

## **Climatología de las tormentas eléctricas locales severas (TELS) en la Zona Metropolitana de Guadalajara**

Omar García Concepción\*  
Hermes Ulises Ramírez Sánchez\*  
Jaime Alcalá Gutiérrez\*  
Ángel Meulenert Peña\*  
Mario Enrique García Guadalupe\*

Recibido: 14 de septiembre de 2006  
Aceptado en versión final: 8 de enero de 2007

**Resumen.** La aparición de los fenómenos severos en el tiempo meteorológico (tornados, granizos y vientos lineales con rachas destructoras) está relacionada con cambios importantes en la morfología de las tormentas eléctricas. Las tormentas que alcanzan ese estadio son consideradas como un tipo especial de tormentas eléctricas llamadas tormentas eléctricas locales severas (TELS). El desarrollo de las TELS en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) es una realidad y se debe considerar en la protección de la sociedad, debido a las pérdidas de vidas, daños materiales y cuantiosas afectaciones que ocurren como consecuencia de éstas. Al no contar con una cronología de las TELS en la ZMG fue necesaria la compilación de las mismas como base para realizar su climatología. Entre los resultados obtenidos se destaca que las TELS ocurren desde mayo hasta noviembre, en particular, en los meses de junio, julio y agosto. La mayoría se presenta durante horas de la tarde o de la noche, pero un grupo nada despreciable también ocurre durante la madrugada. Queda establecido que las TELS constituyen un elemento importante del clima de la ZMG que no puede ser ignorado desde el punto de vista científico y mucho menos en la práctica, por los efectos que produce en muchas ocasiones.

**Palabras claves:** Tormenta eléctrica, granizo, tornado, aeroavalancha, tiempo severo.

## **Climatology of severe local thunderstorms (TLS) in the Metropolitan Area of Guadalajara**

**Abstract.** The presence of severe weather phenomena (tornados, hailstorms and linear winds with destructive gusts) is related to important changes in the morphology of the thunderstorms. The thunderstorms that reach that stage are considered as a special type of thunderstorms called local severe thunderstorms (TELS). The development of TELS in the Metropolitan Area of Guadalajara (ZMG) is a reality and should be considered in the protection of society due to the losses of lives, material damages and considerable effects that happen as a consequence of these. As we don't have a chronology of TELS in ZMG it was necessary to make a compilation of them as base to their climatology. Among the results obtained is that TELS happens from May until November, but especially in the months of June, July and August. Most happen during

---

\*Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara, Av. Vallarta 2602, Col. Arcos Vallarta, 44130, Guadalajara, Jalisco, México. E-mail: omargc@astro.iam.udg.mx

hours of the afternoon or of the night, but not a insignificant group also happens during the dawn. It is established that TELS constitute an important element of the climate of ZMG that cannot be ignored from the scientific point of view and much less in practice, for the effects that takes place in many of them.

**Key words:** Thunderstorms, hail, tornado, downburst, severe weather.

## INTRODUCCIÓN

Las tormentas eléctricas son estudiadas por la meteorología de la mesoescala gama; puede decirse que esta rama de la meteorología estudia los procesos de transferencia de energía y eventos especiales que ocurren local e intermitentemente como resultado del forzamiento topográfico y las inestabilidades de mesoescala.

La aparición de los fenómenos severos en el tiempo meteorológico (tornados, granizos y vientos lineales con rachas destructoras) está relacionada con cambios importantes en la morfología de las tormentas eléctricas; estos cambios pueden apreciarse con la ayuda de los radares meteorológicos y permiten introducir un estadio más en el ciclo de vida de las tormentas eléctricas (desarrollo, madurez y disipación) y que Browning (1965) denominó como estado de madurez severo. De manera que puede considerarse a las tormentas que alcancen ese estadio como un tipo especial de tormenta eléctrica con características propias, llamadas tormentas eléctricas locales severas TELS.

En muchos casos, ya sea por carencia de radares meteorológicos o por otras cuestiones, es imposible identificar tales cambios morfológicos, lo que obliga a establecer el carácter severo o no de una tormenta eléctrica tomando en cuenta los fenómenos que la acompañan.

La formación y desarrollo de las tormentas locales severas TELS en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) es una realidad a tener en cuenta, a la cual, incluso algunas personas relacionadas con el trabajo meteorológico le han dado poca atención, quizás por su carácter local, ya que las afectaciones de una sola tormenta, por intensa que ésta sea, se reduce

casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados (Figuras 1 y 2), y no son comparables, por ejemplo, con los daños que pueden producir los huracanes en las costas del estado de Jalisco. No obstante, las pérdidas de vidas, daños materiales y a veces las cuantiosas afectaciones que ocurren como consecuencia de estos fenómenos necesitan una mayor atención.

Con el desarrollo económico y poblacional creciente de la ZMG, ha quedado claro que la ocurrencia de las TELS resulta en sucesos que ocurren con cierta frecuencia y que cobran importancia cuando se les analiza de conjunto, como suma de sucesos individuales. De manera que emprender el estudio de las TELS se ha convertido en una cuestión de interés científico y una necesidad para enfrentar una problemática de interés práctico relacionado con la seguridad pública y con la adopción de medidas para minimizar los efectos negativos que ellas producen.

La realización de pocos trabajos sobre esta temática (García *et al.*, 2005) ha sido útil como punto de partida para la confección de esta climatología, la que podrá servir de consulta para futuras investigaciones.

## GENERALIDADES

No existen criterios universales sobre qué fenómenos deben considerarse severos, incluso en algunos casos se imponen umbrales de severidad para decidir si el fenómeno se clasifica o no como tal. Por ejemplo, el Servicio Nacional del Tiempo de los Estados Unidos, define una tormenta eléctrica como severa si se presenta con vientos lineales de una magnitud igual o superior a 25 m/s, ocurrencia de granizo con un diámetro superior a 1.9 cm (tres cuartos de



Figura 1. El 8 de agosto del 2004 el granizo invadió varias casas del poniente de Guadalajara (Foto periódico *Mural* 09/08/2004).



Figura 2. Grandes árboles derribados en el parque de Las Estrellas debido al fuerte viento asociado a una TELS.

pulgada), o si la tormenta produce tornados. Una tormenta sólo necesita tener una de estas condiciones para ser severa. Por otra parte, Alfonso (1994) en su cronología sobre las tormentas locales severas (TLS) en Cuba, la define

como toda tormenta local (en la escala mesogama de Orlanski, 1975), en general eléctrica, que presenta uno o varios de los siguientes fenómenos, que se consideren severos: tornado, rachas de vientos lineales de 25 m/s o más, no asociadas directamente a un tornado, granizos, de cualquier tamaño y tromba marina.

Al no contar con una cronología de las tormentas locales severas en el estado, e incluso se desconoce de la existencia en parte alguna de la República Mexicana, fue necesario la elaboración de la misma para posteriormente poder realizar la climatología de las TELS.

Los autores de este artículo definieron la ocurrencia de una TELS en la ZMG de acuerdo con los siguientes criterios:

- Tornado.
- Tormenta eléctrica con rachas de vientos lineales de 18 m/s (65 km/h) o más.
- Granizos de cualquier tamaño.

Para determinar la presencia de un tornado se usará la definición práctica de tornado propuesta por Forbes y Wakimoto (1983).

Para el umbral de 18 m/s en las rachas de vientos lineales se consideraron los criterios de Fujita (1978), que asumió ese valor como límite inferior del viento para las aeroavalanchas (en inglés *downburst*) y Protección Civil del Estado considera ese valor como umbral para que comience la caída significativa de árboles en la ZMG, y para el granizo se tomaron las ideas establecidas por Alfonso (1994).

Es importante aclarar que no fue por omisión el no incluir las lluvias intensas como un fenómeno de severidad, ya que éstas no están relacionadas con cambios importantes en la morfología de una tormenta eléctrica, sino que dependen de muchos otros factores no inherentes a una tormenta. Por supuesto un estudio de las lluvias intensas como factor de riesgo es de gran importancia pero está fuera de las intenciones de esta investigación.

Las TELS se presentan en la mayor parte del mundo, aunque las características, distribución anual, entre otros, varían mucho de unas regiones a otras. Son muy frecuentes e intensas en la región central de los Estados Unidos, en el Reino Unido y en Japón, pero son muy

escasas en las zonas más áridas del planeta. En particular, Frisby y Samson (1967) encontraron que la incidencia de granizadas en los trópicos es alta, con una mayor frecuencia en zonas elevadas. También concluyeron que dada su relativa frecuencia y los daños que producen en extensas zonas, se necesita un estudio básico sobre ellas.

Al realizar un estudio climatológico sobre las TELS es necesario tener en cuenta que los resultados estarán afectados por una serie de factores no meteorológicos, entre éstos, el número de habitantes y su distribución en un territorio, el desarrollo económico, las facilidades de comunicación, el número de fuentes de información (periódicos) y otros muchos, sobresaliendo la atención que el servicio meteorológico presta al problema. Por ejemplo, en Estados Unidos durante la década de los años treinta del siglo pasado no se permitió la utilización de la palabra tornado, sin embargo, a partir de 1950 se incrementó dramáticamente la frecuencia de tornados y granizadas, cuando se inició el estudio a fondo de las TELS y se crearon las primeras redes bien organizadas de observadores voluntarios del tiempo.

## RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

La característica principal de la información disponible sobre las TELS en la ZMG es que se encontraba diseminada en numerosas y disímiles fuentes sin un registro sistemático. Para obtener la serie de datos con que se trabajó en esta investigación, fue necesaria una búsqueda exhaustiva en publicaciones meteorológicas: registros de los observatorios meteorológicos oficiales y/o de aficionados; y en la prensa escrita (*Sol de Guadaluajara, Informador, Occidental, Mural*).

Aunque con limitaciones, la información acumulada resultó de mucho valor y el número de casos recopilados superó los estimados iniciales acerca del volumen posible de datos

a obtener y alcanzaron a 204 ocurrencias. Los autores están seguros que realmente ocurrió una mayor cantidad de TELS que las registradas, pero se puso especial cuidado en incluir sólo aquellos reportes que no albergaran duda alguna sobre la ocurrencia de una TELS.

Con estos datos se preparó la cronología que sirve de base para el estudio climatológico de las TELS. En ella se incluye: la fecha de ocurrencia, la hora en que se presentaron (o al menos si ocurrió en la mañana, tarde, noche o madrugada), el lugar o zona afectada, tipos de fenómenos severos asociados y las fuentes de las cuales se obtuvo la información. Los datos cubren el período de 1980-2004.

## CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES

Las TELS en la ZMG se forman solamente en el período del año que corre de mayo a noviembre (coincidente en casi su totalidad con el temporal de lluvia), ya que no se reportaron desde diciembre hasta abril. La Figura 3 permite observar que existe un máximo de actividad en el mes de junio, seguido por julio y agosto. No se determinó la ocurrencia de algún tornado entre los fenómenos severos que se presentaron asociados a las TELS en la ZMG.

En la Figura 4 se aprecia la distribución de las tormentas eléctricas con rachas de vientos lineales de 18 m/s (65 km/h) o más. Nuevamente el mes de junio es el de mayor frecuencia en la ocurrencia de este tipo de evento severo. Sin embargo, al analizar las granizadas (Figura 5), se puede apreciar que éstas presentan el máximo de ocurrencia en agosto.

No es posible determinar el momento preciso en que una tormenta eléctrica alcanza la categoría de severa, la duración de ese evento, etc., ya que esto únicamente puede determinarse a través de una red muy densa de radares meteorológicos. Pero en la Figura 6 se presenta el curso diario de una manera general.

El 2% de las TELS ocurrieron en la mañana, el 39% en la tarde, mientras que el 37% se

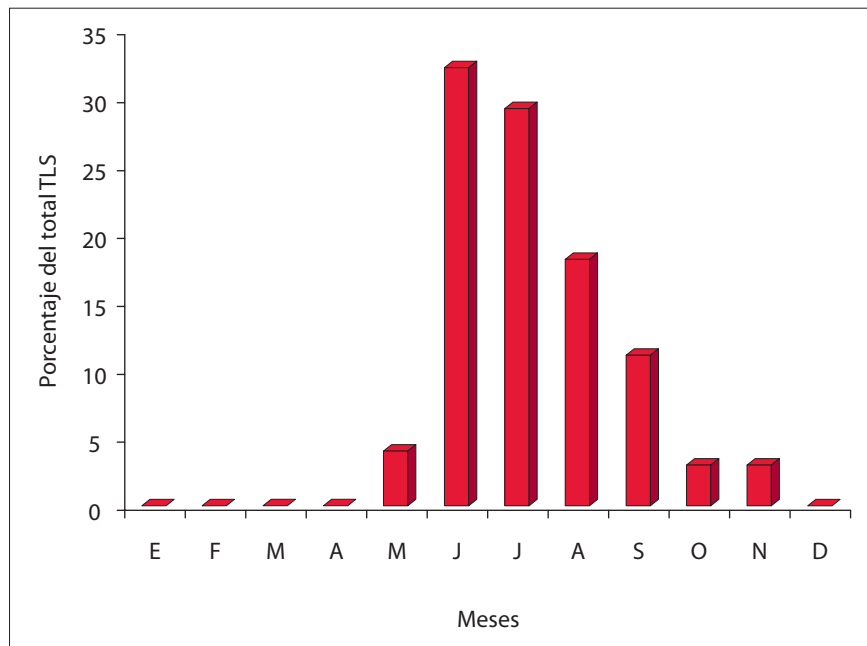


Figura 3. Distribución de las TELS por meses (en porcentajes del total).  
Número total de casos 204.

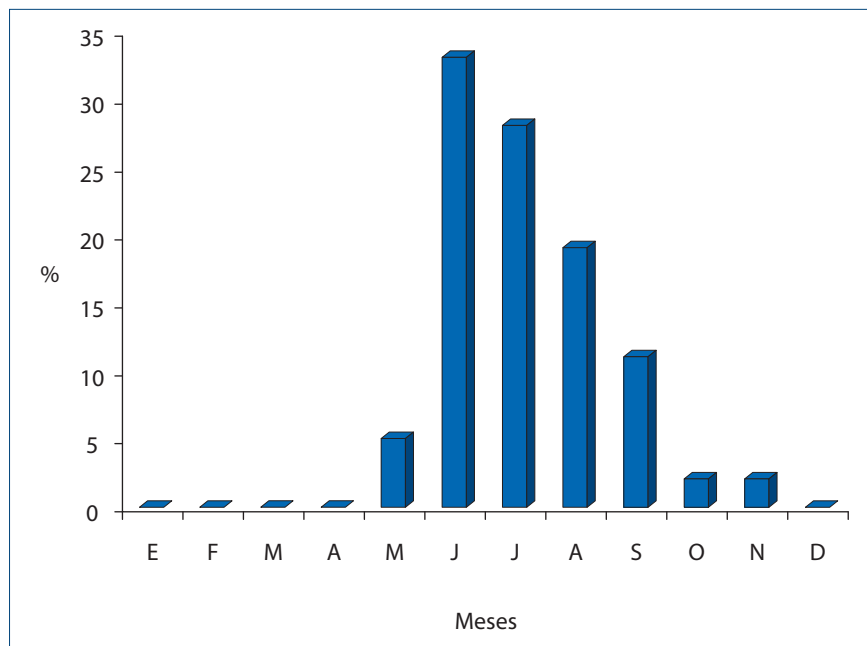


Figura 4. Distribución de las vientos > 18 m/s por meses (en porcentajes del total).  
Número total de casos 174.

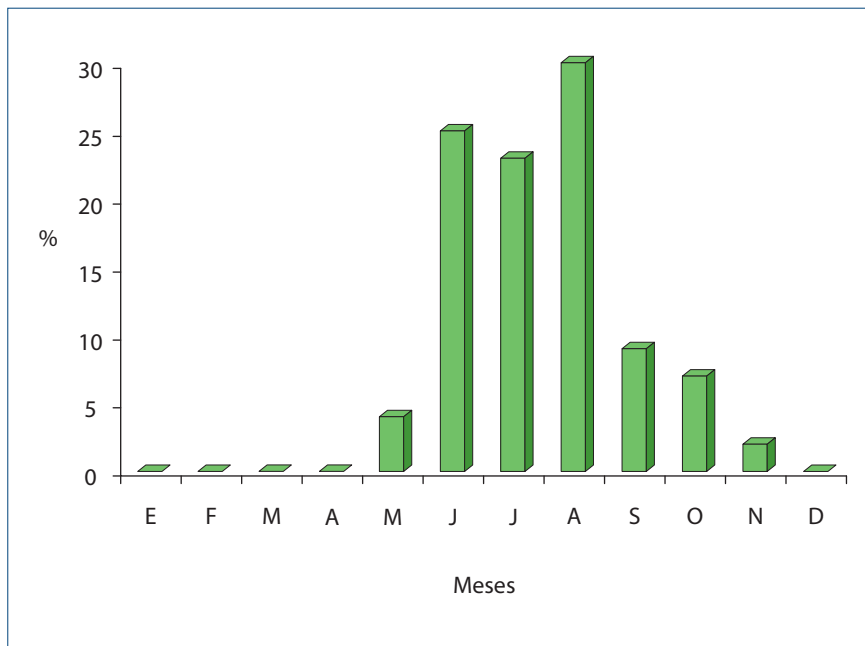


Figura 5. Distribución de las granizadas por meses (en porcentajes del total).  
Número total de casos 56.

presentó en la noche y por último un 22% en la madrugada. Los intervalos fueron de seis horas. Por ejemplo, la mañana fue considerada desde las 06:01 hasta las 12:00 y así sucesivamente. Existen TELS en que no pudo determinarse el intervalo de ocurrencia y por lo tanto, al hacer la distribución por períodos del día, no aparecen en el número total de casos.

En la Figura 7 se presenta el promedio de días con TELS por mes, destacándose junio y julio con un promedio cercano a tres días por mes. Se aclara que el número de TELS encontrados desde 1980 a 1985, fue inferior al de los años restantes de la muestra, lo que no se debió propiamente a condiciones meteorológicas atípicas (excepto la influencia del evento ENOS de los años 1982-83), sino por la falta de información en las distintas fuentes consultadas; por lo que se estima que el promedio mensual de TELS para la ZMG es superior al presentado aquí.

### Estimaciones generales de víctimas y daños materiales

Resulta muy difícil encontrar detalles sobre el número de víctimas fatales provocado por una TELS. A veces se registra sólo un número indeterminado de heridos, en otras ocasiones no fueron tomados en cuenta ya que las condiciones de severidad están mezcladas con inundaciones súbitas, siendo imposible discernir con claridad cuál fue el evento que ocasionó la muerte.

De 1980 a 2004 se registraron 24 decesos de personas, lo que permite estimar que el promedio anual de muertes debido a TELS es aproximadamente de uno. El número de heridos es mucho mayor y puede suponerse que las omisiones son frecuentes. En el período considerado se reportaron 85 heridos, con un promedio de tres a cuatro por año, cifra probablemente conservadora. Las pérdidas de

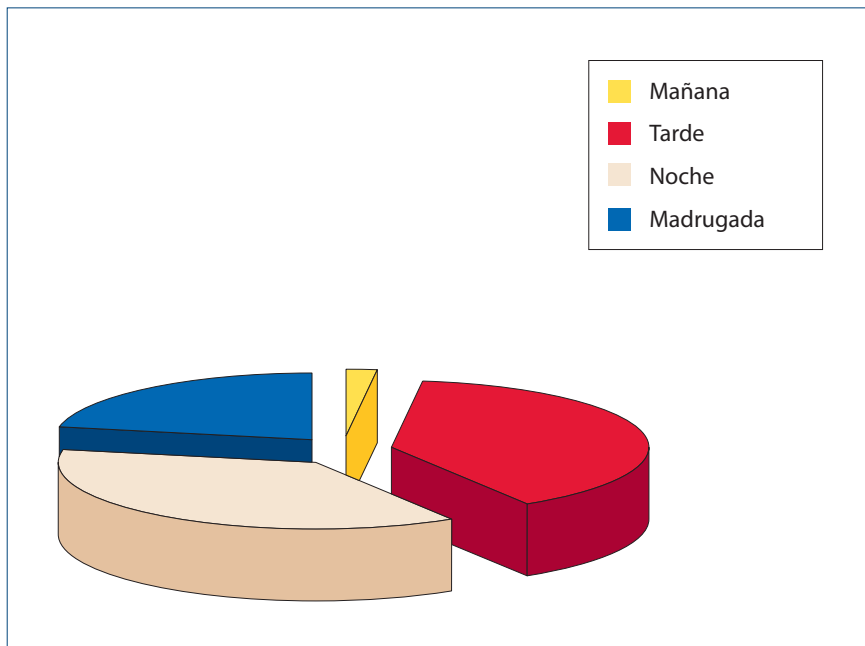


Figura 6. Distribución de las TELS por períodos del día (en porcentajes). El número de casos es de 197.

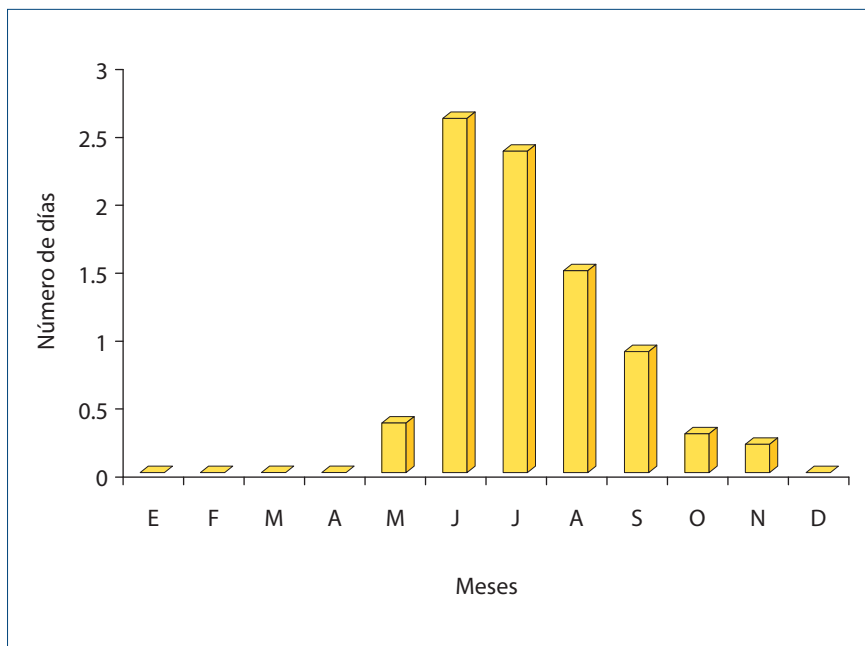


Figura 7. Número de días promedio de TELS por meses (promedio en 25 años).



fauna no ha sido posible cuantificarlas, pero a juzgar por la limitada información aparecida en la prensa, los fuertes vientos y las granizadas extremas han matado gran cantidad de especies animales.

En relación con los daños materiales resulta aún más complejo contabilizar las pérdidas, descritas casi siempre de manera cualitativa y que no dan margen a un cálculo aproximado. Ya fue señalado con anterioridad que la importancia de las TELS, desde el punto de vista económico, se debe a las pérdidas acumuladas. Son muy contadas las ocasiones en que un grupo de TELS casi simultáneas, o una tormenta por sí sola, producen una pérdida catastrófica y además suele quedar circunscrita a una zona reducida. En la mayoría de los casos las instituciones afectadas no contabilizan sus pérdidas o no facilitan un dato que pueda considerarse totalmente verídico, por lo que el monto se conoce parcialmente.

En los años analizados, sólo se conoce con mediana precisión los daños ocasionados por la tormenta del 8 de agosto del 2004, valorada en casi 5 millones de pesos y la del 15 de agosto del 2000 con daños cuantificados en dos y medio millones de pesos (normalizados al valor del peso del 2004).

De los datos disponibles se puede estimar que una TELS de regular intensidad trae aparejadas pérdidas por algo más de 500 mil pesos (valor del peso normalizados al 2004). De éstas hay no menos de cuatro al año en la ZMG, cifra que es conservadora.

Es de suma importancia continuar haciendo un trabajo de educación y toma de conciencia entre la población para extender la red de observadores voluntarios con vista a tener una mejor cobertura sobre la ocurrencia de las TELS. En el 2006 se pueden observar resultados alentadores con la incipiente red creada, de tal forma que con la información obtenida se pudo realizar un análisis sobre la distribución de las TELS en la ZMG (Figura 8).

Las zonas que presentaron una mayor frecuencia de días con TELS durante el 2006 fueron

el noroeste y sureste, siendo la región menos afectada el centro de la ZMG. Para la realización del análisis se utilizó interpolación gráfica a través del método de Krigging mediante el software Surfer™. Es oportuno aclarar que en algunas ocasiones la misma tormenta ocasionó tiempo severo en dos sectores y en particular el 11 de septiembre entre las 18 y las 20 (hora local) se registraron fenómenos severos en gran parte de la ZMG.

Excepto en el evento señalado anteriormente, en todos los casos de severidad se apreciaron las condiciones sinópticas encontradas por García *et al.* (2005) y que consisten en la presencia de una capa de aire húmedo que abarca la troposfera baja y media; dicha capa estaba sujeta a un apreciable levantamiento y presencia de una onda corta en los 500 hPa, la que actuó como mecanismo disparador a escala sinóptica. Se señala que en el evento del 11 de septiembre no se presentó la onda corta en los 500 hPa, sino una fuerte corriente en chorro en los 200 hPa, lo que ayudó al levantamiento de aire húmedo mediante fuertes movimientos verticales ascendentes. En ninguno de los eventos se observó la presencia de una lengua seca en los niveles medios de la troposfera, rasgos que ya han sido identificados con anterioridad en la gran planicie de los Estados Unidos de América (Scheiner *et al.*, 2006, Broyles *et al.*, 2000), por lo que se mantiene la hipótesis de que el efecto orográfico desempeña un papel fundamental en el levantamiento del aire húmedo y funciona como factor compensatorio a la ausencia de la lengua seca.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Queda establecido que las TELS constituyen un elemento importante del clima de la ZMG, que no puede ser ignorado desde el punto de vista científico y mucho menos en la práctica, por los efectos que produce en la población e infraestructura de la ciudad.



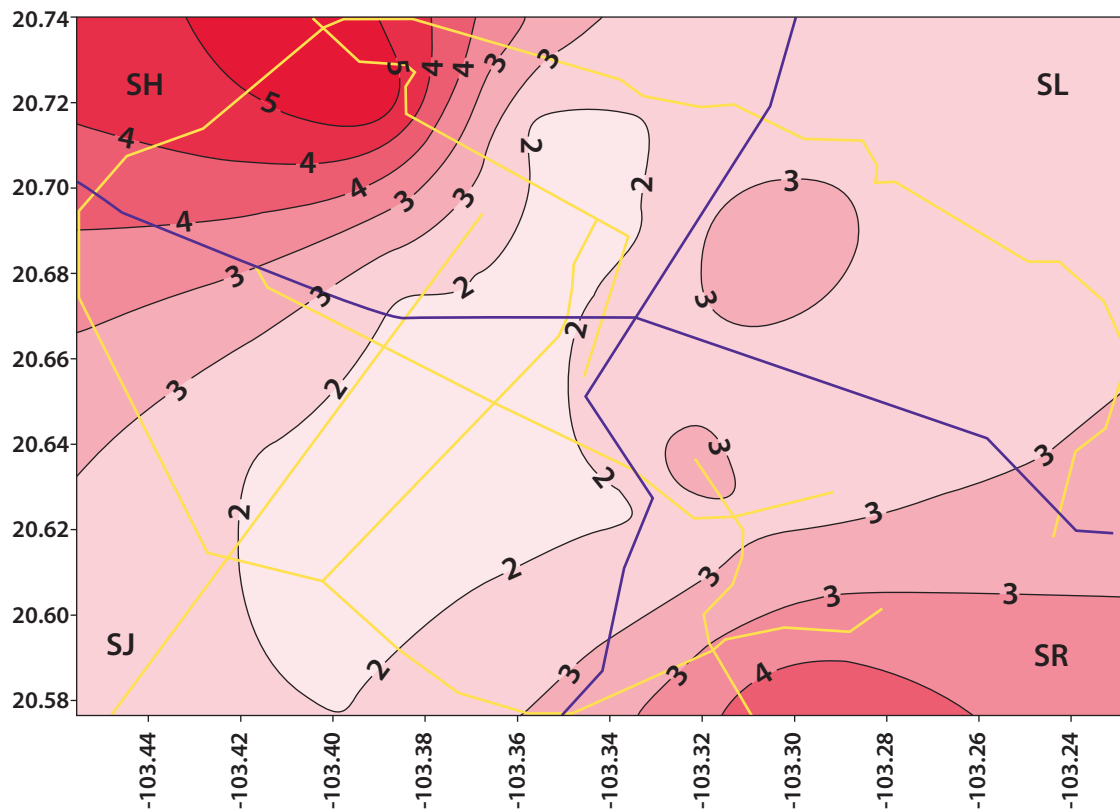


Figura 8. Distribución espacial de las TELS en la Zona Metropolitana de Guadalajara en el 2006. Sector Hidalgo (SH), Sector Juárez (SJ), Sector Libertad (SL) y Sector Reforma (SR).

Las TELS ocurren desde mayo hasta noviembre, destacándose los meses de junio, julio y agosto. La mayoría de estas tormentas se presentan durante horas de la tarde o de la noche, sin embargo, un grupo nada despreciable ocurre durante la madrugada.

Se recomienda la creación de una red de observadores voluntarios de fenómenos severos en la ZMG, los que después de recibir una asesoría por parte de los especialistas del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, podrán enviar reportes sobre la ocurrencia de tiempo severo en su zona y de esta manera tener una mayor densidad de información sobre este tipo de fenómenos.

## REFERENCIAS

- Alfonso, A. P. (1994), "Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología", Editorial Academia, La Habana, Cuba.
- Browning, K. A. (1965), "The evolution of tornadic storm", *J. Atm. Sci.*, 22(6), pp. 664-668.
- Broyles, J. C., N. Dipasquale and R. Wayne (2000a), "Synoptic and mesoscale characteristics associated with violent tornadoes across separate geographic regions of the United States: Part I. Low level Characteristics", *Preprints, 21<sup>st</sup> Conf. Severe Local Storms*, San Antonio, Tx. Amer. Meteor. Soc: J65-J68.

- Broyles, J. C., N. Dipasquale and R. Wayne (2000), "Synoptic and mesoscale characteristics associated with violent tornadoes across separate geographic regions of the United States: Part I Low level characteristics (j65-j68), Part II Upper level characteristics (J69-J72)", *Preprints, 21<sup>st</sup> Conf. Severe Local Storms*, San Antonio, Tx. Amer. Meteor. Soc.
- Forbes, G. S. and R. M. Wakimoto (1983), "A concentrated outbreak of tornados, downbursts and microburst and implication regarding vortex classification", *Monogr. Weather Rev.*, 11(1), pp. 220-235.
- Frisby, E. M. and H. W. Samson (1967), "Hail incidence in the tropics", *J. Appl. Meteorol.*, vol 6, no. 2, pp. 339-354.
- Fujita, T. T. (1978), "Manual de downburst identification for Project NIMROD", *SMRP REV. Pan*, 156, pp. 1-104.
- García, O., J. Alcalá, A. Meulenert y H. Ramírez (2005), "Condiciones sinópticas asociadas con la fuerte granizada ocurrida en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) el 8 de agosto del 2004", *Rev. Clima y Cosmos*, no. 2, vol. 2, pp. 12-16.
- Orlanski, I. (1975), "A rational subdivision of scales for atmospheric processes", *B.A.M.S.* 56(5), pp. 527-530.
- Schneider, R. S., A. R. Deane, S. J. Weiss and P. D. Bothwell (2006), "Analysis off estimate environment for 2004 and 2005 severe convective reports", *Preprints 23<sup>rd</sup> Conf. Severe Local Storms*, St. Louis MO, Amer. Meteor. Soc. [CD-ROM].