 96).

mayor periodo de vida de los SCM de todas las estaciones, probablemente debido a que están asociados a fenómenos meteorológicos de escala sinóptica como ciclones tropicales y frentes fríos.

CONCLUSIONES

Se realizó una exploración de la distribución temporal, espacial y variación diurna de los sistemas convectivos de mesoescala en México, mediante el uso de imágenes de satélite meteorológico. En general, los SCM, en México, ocurren tanto en las zonas costeras como en el interior del país, en especial durante la temporada de lluvias (mayo-octubre). La mayoría son de corta vida, en promedio de siete horas, en comparación con los que ocurren en Texas, iniciando su desarrollo cerca del anochecer y disipándose cerca de la medianoche, indicando una fuerte influencia del calentamiento diurno. Durante el verano su movimiento es predominante del este, mientras que en la época invernal es del oeste, debido fundamentalmente a la influencia de los vientos dominantes en los niveles bajos y medios de la atmósfera du-

rante estos dos periodos. La presencia o ausencia de SCM en ciertos meses y en regiones específicas de México, coincide con la ocurrencia de fenómenos climáticos como el monzón del noroeste y la canícula en el noreste y centro-sur del país. Las zonas donde ocurren con mayor frecuencia los SCM, como la parte occidental de la península de Yucatán y las llanuras costeras del sur del Golfo de México y zonas costeras del Pacífico Sur, son las zonas también con mayor precipitación en México, lo que indica la importancia de estos fenómenos en la climatología de la precipitación en el área de estudio. Es importante recalcar que la evolución en el tiempo de la formación de los SCM encontrada en este estudio coincide notablemente con las fases de desarrollo de la temporada de lluvias en nuestro país.

Es necesario continuar con el estudio de los SCM en México con información de un mayor número de años, lo que permitirá confirmar los resultados de este estudio. Por otra parte, también es recomendable el estudio de estos sistemas a nivel regional.

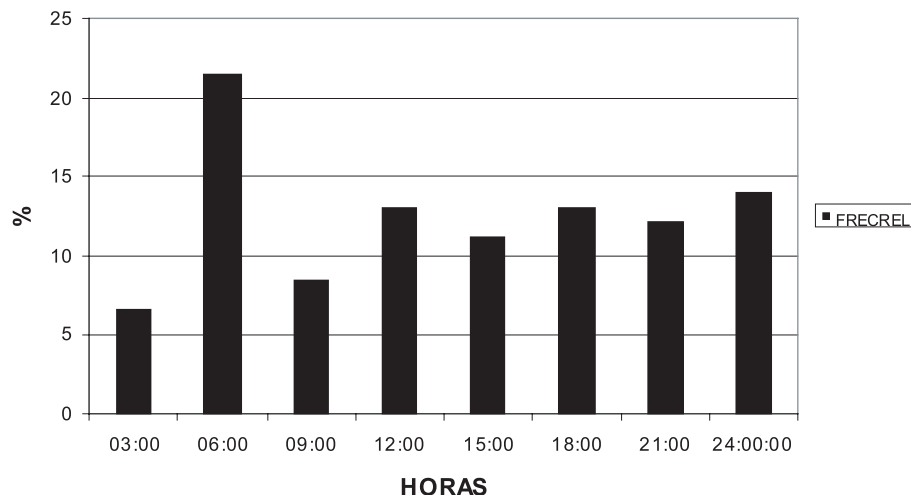


Figura 22. Variación diurna de la disipación de los Sistemas Convectivos de Mesoescala en los meses de otoño.

REFERENCIAS

- Bartels, D. L., J. M. Skrasdki and R. D. Menard (1984), "Mesoscale convective systems: a satellite climatology", *NOAA Tech Memo, ERL ESG 8*, Dept. of Commerce, Boulder CO.
- Cortéz-Vázquez, M. (2000), "Variaciones intra-estacionales de la actividad convectiva en México y América Central", *Atmósfera*, vol. 13, pp. 95-108.
- Douglas, M. W. and S. Li (1993), "Monsoon onset over the Southwestern North America", *XX Conferencia sobre Ciclones Tropicales y Meteorología Tropical*, San Antonio Texas, pp. 508-511.
- Farfán, L. and J. Zehnder (1994), "Moving and stationary mesoscale convective systems over Northwest Mexico during the Southwest Area Monsoon Project", *Weather and Forecasting*, vol 9, pp. 630-639.
- Hashem, M. S. (1997), *A climatology of springtime convective systems over the northwest Gulf of Mexico and adjacent coasts*, tesis de Maestría, Texas A & M University, College Station, Texas, EUA.
- Houze, R. A. (1993), *Cloud dynamics*, Academic Press, San Diego, Cal.
- Maddox, R. A. and K. W. Howard (1988), "Mexican mesoscale convective systems large-scale environmental conditions", *Memorias del III Congreso Interamericano de Meteorología*, 14-18 de noviembre, Ciudad de México, pp. 395-399.
- Maddox, R., M. Douglas and K. Howard (1991), "Mesoscale convective system over the Southwestern North America: a warm season overview", *Memorias de la Conferencia Internacional sobre Meteorología de Mesoescala y TAMEX*, Taipei, Taiwan, pp. 393-402.
- Mosiño P. and E. García (1974), "The climate of Mexico", *World Survey of Climatology*, vol 1, Bryson, R. A. y F. K. Hare (eds.), *Climates of North America*, 345-404, Elsevier, EUA, pp. 345-404.
- Smith, W. and R. H. Gall (1989), "Tropical squall lines of the Arizona monsoon", *Mon. Wea. Rev.*, vol. 117, pp. 1553-1569.
- Sosa Chiñas, M. A. y A. Valdés-Manzanilla (1999), "ASMEIS: herramienta para el análisis de sistemas convectivos de mesoescala", *Memorias del IX Congreso Nacional de Meteorología*, Guadalajara Jalisco, pp. 246-249.
- Valdés-Manzanilla, A. and F. J. Aparicio (1997), "The Mexican Doppler radar network", *Memorias de la XXVIII Conferencia Internacional sobre Meteorología de Radar*, Amer. Meteor. Soc., Austin Texas, EUA, pp. 35-36.
- Wallén, C. C. (1955), "Some characteristics of precipitation in Mexico", *Geografiska Annaler*, vol. 37, pp. 51-85.