



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TÍTULO DE TESIS

**ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE TORMENTAS EN
MÉXICO. CASOS DE ESTUDIO: NOROESTE Y
CENTRO 2004-2006.**

QUE PARA OTORGAR EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

DAGOBERTO MARTÍNEZ MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.I. FABIOLA DEL ROSARIO ARELLANO LARA

2012



ÍNDICE

CAPÍTULO 1.

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Problemática	5
1.2	Objetivos	5
1.3	Justificación e hipótesis	6

CAPÍTULO 2.

2	EL PROCESO DE LA PRECIPITACIÓN	7
2.1	Formación de las nubes	8
2.2	Precipitación	16
2.3	Clasificación de la precipitación	16

CAPÍTULO 3.

3	VARIABILIDAD ATMOSFÉRICA	21
3.1	Generalidades de la circulación atmosférica	22
3.2	Escalas atmosféricas	24
3.3	Fenómenos de gran escala	25
3.4	Fenómenos convectivos de mesoescala	27

CAPÍTULO 4.

4	CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE TORMENTAS	30
4.1	Metodología de caracterización de tormentas	31
4.2	Caracterización de tormentas en el centro del país, Querétaro	36
4.3	Caracterización de tormentas en el Noroeste del país	78
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	116
A.1	Tormentas típicas del estado de Querétaro	117
A.2	Tormentas típicas del Noroeste	136
A.3	Tablas de meses de lluvia faltantes para la EMA Huimilpan	141
A.4	Tablas de meses de lluvia faltantes para la EMA Chinatú	145
A.5	Tablas de meses de lluvia faltantes para la EMA Urique	149
A.6	Tablas de cobertura nubosa para los rangos de temperatura, Querétaro	158
A.7	Tablas de cobertura nubosa para los rangos de temperatura, Noroeste	162
A.8	Relación de figuras utilizadas	166
A.9	Relación de tablas utilizadas	167

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE TORMENTAS EN MÉXICO. CASOS DE ESTUDIO: NOROESTE Y CENTRO 2004-2006.

INTRODUCCIÓN

Las tormentas son perturbaciones atmosféricas de carácter local que dan lugar a intensas descargas eléctricas y que normalmente van acompañadas por precipitaciones y vientos intensos (*OMM, 1966*). Así mismo, se manifiestan por una masa nubosa que se asienta sobre un bloque central llamado célula y que es una entidad dinámica caracterizada por una región donde se dan fuertes corrientes ascensionales cuyos radios oscilan, habitualmente, entre los 5 y los 40 km. (*BROWNING, 1977*).

Sin embargo, la estructura de estas células convectivas puede ser bastante variable y por ello se han intentado algunas clasificaciones que atienden a criterios muy generales, basados en las informaciones aportadas por radares meteorológicos.

Por otra parte, el conocimiento de la estructura que tienen y de sus características resulta de mayor interés para conocer la génesis y evolución de las tormentas. Además hay que tener en cuenta que, al ser de carácter local, presentan características bastante diferenciadas de unos lugares a otros.

Lo anterior nos conduce a presentar el siguiente trabajo el cual nos habla de las características tan marcadas que desarrolla un sistema convectivo, es decir una tormenta, con respecto de un sitio a otro, así mismo de la evolución que presenta en un rango de tiempo determinado, como se mostrara en los apartados siguientes.

El análisis de los sistemas convectivos (tormentas típicas) a mesoescala, esta basado en imágenes de satélite IR (infrarrojas), las cuales presentan un patrón de temperaturas específicas, generando un realce más óptimo sobre la masa nubosa, lo que propicia un límite más claro del área de estudio de la tormenta.

Con la llegada de los datos de satélites meteorológicos a entornos operativos de predicción, se desarrollo un cambio de mentalidad en cómo analizar y entender los procesos atmosféricos, sobre todo y en gran medida en los sistemas convectivos.

1.1 PROBLEMÁTICA.

Tanto en México como en algunos otros países, se está pasando por una situación de disminución de estaciones climatológicas (Lobato, *et al.*, 2001), debido a diversas causas. Adicionalmente que la distribución de la red de estaciones climatológicas no es uniforme y no cumple con las recomendaciones mínimas de densidad que dicta la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Arellano, 2006). Lo anterior nos conduce a que los datos de la red climatológica deben ser utilizados con reservas, para la realización de pronósticos de inundaciones. El aprovechamiento de otras fuentes de información mejorará las aplicaciones de la modelación hidrológica, por ejemplo el uso de imágenes de satélite.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta, es la presencia de numerosos sistemas de precipitación en el país, originados entre otras causas, por las características geográficas especiales de la República mexicana, estos fenómenos a su vez provocan inundaciones severas en distintas zonas del territorio nacional, así como posibles daños a la población. Se seleccionó el estado de Querétaro para caracterizar la zona centro del país donde existe gran densidad de población y riesgos de inundación, la cual guarda una serie de características de relieve y climatológicas asociadas a las precipitaciones que ahí ocurren. Así mismo se seleccionó la zona noroeste del país que presenta otras condiciones muy distintas con respecto a la zona centro, por lo que se podrá comparar el comportamiento de las lluvias en las dos regiones.

1.2 OBJETIVO GENERAL.

Realizar la caracterización de los patrones de tormentas típicas a partir de imágenes de satélite IR (Infrarrojas) en la región del noroeste y zona centro del país, que representan las zonas de estudio.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Se realizará la parametrización de tormentas típicas tomando en cuenta la cobertura, dirección, trayectoria y evolución de los sistemas. Así como la intensidad de los mismos. Sin embargo, dentro de este contexto, no existen estudios a detalle sobre la discretización de la lluvia pronosticada a mesoescala, dentro de la cual trabajan estos modelos y que podría emplearse en el diseño de obras de hidráulicas.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Las tormentas más significativas y frecuentes son originadas por los sistemas de precipitación de mesoescala, tales eventos, representan en la mayoría de las ocasiones graves daños y peligros potenciales a la población. Una estimación eficiente de la lluvia para el pronóstico de escurrimientos, requiere de la correcta medición de la distribución espacial y temporal de la lluvia. El empleo de datos de lluvia registrados únicamente por redes pluviométricas, radares meteorológicos ó satélites, no tiene la capacidad de describir completamente la variabilidad de las tormentas, debido a las limitantes propias de cada técnica.

1.3.1 HIPÓTESIS.

A partir de la caracterización de los sistemas de tormentas en base a imágenes de satélite, es posible la parametrización de tormentas que mejorará la aplicación de los modelos hidrológicos espacial y temporalmente.

CAPÍTULO 2.

PROCESO DE PRECIPITACIÓN

2. PROCESO DE PRECIPITACIÓN.

2.1 FORMACIÓN DE LAS NUBES.

Para obtener una mejor comprensión a cerca de la formación de las nubes, es importante conocer como se fueron planteando las ideas sobre este fenómeno atmosférico y que circunstancias llevaron el conocimiento a lo que hoy en día se conoce.

El primer dato que se expuso a cerca de este tema fue en 1802 cuando el químico ingles John Dalton expuso la teoría de que el vapor de agua era un gas que se comporta en el aire como cualquier otro gas y se mezcla con ellos, pero que no se combina químicamente. Y que las moléculas de agua que se encuentran en el aire ejercen una presión de vapor de agua que es independiente de la de otros gases. Cuando esta presión de vapor es alta, el aire se satura de vapor y cualquier aumento del mismo se traduce en precipitación.

Posteriormente en el año de 1875 el científico francés Paul Coulier descubrió durante sus experimentos a cerca de la niebla, que el aire que cumplía todos los requisitos de temperatura, presión y humedad relativa no podía formar niebla sin partículas de polvo. Las partículas de polvo atmosféricas son producidas por distintas causas, una de las principales es por las actividades desarrolladas por los humanos. El polvo forma los núcleos alrededor de los cuales se condensa el vapor de agua, de manera que si no se encuentran estos núcleos de condensación el aire podría estar supersaturado de vapor sin que se formaran nubes, ocasionando que repentinamente se condensen grandes masas de nubes surgidas aparentemente de la nada y desencadenen fuertes aguaceros que azoten la tierra, provocando un sin fin de daños a la población.

Las nubes se forman cuando una masa de aire cargada de humedad se calienta y se eleva por la atmósfera. Conforme el aire asciende lentamente, la presión atmosférica disminuye gradualmente, dando lugar a que el aire se dilate. La energía necesaria para que se desarrolle esta dilatación procede del interior de la misma masa de aire en forma de calor, traduciéndose en una caída de temperatura. La velocidad de caída de temperatura se le llama velocidad de caída adiabática y es de casi un grado Celsius por cada 100 metros. Siendo que la velocidad de caída adiabática, es la velocidad a la que una parte de aire saturado disminuye su temperatura a medida que se eleva verticalmente y se forman gotitas de agua en la nube, conocidas como gotas de nube.

Ahora si la masa de aire húmedo continúa elevándose, puede alcanzar su punto de rocío y el vapor de agua se condensa alrededor de diminutas partículas de polvo, es decir los núcleos de condensación. Cuando el vapor de agua se condensa, libera el calor latente, que es el calor que se desprende cuando el agua cambia de estado, es decir de gas a líquido o de líquido a sólido. A su vez la liberación de calor latente hace más lento el enfriamiento del aire. El aire mantiene su poder ascensional que contribuye al crecimiento hacia arriba de la nube.

Las nubes también presentan un origen orográfico cuando las corrientes de aire húmedo son interrumpidas por las cadenas montañosas que bloquean su camino, dando lugar a nubes y a fuertes precipitaciones en la ladera de la montaña expuesta al

viento, mientras que la ladera libre del viento queda despejada y seca, siendo el lado donde se suelen formar zonas un tanto desérticas y semidesérticas. (*Ericsson, 1991*).

Las nubes que se forman en niveles altos de la troposfera son nubes conformadas por cristales de hielo, mientras que las de niveles inferiores están compuestas enteramente de gotas de agua. A niveles medios las nubes pueden estar formadas de una mezcla de gotas de agua, cristales de hielo y gotas sobreenfriadas. Una nube está compuesta por cientos de millones de cristales y gotas. El tipo de nube depende de diversos factores tales como la cantidad de humedad del aire, la dimensión vertical y la estabilidad atmosférica. (*Whitaker, 1996*).

Existen diversos procesos capaces de hacer que el aire se eleve por la atmósfera y forme nubes de todas formas y tamaños; los principales mecanismos de elevación del aire son los siguientes:

1. Convección, cuando el sol calienta el suelo, éste reirradia calor hacia el aire que lo cubre. Este fenómeno se origina en superficies tales como pavimentos, la arena del desierto y la tierra, por lo que las bolsas de aire caliente tienden a formarse sobre estas superficies. Dichas bolsas se elevan y al llegar al punto de rocío, forman las nubes. Cuanto mayor sea el grado de calentamiento, mas fuerte será la convección.
2. Se produce donde se forman frentes. Cuando dos masas de aire a distintas temperaturas entran en contacto entre sí, y el aire frío empuja hacia arriba al aire caliente. Si el aire ascendente contiene suficiente humedad, se forman las nubes.
3. Remonte orográfico, tiene lugar cuando una masa de aire encuentra una cordillera. La masa terrestre hace que el aire se eleve, a menudo hasta el nivel de condensación. El remonte orográfico puede originar formaciones de nubes poco habituales.

2.1.1 CONDENSACIÓN.

La condensación es el proceso de transformación del vapor de agua, a agua líquida. El resultado de este proceso puede ser la formación de rocío, niebla o nubes. Las condiciones indispensables bajo las cuales se da la ocurrencia de la condensación son dos.

a) El aire debe estar saturado de humedad. La saturación puede originarse ya sea cuando, el aire se enfría hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío o cuando al aire se le agrega suficiente vapor de agua. Estos procesos pueden presentarse en forma independiente o simultánea.

b) La existencia de partículas sobre las cuales el vapor de agua pueda adherirse para condensarse, son denominadas como núcleos de condensación.

2.1.2 NÚCLEOS DE CONDENSACIÓN.

Los núcleos de condensación son partículas microscópicas sólidas (llamados aerosoles de tamaño del orden de 0.1 micrómetros de diámetro) en suspensión en la atmósfera, sobre cuya superficie pueden adherirse las moléculas de vapor de agua, para iniciar el proceso de condensación.

Actúan como núcleos de condensación todo tipo de impurezas en la atmósfera como partículas de sal, polvo, humo, polen, etc., los que abundan en la baja atmósfera. Las partículas más efectivas como núcleos de condensación para formar las gotas de nubes se llaman núcleos higroscópicos, que significa que son buenos absorbedores del agua. Los núcleos higroscópicos más comunes son pequeños cristales de sulfato y compuestos de nitrato, introducidos a la atmósfera principalmente por la combustión de los incendios forestales, emisión de gases por los vehículos, quemas de carbón, petróleo y otros combustibles, y las partículas de sal producidas por el rompimiento de las olas de los océanos.

El proceso de condensación se inicia en los núcleos de higroscópicos; inicialmente el crecimiento de las gotitas de agua es rápido, pero este disminuye en un corto tiempo, porque se consume rápidamente el vapor de agua disponible por el gran número de gotas que se van formando. El resultado es una nube que consta de billones de pequeñas gotitas de agua, que por ser muy pequeñas permanecen en suspensión en el aire, y no caerán como lluvia hasta que las gotas crezcan para tener suficiente volumen que les permita caer por su propio peso. La inmensa diferencia de tamaño entre una gota de nube y una de lluvia, se muestra a continuación (del orden de un millón de gotas de nubes forman una gota de lluvia). (*Inzunza, 2003*).

2.1.3 PROCESOS DE CRECIMIENTO DE LAS GOTAS.

Los principales procesos involucrados en el crecimiento de las gotas son el de coalescencia y el de difusión de vapor, los cuales se describen brevemente a continuación.

- a. Coalescencia: Es el aumento de tamaño de las gotas debido al contacto con otras gotas. Además, las gotas grandes ya cayendo incorporan a las gotas más pequeñas.
- b. Difusión de vapor: Es el proceso por el cual el aire, después del nivel de condensación, continúa evolucionando y provoca difusión (transporte) de vapor supersaturado y su consiguiente condensación en torno a las pequeñas gotas que aumentan de tamaño.

En la figura 2.1 se muestran los diámetros de las gotas de lluvia, las gotas de nube y los núcleos de condensación.

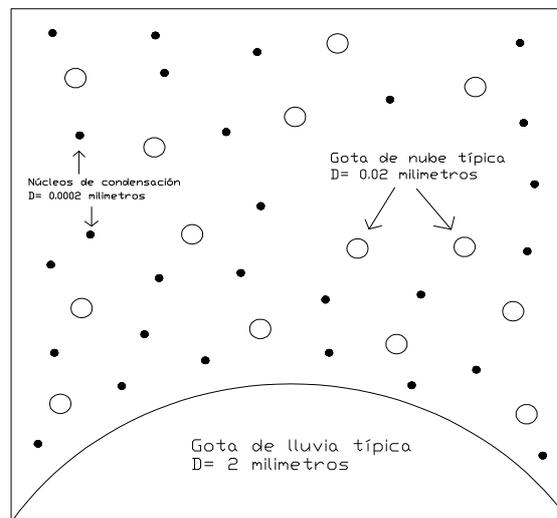


Figura 2.1 Tamaño relativo (diámetro) de los núcleos de condensación, gotas de nube y gotas de lluvia. (Inzunza, 2003).

2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS NUBES.

En el año de 1803 el farmacéutico y meteorólogo inglés, Luke Howard realizó la primera clasificación de las nubes.

Su clasificación se basó de acuerdo con su aspecto y comportamiento. Como primera clasificación reconoció tres tipos básicos de nubes y les proporcionó nombres latinos. (Ericsson, 1991). Las definiciones presentadas son las descritas por la NOAA Technical Memorandum NWS SR-145.

- a) **Cirrus:** Nubes altas (16000 pies o más, 5000 m. aproximadamente) compuestas por cristales de hielo y que aparecen en forma de filamentos blancos y delicados, o de manchas o bandas estrechas en su mayoría blancas. Los cirros, típicamente tienen una apariencia fibrosa o de cabello, y a menudo son semitransparentes. Los *yunque* (anvil) tormentosos son una forma de cirros, pero la mayoría de cirros no están asociados a tormentas.
- b) **Cúmulos:** Nubes separadas, generalmente densas, y con bordes recortados, mostrando un desarrollo vertical en forma de cúpulas, montones o *torres* (towers). Las cimas, normalmente, son redondeadas, mientras que las bases son más horizontales. Ver Cb, *coliflores* (towering cúmulos).
- c) **Stratus:** Capa nubosa baja, generalmente gris, con una base bastante uniforme. Los estratos pueden aparecer en forma de parches deshilachados, pero por otra parte no exhiben elementos nubosos individuales, como los cúmulos, y los stratocúmulos. La niebla es usualmente una forma de estrato basada en superficie.

Enseguida se presentan las definiciones de las nubes a las que se hace referencia.

Cirrus: Se le denomina de esta manera a las nubes altas que circulan en el cielo en forma de briznas. Estas formaciones indican la presencia de vapor en los niveles altos de la atmósfera. En estos niveles la temperatura suele ser negativa, y cualquier masa de aire que se enfríe hasta saturarse produce hielo en vez de gotas de agua. Pueden cubrir parcelas aisladas o una amplia zona del cielo, dependiendo de la distribución del vapor. El cirrus puede ser el resultado de la actividad tormentosa localizada. Estas nubes están separadas, en forma de filamentos blancos y delicados, totalmente o en su mayor parte blancas, figura 2.2.



Figura 2.2 Nube Cirrus

Stratus: Aparecen cuando masas relativas de aire húmedo se elevan lentamente en una atmósfera estable hasta el nivel de condensación. La elevación de la masa de aire generalmente es a causa del choque de un sistema frontal de viento con una gran masa de tierra. Suelen presentar un aspecto gris y deshilachado, su desarrollo vertical varía desde una capa semitransparente de pocos metros hasta longitudes de 500 metros. Mientras que su extensión horizontal es mucho mayor y puede llegar a cubrir cientos de kilómetros cuadrados. Puede producir lluvias débiles o lloviznas, o nieve ligera en temperaturas bajo cero siempre y cuando su desarrollo vertical sea suficiente. Cuando es visible el Sol a través de la capa, su contorno se destaca claramente, figura 2.3.



Figura 2.3 Nube Stratus

Cúmulus: Se forman normalmente como el resultado de la ascensión de bolsas localizadas de aire cálido. El vapor de agua se condensa en forma de copos bien definidos a poca altitud. La altura de la base de esta pequeña nube está determinada por la humedad de la masa de aire que la rodea. En zonas con un alto grado de humedad la base puede desarrollarse a una altura de 600 metros y en zonas más secas se origina a niveles mucho más altos. Debido a su poco grosor, esta formación de nubes no produce ninguna alteración significativa del tiempo. Son nubes separadas, generalmente densas, figura 2.4.



Figura 2.4 Nube Cúmulus

2.1.5 GÉNEROS.

Todas estas características específicas, forma y altura, dan lugar a un alto índice de variabilidad morfológica de las nubes, no obstante lo cual es posible identificar un número determinado de formas bien definidas que se pueden observar en cualquier parte del globo terrestre y que permiten establecer una clasificación de las nubes en diferentes grupos o géneros a partir de la agrupación anterior pero más detallada. Se distinguen diez géneros de nubes, cuyos nombres se proporcionan en la tabla 2.1. Los símbolos son los que utiliza el observador meteorológico para indicar el estado del cielo y que se informan en la carta de tiempo. Estos diez grupos principales se excluyen mutuamente, es decir que una determinada nube sólo puede pertenecer a uno de los géneros enunciados. Pero dentro de estos géneros se admiten subdivisiones en especies y variedades de nubes. Existen, también las denominadas nubes especiales, cuya detección no es frecuente, y que normalmente no son incluidas en las especificaciones antes consideradas. (*Inzunza, 2003*).

Tabla 2.1 Géneros de nubes.

Nombre	Símbolo
Cirrus	Ci
Cirrocumulus	Cc
Cirrostratus	Cs
Alto cúmulus	Ac
Altostratus	As
Nimbostratus	Ns
Stratus	St
Stratocúmulus	Sc
Cúmulos	Cu
Cumulonimbus	Cb

2.1.6 RASGOS SUPLEMENTARIOS Y NUBES ACCESORIAS.

Por otra parte, ciertas nubes pueden tener partes características unidas a su cuerpo principal o separado de él, tales como protuberancias colgantes, estelas de precipitación, fragmentos de nubes bajas, etc. Estas partes características son conocidas como rasgos suplementarios y nubes accesorias.

Una nube determinada puede presentar simultáneamente uno o varios de estos rasgos suplementarios o de esas nubes accesorias. Los rasgos suplementarios son especialmente importantes por cuanto pueden dar una idea de las características significativas de la dinámica de la atmósfera local. Ejemplo de una clasificación completa de una formación nubosa sería: Cirrocúmulus (género), Stratiformis (especie), Lacunosus (variedad), Virga (rasgo suplementario). La abreviatura con la que aparecería según el Atlas Internacional de Nubes sería: **Cc str la vir.** (Inzunza, 2003).

En tabla 2.2 se muestran las clasificaciones que se han desarrollado de las nubes, de acuerdo a las características que se mencionaron anteriormente.

Tabla 2.2 Clasificación de Nubes. (Inzunza, 2003).

GENEROS	ESPECIES	VARIETADES	Rasgos Suplementarios nubes accesorias	NUBES MADRES	
				GENITUS	MUTATUS
Cirrus	fibratus uncinus spissatus castellanus floccus	intortus radiatus vertebratus duplicatus	mamma	Cirrocúmulus Altocúmulus Cumulonimbus	Cirrostratus
Cirrocúmulus	stratiformis lenticularis castellanus floccus	undulatus lacunosus	virga mamma		Cirrus Cirrostratus Altocúmulus
Cirrostratus	fibratus nebulosus	duplicatus undulatus		Cirrocúmulus Cumulonimbus	Cirrus Cirrocúmulus Altostratus
Altocúmulus	stratiformis lenticularis castellanus floccus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	virga mamma	Cúmulus Cumulonimbus	Cirrocúmulus Altostratus Nimbostratus Stratocúmulus
Altostratus		translúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus	virga praecipitatio pannus mamma	Altocúmulus Cumulonimbus	Cirrostratus Nimbostratus
Nimbostratus			praecipitatio virga pannus	Cúmulus Cumulonimbus	Altocúmulus Altostratus Stratocúmulus
Stratocúmulos	stratiformis lenticularis castellanus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	mamma virga praecipitatio	Altostratus Nimbostratus Cúmulus Cumulonimbus	Altocúmulus Nimbostratus Stratus
Stratus	nebulosus fractus	opacus translúcidos undulatus	praecipitatio	Nimbostratus Cúmulus Cumulonimbus	Stratocúmulus
Cúmulus	humilis mediocris congestus fractus	radiatus	pileus velum arcus pannus tuba praecipitatio virga	Altocúmulus Stratocúmulus	Stratocúmulus stratus
Cumulonimbus	calvus capillatus		praecipitatio virga pannus incus mamma pileus velum arcus tuba	Altocúmulus Altostratus Nimbostratus Stratocúmulus Cúmulos	Cúmulus

2.2 PRECIPITACIÓN.

La lluvia se define como el agua procedente de la atmósfera que alcanza el nivel del suelo en estado líquido. En principio la lluvia se forma en una nube en forma de gotas o de cristales de hielo. Cuando adquieren suficiente tamaño caen de la nube por efecto de la gravedad, y si llegan a ser cristales de hielo se desmoronan en su trayectoria al suelo.

Formación de las precipitaciones.

Los elementos necesarios para la formación de las precipitaciones son los siguientes:

- Humedad atmosférica.
- Radiación solar.
- Mecanismo de enfriamiento del aire.
- Presencia de núcleos higroscópicos para que haya condensación.
- Mecanismo de crecimiento de las partículas.

Proceso de la formación de la precipitación.

- a. El aire húmedo de los estratos bajos es calentado por conducción.
- b. El aire húmedo, entonces, se torna más leve que el de las parcelas vecinas y experimenta una ascensión adiabática.
- c. El aire húmedo, entonces, se expande y se enfría a razón de 1 °c por cada 100 m (expansión adiabática seca) hasta llegar a su nivel de condensación.
- d. A partir de ese nivel, y con núcleos higroscópicos, el vapor de agua se condensa formando minúsculas gotas a lo largo de dichos núcleos.
- e. Dichas gotas se mantienen en suspensión hasta que por un proceso de crecimiento, alcanzan el tamaño suficiente para poder precipitar. (*Monsalve, 1999*).

2.3 CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

2.3.1 CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA.

Se le denomina precipitación a toda el agua que cae de las nubes en forma líquida o sólida. La lluvia que llega al suelo puede clasificarse de diferentes maneras. Para usos profesionales, la precipitación líquida se clasifica según el tamaño de las gotas y la visibilidad asociada. (*Observar del tiempo, Richard Whitaker, 1996*).

Debido a que las condiciones atmosféricas varían mucho geográfica y estacionalmente, son posibles diferentes formas de precipitación. Las más comunes son la lluvia y la nieve.

a) Lluvia: Se define como una precipitación de agua líquida que llega al suelo, con gotas de diámetro entre 0.5 y 5 milímetros. Las gotas pueden ser grandes o pequeñas pero más separadas. Se clasifica como débil, moderada o fuerte según la cantidad que cae y de la visibilidad que manifiesta. En particular a la lluvia la generan las nubes estratiformes, particularmente estratos y altostratos.

b) Llovizna: Es la precipitación que genera gotas de menos de 0.065 milímetros de diámetro que caen cerca unas de otras. Se puede considerar débil, moderada o fuerte dependiendo de la visibilidad.

c) Neblina o garúa: Llovizna mucho más tenue aún, donde las gotas individuales apenas se alcanzan a visualizar.

d) Nieve: La nieve empieza en forma de cristales de hielo que forman una nube cuando el vapor de agua se congela alrededor de diminutas partículas sólidas en niveles medios y altos donde las temperaturas son muy inferiores a 0° C. Los cristales de hielo se van uniendo unos con otros y forman copos de nieve. Cuando los copos de nieve tienen suficiente peso, caen al suelo. Los cristales de hielo adoptan una gran variedad de formas dependiendo de la temperatura, el grado de humedad del aire y del entorno. Todos tienen la característica de ser hexagonales, con un motivo único que no se repite.

e) Aguanieve: Nieve parcialmente fundida o mezcla de nieve y lluvia. Esto es debido a un aire lo suficientemente templado como para fundir parcialmente la nieve, pero no lo suficientemente cálido como para transformarla en lluvia.

f) Lluvia helada: Se produce cuando la temperatura en el nivel de las nubes son negativas y las gotas de agua que caen de las nubes están sobreenfriadas. Esto significa que lo más probable es que se congelen en cuanto lleguen a una capa de aire más fría o a una superficie que esté bajo cero. Las gotas de agua sobreenfriadas procedentes de las nubes pueden congelarse al caer a través de una gruesa capa de aire frío, formando minúsculos perdigones de hielo. También estas gotas sobreenfriadas se congelan al chocar con el suelo.

g) Aguja de hielo: Delgadas barritas o pequeñas chapas de hielo muy livianas que flotan.

h) Granizo: Se forma cuando las gotas de agua sobreenfriadas circulan en la zona de corrientes ascendentes del interior de un cumulonimbus.

Al pasar a través de áreas de diferente temperatura y grado de humedad, se acumulan en ellas distintos tipos de hielo. La formación de granizo requiere la presencia de las fuertes corrientes ascendentes, propias de las tormentas de primavera o de verano. Es poco probable que llegue granizo al suelo en regiones tropicales, por que las altas temperaturas fundirían las piedras en el camino. Las tormentas que producen granizo son más comunes en latitudes medias.

i) Rocío: Generalmente es despreciado en la precipitación, se forma por la condensación directa de vapor de agua al rozar superficies frías, es decir al estar en contacto el vapor de agua con la superficie, se enfría y alcanza a saturarse y condensarse.

j) Precipitación continua: Sin variaciones bruscas en su intensidad, tal como la lluvia o nieve que cae suavemente de una capa de altostratus y nimbostratus. Esta precipitación es debida a movimientos de grandes masas de aire que ascienden

lentamente en una amplia extensión horizontal. Estos son los sistemas asociados corrientemente con los frentes y los ciclones.

k) Chubascos: Son las precipitaciones de nubes cumuliformes. Estas precipitaciones suelen ser localizadas y a veces solo duran unos minutos. Sin embargo, algunos chubascos pueden ser fuertes, especialmente cuando acompañan a las tormentas.

2.3.2 CLASIFICACIÓN GENÉTICA.

Las precipitaciones pueden ser clasificadas de acuerdo con las condiciones que producen el movimiento vertical del aire: como son convectivas, orográficas y de convergencia.

Precipitación convectiva.

De acuerdo a Arellano (2008), se trata de la lluvia proveniente de una nube originada del enfriamiento convectivo ó de la convección térmica, la cual es propiciada por la inestabilidad de una masa de aire caliente respecto a las parcelas circundantes. La turbulencia generada ocasiona el ascenso inicial de la masa de aire, luego a medida que la parcela es elevada su temperatura desciende hasta llegar a la temperatura de punto de rocío, donde comienza el proceso de condensación. El ascenso continua hasta que la temperatura de la masa de aire frío esta en equilibrio o es mayor que la temperatura del aire que la rodea, etapa en la cual la convección se detiene. Así son generadas las nubes cumuliformes denominadas también células convectivas debido a que desarrollan precipitación en forma de chubascos o tormentas, caracterizadas por fuertes intensidades y cortas duraciones (1 hora).

La base de las nubes cumuliformes se localiza normalmente en las altitudes en las cuales ocurre la saturación, alrededor de los 2 km sobre la superficie terrestre.

El ciclo de vida de una tormenta ordinaria (célula convectiva) comprende tres etapas que son, la fase inicial o cúmulo, la fase de madurez y la fase de disipación. En la Figura 2.5, se muestra la representación de estas fases. Ésta sencilla idealización fue propuesta por Byers y Braham en 1949, la cual está basada en las observaciones de las tormentas presentes en latitudes medias (Byers y Braham, 1949; Rogers y Yau, 1989; Smith, 1993).

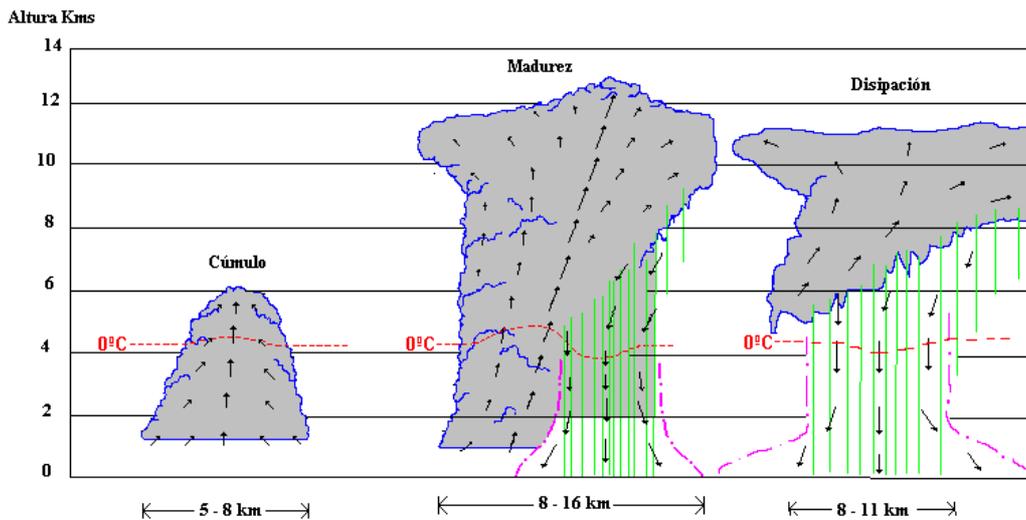


Figura 2.5. Modelo de evolución de una tormenta ordinaria de acuerdo a Byers-Braham. La circulación del aire y la forma de precipitación también son representadas (figura adaptada de Martín y Riosalido, (1999), anteriormente citada en Byers-Braham, (1949) y Arellano (2008)).

Las características fundamentales de cada una de las etapas según Martín y Riosalido (1999) se mencionan a continuación:

- Fase inicial o cúmulo:** En el interior de la nube predominan los movimientos ascendentes que determinan su desarrollo alcanzando una altura entre los 6 y 8 km. El cúmulo está compuesto básicamente de gotitas de nube por lo que no se presenta precipitación, en esta etapa no se producen rayos.
- Fase de madurez:** La torre vertical puede alcanzar una elevación cercana a los 12 km, se tiene la presencia de precipitación. La precipitación cae verticalmente manteniéndose muy cerca de, o en contacto con la corriente descendente. La base de la nube se extiende entre los 8 y 16 km, y aparecen los primeros rayos durante esta etapa.
- Fase de disipación:** En esta etapa la circulación ascendente del aire ha sido absorbida por la corriente descendente, excepto en la parte superior de la célula. La tormenta ha alcanzado su máximo crecimiento, que puede ser hasta los 15 km, ya que ha cesado la alimentación de agua a evaporar suministrada por la corriente ascendente. La precipitación continúa hasta la desaparición de la burbuja fría.

Precipitaciones orográficas.

La lluvia orográfica es la producida por el ascenso de una columna de aire húmedo con movimiento horizontal al encontrarse con un obstáculo orográfico, como lo es una montaña. En su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100%, que origina propiamente la lluvia. Como se muestra en la figura 2.6. La orografía juega un papel importante en la cantidad, intensidad, distribución espacial y duración de la precipitación.

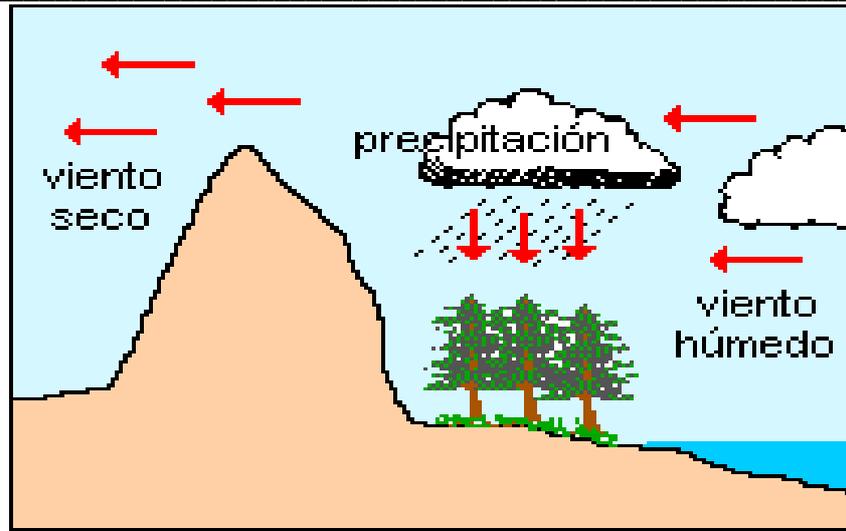


Figura 2.6 Formación de lluvias orográficas.

Precipitación por convergencia.

Existen tres tipos: convergencia propiamente dicha, ciclones y frentes.

El ciclón es una masa de aire circular con baja presión que gira en el sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Tiene en su centro el “ojo del ciclón”, en el cual la presión es baja comparada con la masa de aire. Funciona entonces, como una chimenea, haciendo subir el aire de las capas inferiores. El anticiclón es una zona de alta presión circular, que gira en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

Se forma un frente cuando una masa de aire en movimiento encuentra otra masa de aire de diferente temperatura, mostrado en la figura 2.7. Si la masa de aire en movimiento es fría y encuentra en su camino otra de temperatura superior, el aire de esta última, por menos denso, se eleva sobre la capa de aire frío formando un frente frío. Si la masa de mayor temperatura encuentra en su movimiento una masa de aire frío, se forma un frente cálido.

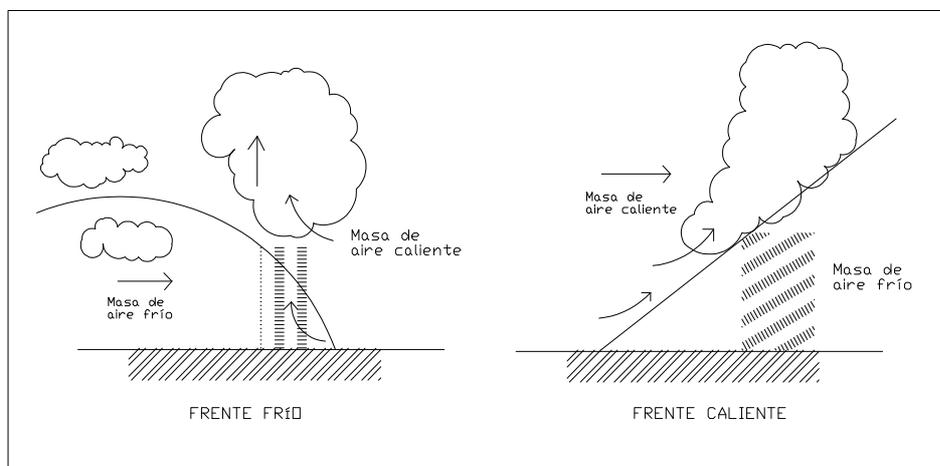


Figura 2.7 Formación de Frentes (Monsalve, 1999).

CAPÍTULO 3.

VARIABILIDAD ATMOSFÉRICA

3. VARIABILIDAD ATMÓSFERICA.

La Atmósfera, es una mezcla de varios gases que rodea un objeto celeste (como la Tierra) cuando éste cuenta con un campo gravitatorio suficiente para impedir que escapen.

La atmósfera terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón (0,9%), el dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.

En base a estudios realizados, se estima que hasta los 88 km por encima del nivel del mar la composición de la atmósfera es sustancialmente la misma que al nivel del suelo. El movimiento continuo ocasionado por las corrientes atmosféricas contrarresta la tendencia de los gases más pesados a permanecer por debajo de los más ligeros.

La atmósfera se divide en varias capas. En la capa inferior, se encuentra la troposfera, la temperatura suele bajar 5,5 °C por cada 1000 metros. Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 16 km en las regiones tropicales (con una temperatura de -79 °C) y hasta unos 9,7 km en latitudes templadas (con una temperatura de unos -51 °C). A continuación está la estratosfera. En su parte inferior la temperatura es prácticamente constante, o bien aumenta ligeramente con la altitud, especialmente en las regiones tropicales. El estrato llamado mesosfera, que va desde los 50 a los 80 km, se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura.

En la atmósfera se desarrollan diferentes procesos asociados a las diferentes escalas de espacio y tiempo. En conjunto estos mecanismos son los generadores del clima en la Tierra. A continuación se describen en forma general los principales procesos relacionados con las escalas empleadas atmosféricamente. (INEGI, 2000.)

3.1. GENERALIDADES DE LA CIRCULACIÓN ATMÓSFERICA.

Se llama circulación general de la atmósfera al sistema de vientos de escala planetaria, que los conocemos en base a dos fuentes: con valores de presión y viento observados en todo el mundo y por estudios teóricos de la dinámica de fluidos geofísicos.

El modelo primitivo mas elemental de circulación global sugiere la existencia de una sola celda de circulación vertical llamada Celda de Hadley, en honor a George Hadley (1795 – 1868), quien fue el primero en desarrollar este modelo clásico.

Se le denomina viento al movimiento del aire, y es un resultado de las diferencias de presión atmosférica, atribuidas sobre todo a las diferencias de temperatura. Debido a que el calentamiento diferencial en superficie genera las diferencias de presión, la desigual distribución de la radiación solar, junto con las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas, son los responsables de la formación del viento. El aire fluye desde las áreas de altas presiones a las de baja presión, por lo que el viento no es más que un intento natural por balancear las diferencias de presión de

gran escala. Existen otros factores que afectan al viento. Si la Tierra no girara y si no hubiera fricción, el aire se movería directamente desde las áreas de altas presiones a las de baja presión. Pero como ambos efectos existen, el viento es controlado por una combinación de esos factores: la fuerza, las variaciones de presión, el efecto de la rotación terrestre y la fricción del aire con la superficie.

Movimiento vertical del aire.

Una componente fundamental del viento es el movimiento vertical, especialmente el ascendente por su importancia en la formación de nubes. Por lo tanto interesa conocer como el viento horizontal se relaciona con el movimiento vertical. El aire que converge hacia un centro ciclónico genera un movimiento vertical hacia arriba. Este aire ascendente produce condensación, formación de nubes y precipitación, por lo que un ciclón está asociado con atmósfera inestable y mal tiempo. Pero en realidad, un ciclón en superficie se origina porque en altura se crea una región de divergencia de aire. Esta divergencia en altura succiona el aire de niveles inferiores, produciendo el ascenso del aire sacándolo desde superficie, lo que genera la baja de presión. De manera similar, en un anticiclón en superficie hay divergencia del viento y subsidencia que es generada por una convergencia en altura. La subsidencia comprime el aire, por lo que se calienta, evitando la formación de nubes y produciendo buen tiempo.

La circulación general se define como la distribución general media de los vientos sobre la superficie del globo. La circulación atmosférica es factor fundamental en la formación de las precipitaciones y en las características climáticas.

Para entender dicha circulación se realizaron las siguientes suposiciones:

- **Tierra sin movimiento o circulación atmosférica térmica pura.**

1. No se considera rotación terrestre.
2. No se considera el efecto de distribución de mares y continentes.
3. La circulación se explica así: El ecuador recibe mayor radiación solar que en las zonas de mayor latitud. El aire ecuatorial al calentarse es más liviano y tiende a subir con la altitud h . Al subir es remplazado por aire frío proveniente de otras latitudes mayores. La única manera de remplazar ese aire frío proveniente de otras latitudes es por arriba, por medio de corrientes de aire caliente ecuatorial hacia los polos.

- **Tierra en movimiento. Modelo de circulación latitudinal y meridional.**

1. Las masas de aire son puestas en movimiento por los notables gradientes de presión que resultan de los cambios bruscos de temperatura meridional y por el momento angular impartido por la rotación de la superficie de la tierra. El momento angular se define como la cantidad resultante de multiplicar la masa por la velocidad.
2. El mecanismo de distribución de energía más aceptado es el modelo de circulación. En dicho modelo se distinguen dos tipos de movimiento de aire:
3. Vientos en superficie (movimiento en sentido horizontal). Siempre divergen de los centros de alta presión y convergen en los centros de baja presión.

4. Movimientos verticales, los cuales son ascendentes con la altitud h en zonas de baja presión y son descendentes en zonas de alta presión.

Los fenómenos siempre ocurren en la troposfera (la faja inferior de la atmósfera), la cual tiene una altura en el ecuador de 18 km y en los polos de 9 km. Como características de la troposfera, se encuentran movimientos continuos en sentido horizontal (vientos) y en sentido vertical (corrientes de aire), (Inzunza, 2003).

3.2 ESCALAS ATMOSFÉRICAS.

Los movimientos atmosféricos se pueden producir en distintas escalas de tiempo y espacio. Es posible reconocer algunas escalas típicas que se definen a continuación y en la tabla anexa 3.1.

Macroescala o escala planetaria: En esta escala se encuentran los más grandes patrones de viento, como los alisios en latitudes tropicales, con dirección predominante del este, o los vientos del oeste en latitudes medias. El flujo se produce alrededor de todo el globo y puede durar semanas o meses con pocos cambios.

Escala sinóptica: Es la que se representa comúnmente en las cartas sinópticas. Sus dimensiones son de cientos a miles de kilómetros y la duración de los eventos del orden de días a 1 - 1½ semanas. Los ciclones y anticiclones de latitudes medias, que tienen un movimiento medio en dirección oeste - este, caen en esta escala. En estas dos escalas los movimientos son predominantemente horizontales, casi (pero sólo casi) sin movimiento vertical.

Mesoescala: Los movimientos en esta escala se producen en áreas más pequeñas del orden de 100 km o menos, y su duración típica es de horas a 1-2 días. Se encuentran en esta escala los vientos que se producen en áreas costeras o brisas de mar y tierra y vientos en zonas montañosas o brisas de valle – montaña. Aquí los movimientos verticales pueden ser de gran magnitud.

Microescala: Movimientos de pequeñas dimensiones y muy corta duración, generalmente caóticos, como remolinos de polvo o turbulencia, con movimientos verticales muy intensos.

Tabla 3.1 Escalas meteorológicas (Adaptado de Orlanski, 1975).

NOMBRE	ESCALA	DURACIÓN	FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS
Macro-a	15000 km	1 mes	Circulación general, ondas largas
Macro-b	5000 km	1 semana	Depresiones y anticiclones
Macro-g	500 km	2 días	Frentes y huracanes
Meso-b	100 km	6 horas	Brisas, ondas de montañas, chorro de bajo nivel, complejos convectivos, isla térmica.
Meso-g	5 km	1 hora	Tornados y TAC
Meso-d	500 km	30 min	Cúmulos, tornados, Vientos catabáticos
Micro-b	50 km	5 min	Penachos, estelas, trombas y tolvaneras
Micro-g	2 km	1 seg	Ondas sonoras y turbulencia

3.3 FENÓMENOS DE GRAN ESCALA.

3.3.1 LOS SISTEMAS DEL MONZÓN.

Un monzón se define como un cambio estacional en la dirección del viento. En un verdadero clima monzónico, los cambios estacionales del viento provocan típicamente un cambio drástico en los patrones generales de precipitación y temperatura. Sin embargo, el monzón también puede asociarse igualmente con tiempo seco, ya que la fase monzónica "húmeda" de aire cálido y húmedo es reemplazada por un monzón "seco de aire fresco y seco.

Se puede describir físicamente el ciclo monzónico anual como el resultado de la variación de la radiación solar entrante y el calentamiento diferencial en las superficies de la tierra y el agua. Dicho de manera simple, secciones de la superficie del planeta se calientan y enfrían con tasas diferentes que dependen de su capacidad de absorber la radiación solar y de la época del año. Los cuerpos de agua, que pueden absorber luz solar a varias profundidades (y por consiguiente reflejan menos hacia la atmósfera), almacenan energía más eficientemente que la tierra y, por lo tanto, retienen el calor por más tiempo que una masa de tierra. Las superficies terrestres ganan o pierden calor a una mayor velocidad debido a lo superficial de sus áreas absorbentes. Para mantener el equilibrio energético, el calor se transfiere de áreas con exceso hacia las que tienen un déficit y, en el caso de un diferencial tierra-agua, esto se realiza por medio de un fenómeno conocido como brisa tierra-mar. Por ejemplo, en un día soleado en la playa, la tierra se calienta más rápidamente que el océano. A medida que el aire caliente se eleva sobre la tierra, es reemplazado por el aire más fresco que está sobre el agua. Sin embargo, por la noche la tierra se enfría a mayor velocidad que el agua por lo que el viento cambia, soplando de la tierra hacia el agua más cálida.

En una escala mayor, como en un continente rodeado por océanos, la acumulación en el tiempo de calor sobre la tierra da como resultado la formación de masas de aire de baja densidad, o áreas de baja presión. E inversamente, aire más denso asociado con alta presión domina las superficies oceánicas. Las corrientes oceánicas y de viento, que resultan porque el aire fluye de alta hacia baja presión, mezclan las áreas de aire y agua más cálidas y más frescas, contribuyendo al equilibrio energético global. Este intercambio es evidente a niveles diferentes de la atmósfera. El aire que converge en un centro de baja presión en la superficie se eleva, lo que conduce a condensación de la humedad y la subsiguiente liberación de calor en la atmósfera superior. El aire que diverge en la superficie en un centro de alta presión está asociado con el aire que desciende de la atmósfera superior y con la evaporación, un mecanismo para el almacenamiento de energía. (*Monzón, 1991*).

3.3.2 CORRIENTES DE CHORRO (The Jet Stream).

Las corrientes de chorro de acuerdo a Linés et al. (1963), son vientos de mucha fuerza que circulan entre 7 y 12 kilómetros por encima de la superficie terrestre y que pueden tener una gran influencia en el tiempo.

El prof. C. G. Rossby fue el primero en llamar a esa corriente Jet Stream. Generalmente afecta a zonas atmosféricas de miles de Km. de longitud, algunos cientos de anchura y

un espesor de unos pocos (más de dos o tres). La cizalladura vertical es del orden de 20-40 Km/h. por Km.; la lateral, de unos 20 Km/h. por 100 Km. y la velocidad del viento, como mínimo, de 110 Km/h. Su explicación física presenta todavía algunos puntos oscuros. Suele aparecer junto a roturas o discontinuidades en la tropopausa y su eje se sitúa, generalmente, entre los niveles de 200 y 300 mb. En los máximos de gradiente térmico. Normalmente el chorro se da en áreas de confluencia de corrientes de aire. Las corrientes en chorro más desarrolladas aparecen asociadas con el frente polar y, por tanto, en la zona de vientos del O (v. meteorología). Unas veces se presenta como un corriente del O, y otras muy ondulado, con ramales del N unas veces y otras del S. El chorro polar, salvo discontinuidades, puede seguirse en cada hemisferio en una zona ancha rodeando el casquete polar; sin embargo, en verano aparece trasladado hacia el polo (generalmente por encima de los 50° de latitud), y en invierno se aproxima hacia el ecuador apareciendo en latitudes incluso próximas a los 35°. No obstante, puede presentarse en cualquier área geográfica, aun fuera de los límites citados. En invierno, sobre todo en latitudes altas, el chorro polar puede tener su núcleo a unos 8 Km. de altura, pero lo normal es a unos 10 ó 12; en verano suele estar entre los 11 y los 15 Km. En ambos casos: el eje del chorro se localiza en la vertical de la intersección de la superficie frontal polar con la isobárica del 500 mb.

3.3.3 CICLONES Y ANTICICLONES.

Se le denomina ciclones a las masas de aire que ascienden y anticiclones a las masas de aire que descienden. Una masa de aire puede ascender por dos razones, o porque está más caliente que el entorno, o porque se ve empujada hacia arriba. Una masa de aire puede descender por dos razones, o porque está más fría que el entorno o porque se ve empujada hacia abajo. De esta manera tenemos dos tipos de borrascas (o ciclones) y dos tipos de anticiclones, como se muestra en la figura 3.1.

1.- Ciclón térmico; que es la masa de aire que asciende porque está más caliente que el entorno. Es típica de las regiones tropicales y conlleva un tiempo nuboso, lluvioso y cálido. Ciclones térmicos son también las tormentas de verano, aunque estas tienen un carácter muy local.

2.- Ciclón dinámico; que es la masa de aire cálida que asciende porque se ve empujada hacia arriba por el aire polar en movimiento. Forma el llamado Frente Polar y conlleva un tipo de tiempo nuboso, lluvioso y frío.

3.- Anticiclón térmico; que es la masa de aire que desciende porque está más fría que el entorno. Es típica de las regiones polares y el interior los grandes continentes como Siberia y Canadá. Conlleva un tiempo seco, soleado y muy frío. En general, a medida que desciende el aire se va calentando, pero cuando el suelo está muy frío se puede formar una inversión térmica, en la que las capas superiores de la atmósfera están más calientes que las inferiores.

4.- Anticiclón dinámico; que es la masa de aire que desciende porque se ve empujada hacia abajo por el choque en altura del aire frío del Frente Polar y el aire tropical. A medida que desciende se va calentando y secando, por lo que conllevan un tiempo seco, soleado y caluroso, con vientos flojos y calmas. (Lorente, 1961).

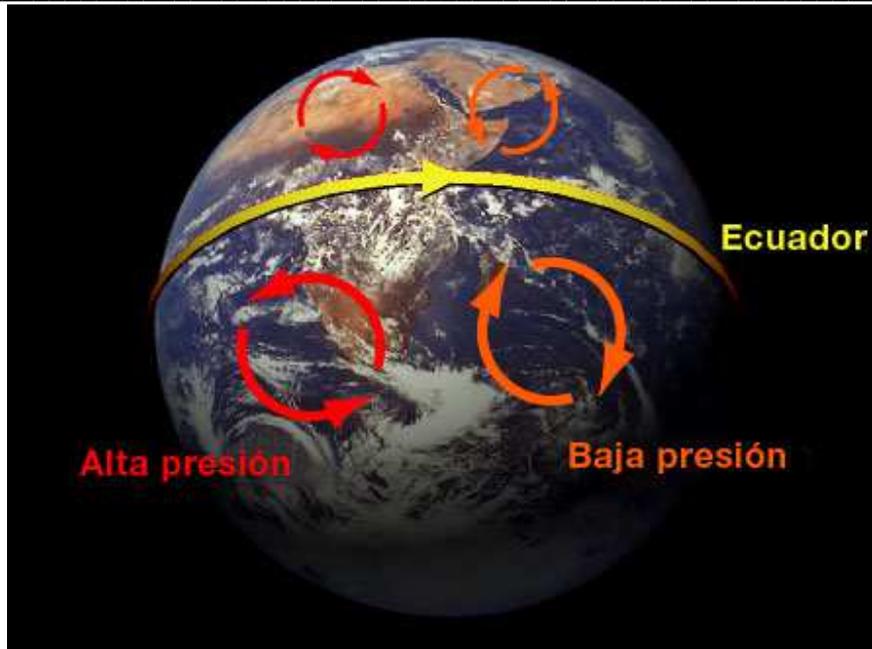


Figura 3.1 Formación de Ciclones y Anticiclones (Lorente, 1961).

Las flechas en la fotografía de la Tierra muestran las diferentes direcciones de las rotaciones de los sistemas de baja y alta presión. Vea cómo esa dirección gira de forma contraria a ambos lados del ecuador.

3.4 FENÓMENOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA.

Según Linés et al. (1963), un fenómeno de mesoescala es aquél que tiene una duración entre 1 y 12 horas o una extensión horizontal entre 1 y 100 Km o una altura entre 1 y 10 Km. Ejemplo de estos fenómenos son las tormentas convectivas, tornados, brisa de mar, etc.

Sistemas convectivos de mesoescala

Existen diferentes clasificaciones de los fenómenos de precipitación basados tanto en mediciones de radar, así como, en mediciones de satélites, es decir tales agrupaciones han sido realizadas en función de los instrumentos de observación de los sistemas de precipitación. En cada uno de estos grupos, se encuentra la definición de los sistemas convectivos de mesoescala.

La clasificación básica de los fenómenos convectivos basada en imágenes de radar, comprende: células aisladas, multicélulas y supercélulas. Tal clasificación toma en cuenta la intensidad de las corrientes ascendentes, y la frecuencia de ocurrencia. Los sistemas convectivos de mesoescala quedan comprendidos dentro de las estructuras de multicélulas, y estos pueden generar tormentas muy severas en superficie.

En particular, los SCM también son clasificados en función de las observaciones de radar, ya sea por la organización de las células convectivas o por la orientación de la zona estratiforme con respecto a las células convectivas.

En cuanto a la caracterización de los sistemas de precipitación, en base a las imágenes de satélite, puede tratarse de líneas de turbonada (LT), sistemas convectivos de mesoescala (SCM) y complejos convectivos de mesoescala (CCM).

Maddox (1980) definió los complejos convectivos de mesoescala (CCM), a partir de las imágenes satelitales vistas en banda infrarroja (IR). Estas imágenes IR utilizan el reflejo de diferentes umbrales de temperatura, sin embargo las temperaturas de las nubes altas no están muy bien relacionadas al proceso físico de las tormentas y por lo tanto de la lluvia (Nesbitt *et al.*, 1999). En un principio, los criterios de Maddox (1980) comprendían estructuras nubosas que debían abarcar áreas entre 50 000 km² y 100 000 km², duración de 6 horas y forma elíptica, las cuales corresponden a grandes fenómenos convectivos. Principalmente por estos motivos, los criterios de Maddox se redefinieron para abarcar en este rango a un mayor número de sistemas convectivos. Posteriormente la imágenes IR fueron empujadas por Houze (1993), quien definió a los SCM como **“una estructura nubosa formada por un conjunto de focos convectivos que contribuyen todos a conformar un área de precipitación común del orden de 100 km o más, al menos en una dirección”**. A partir de la definición de SCM de Houze (1993), se han planteado nuevas definiciones más restrictivas, que consideran las imágenes de satélites geoestacionarios para identificar las características de forma y dimensiones de los SCM. Las líneas de turbonada desde el punto de vista de satélite, son sistemas nubosos de origen convectivo que presentan una estructura lineal. (Arellano, 2008).

Estimación de lluvia a partir de imágenes de satélite

Los satélites pueden ser de tipo geostacionario o polar de acuerdo a su orbita. Los satélites geoestacionarios se encuentran en órbita circular sobre el ecuador, en la que el satélite da vueltas alrededor de la tierra a la misma velocidad con que ésta gira, es decir, una vuelta cada 24 horas, están a una altitud de 35.910 km, y así permiten obtener imágenes cada media hora o hasta 5 minutos de un sitio. En el caso de los satélites polares estos se colocan a altitudes entre 500 y 2000 km, son puestos normalmente en orbitas polares, su periodo de rotación es de 1 a 2 h (Fattorelli *et al.*, 1996).

El estudio de los SCM se incrementó con la implementación de los sistemas satelitales, en los satélites se instalaron sensores remotos para la recolección de las características atmosféricas en superficie. La estimación de intensidades de lluvia se apoyó en las imágenes satelitales IR (banda infrarroja), así como también en imágenes VIS (banda visible).

Entre los principales programas satelitales se encuentra la serie NOAA (Nacional oceanic and atmosférica administration) de los E. U. con varias generaciones de satélites de orbitas polares. El sensor de los satélites NOAA es un radiómetro avanzado a muy alta resolución (AVHRR, por sus siglas en inglés), este sensor tenía un principio 4 bandas espectrales (VIS, IR cercano, 2 bandas de IR térmico). Tiempo después fueron lanzados los satélites GOES (Geostationary operational environmental satellite) también por parte de los E. U .A., las imágenes de los GOES son tipo VIS y tipo IR generadas cada 30 minutos, de día o de noche. El primer satélite GOES 5, lanzado en la década de los 80, sirvió para cubrir la costa oriental de los Estados Unidos.

Los sistemas de satélites utilizados en Europa están formados por satélites METEOSAT, satélites de tipo geoestacionario con una altitud de 36 000 km. El sensor que utilizan en estos satélites es un radiómetro multiespectral que produce imágenes en tres bandas diferentes (VIS, IR térmico, y VA). Otros países como Japón y Rusia operan sus propios programas satelitales. Sin embargo, la información de cualquiera de estos sensores no mide directamente la lluvia.

La estimación de lluvias por medio de imágenes de satélite se basa principalmente de las siguientes técnicas: uso de datos visibles e infrarrojos y el uso de radiación de microondas pasivas.

Las técnicas de estimación de lluvia que interpretan las imágenes VIS e IR requieren adicionalmente de métodos complementarios empíricos que infieren de manera cuantitativa las lluvias. Entre estas técnicas empíricas se encuentra el procedimiento del umbral, el método del índice de nube y el procedimiento de la historia de vida.

Las mediciones de la precipitación con microondas pasivas obtenida de satélites pueden ser de absorción-emisión (por gotas de lluvia) aplicable sobre el mar ó por métodos de dispersión (por partículas de hielo) los cuales son aplicables sobre terrenos ó las superficies oceánicas. Entre los sensores utilizados para estas mediciones se tienen el ESMR-5 (Electrically scanning microwave radiometer) lanzado en 1972, SMNR (Scanning multichannel microwave radiometer) y el SSM/I (Special sensor microwave imagery).

Cada grupo de técnicas anteriores presenta sus propias limitantes, sin embargo el uso de ambas técnicas combinadas mejoraría las estimaciones de la precipitación. Esta consideración fue decisiva para la integración del satélite METEOSAT y el sensor SSM/I (Fattorelli *et al.*, 1996).

La capacidad de los satélites para obtener información atmosférica y del clima en superficie también ha sido utilizada para el desarrollo de modelos atmosféricos de mayor precisión que aquellos que se basan sólo en datos de radar y de estaciones pluviométricas. Los distintos modelos se clasifican en regionales o globales y a su vez en numéricos o estadísticos.

CAPÍTULO 4.

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE TORMENTAS

4. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE TORMENTAS

4.1 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS

Para facilitar la identificación de los Sistemas Convectivos a Mesoescala, (SCM), como parte del procesamiento de las imágenes se utilizó un realce específico para la observación de los rangos de temperatura en las nubes frías. La transformación de los valores de píxeles de las imágenes empaquetadas en 8-bits a temperaturas de brillo, cada valor de píxel corresponde a un área de 16 km² y la identificación de nubes frías se realizó con base en la convención aplicada por la NOAA para imágenes IR disponible en www.goes.noaa.gov/ECIR3.html, que consiste en las siguientes formulaciones:

- (A) : si $B > 176$ entonces $T = 418 - B$ (1)
- (B) : si $B \leq 176$ entonces $T = 330 - (B/2)$ (2)

Donde B es el valor del píxel y T corresponde a la temperatura en °K.

Las ecuaciones con las que contamos ya se encuentran calibradas así como los transmisores de las imágenes, por lo cual la única manera de obtener las temperaturas de brillo es utilizando estas ecuaciones.

Entonces empleando el software ArcINFO 9.3 de ESRI (ARGIS) se hizo la correspondencia entre distintos colores únicamente para diferenciar rangos de temperaturas de brillo. Los colores se seleccionaron a modo de semáforo inverso comenzando con el color rojo para las nubes frías, mientras que los colores amarillo y verde para nubes con temperaturas cálidas. Los sistemas convectivos hacen referencia a la tormenta típica en estudio.

Las imágenes de satélite que se tomaron en cuenta son las que se encontraban dentro del lapso de tiempo establecido, que consta de seis horas antes de la tormenta típica y cuatro horas después, en un intervalo de tiempo de 15 minutos entre cada imagen, se consideró este total de tiempo para obtener un análisis detallado de la evolución y disipación del sistema.

En cada imagen se puede notar en la parte superior izquierda una referencia en texto, la cual nos habla del mes, del día, de la hora y del minuto en la cual se encuentra capturada cada imagen. Para la zona centro los años de estudio de las tormentas son del 2005 y 2006, mientras que para la zona noroeste 2004 y 2005. El procedimiento para la selección de las tormentas se explica en los apartados correspondientes a las respectivas zonas de estudio, centro y noroeste de México.

Procesamiento de imágenes de satélite.

Las imágenes de satélite se encuentran en el formato nativo o proyección Martha Software Satellite con datum WGS84 y fueron transformadas para su manejo en el software arcview 9.3 por medio del software GEOMÁTICA, de acuerdo al procedimiento de ejecución que éste software ofrece. El formato de la imagen utilizado para arcview presenta una proyección geográfica del tipo raster, datum NAD 27 (México), como se

muestra en la figura 4.1. (Las imágenes en formato raster así fueron proporcionadas por M.I. Fabiola Arellano Lara).

El siguiente paso consistió en procesar cada una de las tormentas seleccionadas. Para ello y dado que cada Sistema Convectivo a Mesoescala (MSC) debe ser estudiado como una estructura única, es necesario separar en la imagen original la nubosidad que no pertenece al sistema, figura 4.2.

La técnica utilizada para ello fue la siguiente:

- Trazado del polígono alrededor del sistema que limita el área de estudio de los diferentes rangos de temperaturas de brillo, así mismo se traza la diagonal mayor y menor de forma arbitraria, (siempre ayudándonos por el ArcINFO 9.3 de ESRI (ARGIS) para delimitar la temperatura a partir de -32°C).

Las imágenes nativas obtenidas por Martha Software Satellite presentan una temperatura que inicia a partir de -32°C , por convención con la NOAA para el tipo de imágenes empleadas. Los rangos de temperaturas que se presentaron son los que a continuación se muestran, estos rangos se determinaron para obtener datos más concisos manejando un intervalo de temperatura, entre ellos de 20°C , el intervalo utilizado es arbitrario, ya que se puede utilizar cualquier otro.

- Color Rojo para temperaturas mayores de -90°C
- Color Amarillo para temperaturas de -70 hasta -90°C
- Color Verde brillante para temperaturas de -50 hasta -70°C
- Color Verde oscuro para temperaturas de -32 hasta -50°C
- Extracción de los datos geométricos de los polígonos, en base a hojas de cálculo que nos permite utilizar el ArcINFO 9.3, (Área del polígono en base al rango de temperaturas, distancia de la diagonal mayor y menor).

La delimitación del polígono de trabajo no plantea mayores dificultades salvo en los casos de fusiones o divisiones de núcleos de SCM, en los cuales la separación se realizó de forma subjetiva tal y como se refleja en algunas de las tormentas

Las características anteriormente planteadas son esenciales y de gran importancia para establecer un criterio de comportamiento de la lluvia que presenta una duración típica. En la figura 4.3 se muestra una imagen con la identificación de polígonos, diagonales y temperaturas, así como la ubicación del sistema sobre la zona de estudio.

En la figura 4.8 se muestra la localización de coordenadas para la zona de Querétaro, se hace referencia a una sola imagen debido a que las demás presentan las mismas coordenadas y solo prevalece la diferencia en el intervalo de tiempo en que fueron capturadas cada una de las imágenes. Así mismo ocurre en la figura 4.30 donde se muestra la localización de las coordenadas para la zona Noroeste.

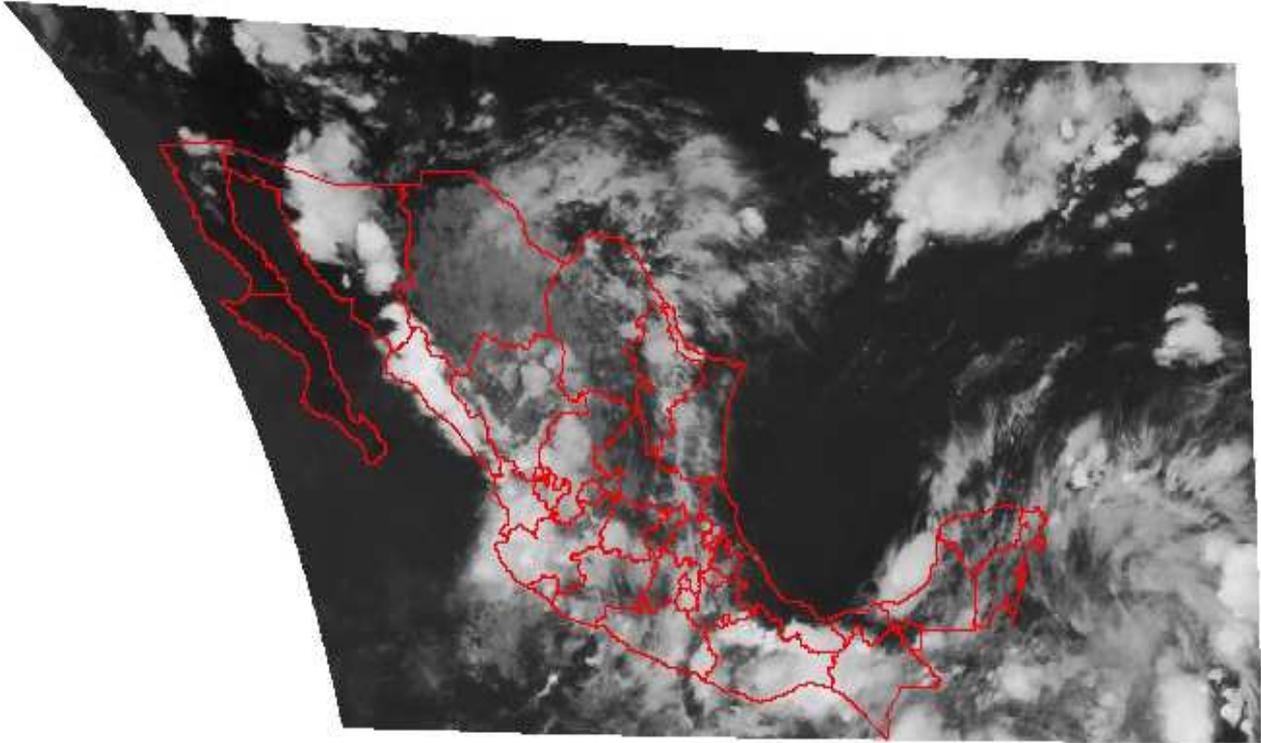


Figura 4.1 Imagen transformada del tipo raster y datum NAD 27.

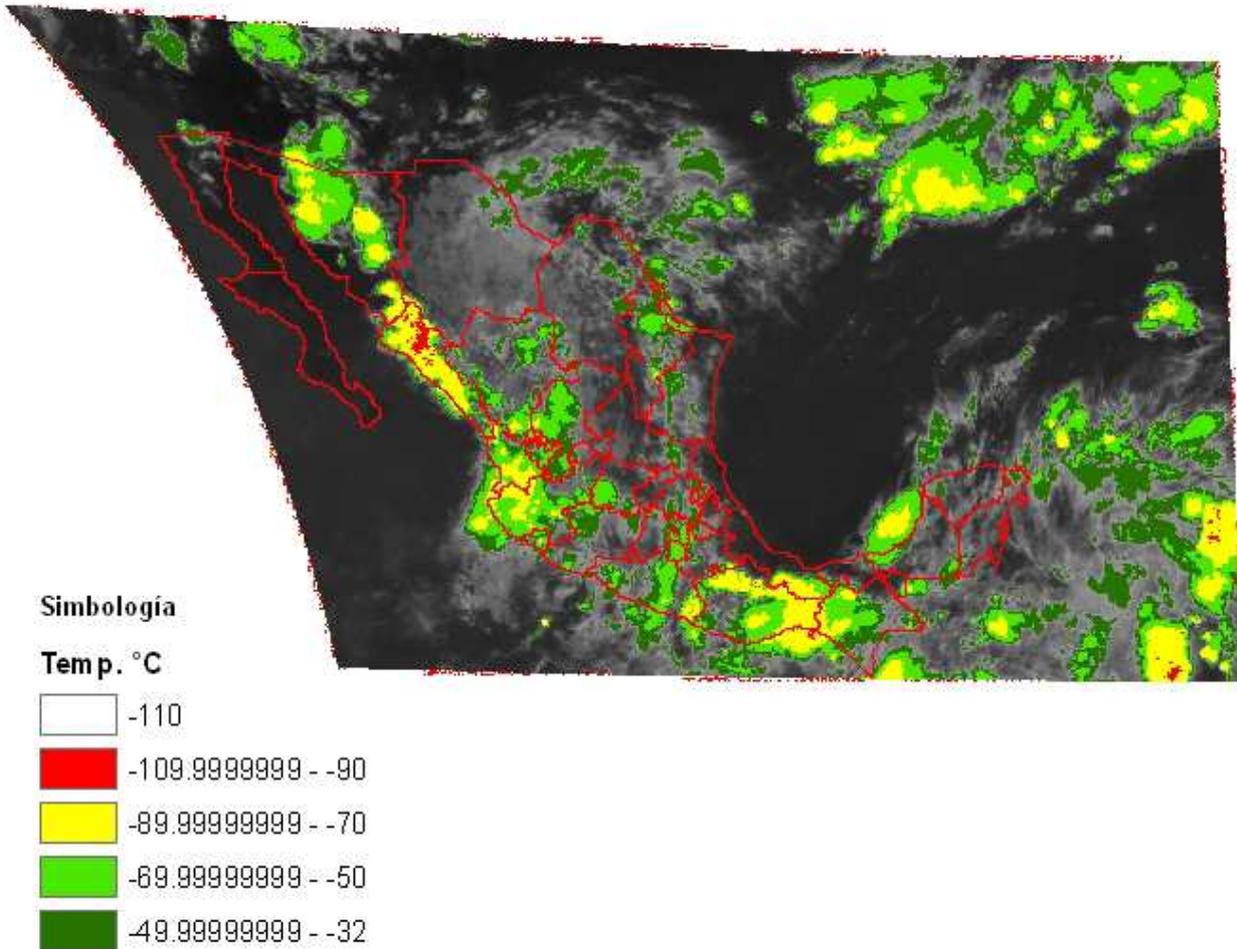


Figura 4.2 Imagen en escala de grises, separando la nubosidad que no pertenece al sistema.

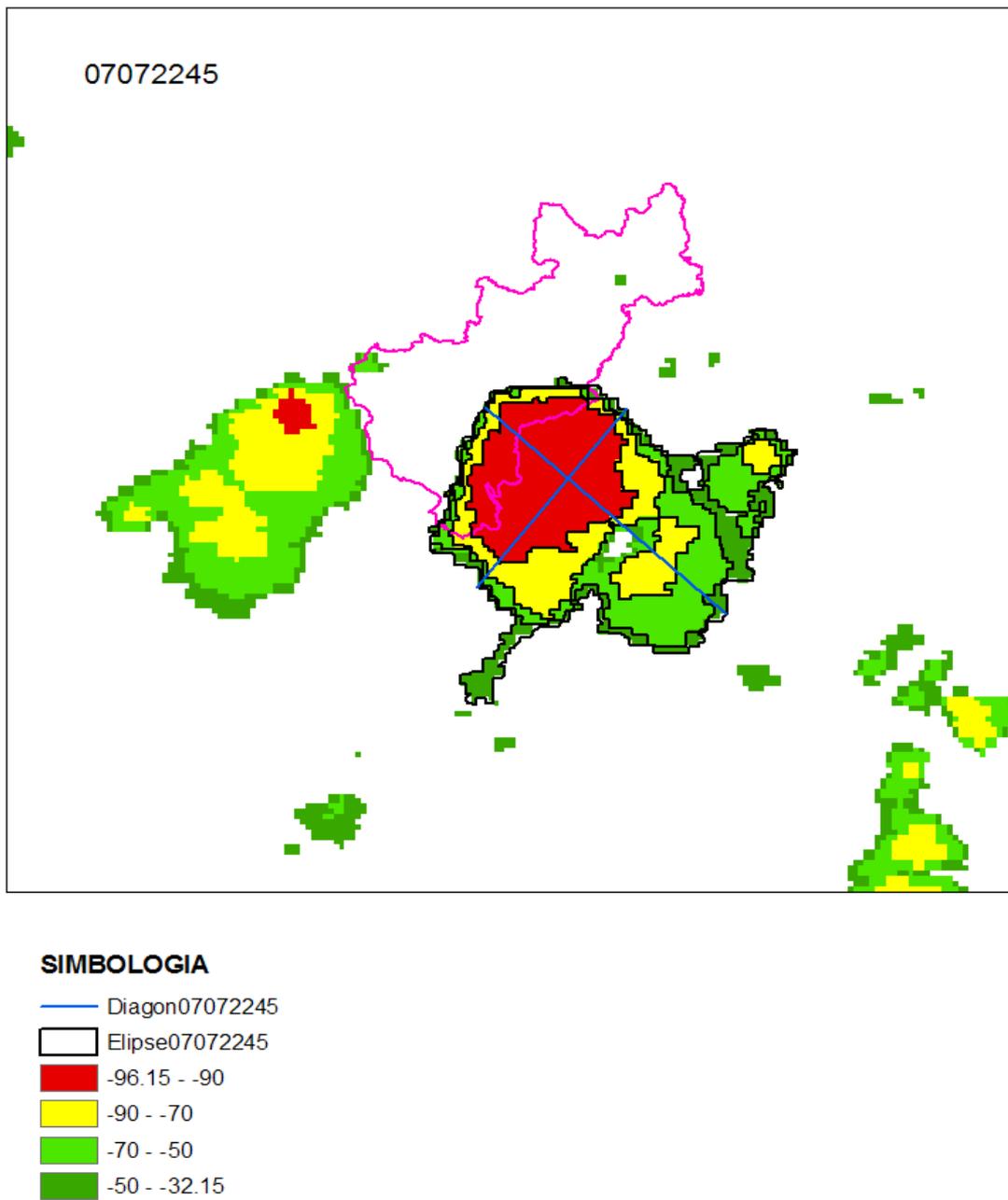


Figura 4.3 Identificación de polígonos alrededor de las diferentes temperaturas, diagonales y temperaturas para la tormenta del día 8 de julio del 2005 a las 22:45 p.m.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS EN EL CENTRO DEL PAÍS, QUERÉTARO.

4.2.1 MARCO FÍSICO DE QUERÉTARO.

Localización.

El estado de Querétaro se localiza entre las coordenadas 21° 40', 20° 01' de latitud norte y 99° 03', 100° 36' de longitud oeste. Como se muestra en la figura 4.4, aproximadamente se ubica en la zona centro del país. La superficie de Querétaro es de 11 769 Km². Dicho estado se encuentra conformado por 18 municipios.



Figura 4.4 Localización. (INEGI, 2000).

Orografía.

El estado de Querétaro participa simultáneamente con las provincias fisiográficas de la Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico Transmexicano. La Provincia de la Mesa del Centro ocupa la región del Centro - Occidente de la entidad, a una extensión equivalente del 14.12% de la superficie total del estado. Las formaciones rocosas que presenta pueden llegar a elevaciones superiores a los 3 000 msnm. La Provincia de la Sierra Madre Oriental ocupa el 35.97% del territorio y presenta elevaciones superiores a los 3 000 msnm, con depresiones de 900 msnm, mientras que la Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano ocupa una superficie que alcanza el 49.91% del territorio. Se compone de cerros y mesetas situados entre los 2 000 y los 3 000 msnm, y los valles que se ubican entre 1 800 y 1900 metros de altitud.

Hidrografía.

El estado participa en las dos grandes regiones hidrológicas nacionales: el Lerma - Santiago y el Pánuco. Como se muestra en la figura 4.5; La región Lerma - Santiago está integrada por las cuencas Lerma - Toluca y La Laja; en tanto que la región Pánuco se compone por las cuencas: Tamuín y Moctezuma. En su región Occidental, por medio de los ríos Querétaro y del Pueblito, acopia las aguas de varios afluentes a partir del volcán Zamorano en Colón, señalándose como parte opuesta a la loma de Calamanda en Pedro Escobedo, para verter al río La Laja. Esta cuenca cubre una superficie de 2 800 km² en el estado y su desplazamiento medio anual es de 40 millones de metros cúbicos en la actualidad.

El río Lerma capta también las corrientes en el Sur de los municipios de Amealco y Huimilpan, en una superficie de 117 Km².

El río Moctezuma constituye el límite con el estado de Hidalgo y tiene como afluente principal el río Extoraz desde el interior del estado. Esta cuenca ocupa 4 400 km² y aporta un desplazamiento promedio de 444 millones de metros cúbicos al año.

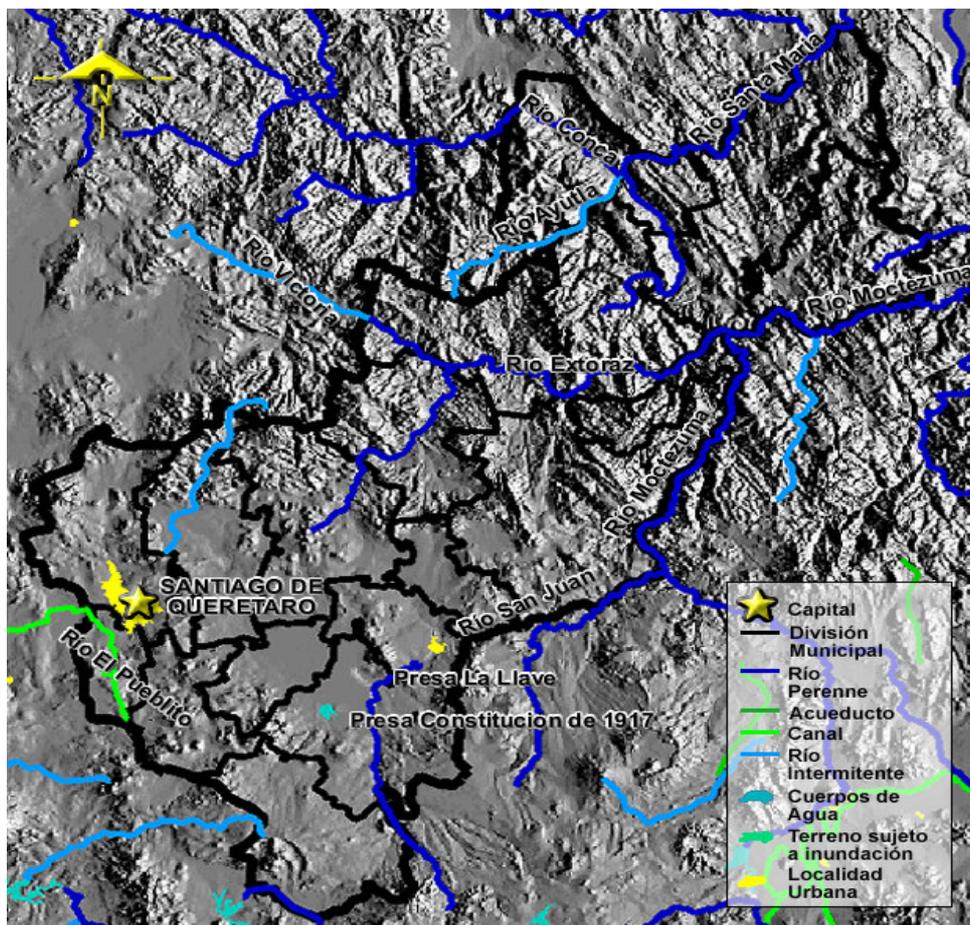


Figura 4.5 Regiones Hidrológicas (INEGI, 2000).

Clima.

En el estado se distinguen tres áreas climáticas bien definidas, como se encuentra en la figura 4.6: la porción Sur que comprende parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, donde los climas son templados. La región Centro abarca áreas del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y la Mesa del Centro. Aquí los climas son semisecos, con variaciones de cálidos a templados y la zona Norte que corresponde a una porción de la Sierra Madre Oriental, con climas de cálidos a templados.



Figura 4.6 Tipos de Climas. (INEGI, 2000).

En la parte Sur del estado, se presentan climas templados subhúmedos en zonas amplias, levemente onduladas e interrumpidas por una serie de montañas de más de 2 000 metros de altitud. En la parte central predominan climas secos y semisecos sobre terrenos de relieve levemente ondulado a plano y con altitudes menores a los 2 000 msnm, rodeados por sierras, mesetas y lomeríos del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre, que impiden el paso de los vientos húmedos del Golfo de México y de la Mesa Central, la cual retiene la humedad de los vientos que viajan de Norte a Sur. Por último en la parte norte existen los climas cálidos y semicálidos, dichos climas prevalecen en la región de la Sierra Madre Oriental, en donde existen notables variaciones de altitud; las que provocan, con otros factores, la presencia de fenómenos meteorológicos complejos y una variación de temperaturas de cálido a frío, de Norte a Sur.

Características y Uso del Suelo.

Como resultado de la estructura orográfica, los tipos de clima y la vegetación, en el estado existen 4 tipos de suelos: son denominados negros o chernozem, que se han formado con materiales de origen residual, aluvial y coluvial, y contienen abundante

materia orgánica. Son profundos, de 3 a 6 m; se dan en terrenos planos o con poca pendiente y son de fertilidad adecuada para la producción agrícola intensiva, con climas templados y lluvias o humedad regular.

En la parte central del estado se cuenta con suelos castaños o chestnut con regosoles y feozems, de capas delgadas de 50 cm. de profundidad, de bajo contenido de materia orgánica, limitados por un sustrato calizo, rocoso o por tepetate, con climas secos y baja o mínima precipitación pluvial.

En la región Norte del estado y al extremo Sur, los suelos se han derivado de rocas sedimentarias fundamentalmente calizas. En la tabla 4.2.1 se presenta la distribución del uso del suelo en el estado.

Tabla 4.2.1 Distribución de uso de suelo.

Concepto	Utilidad
Agricultura 28.24% de la superficie estatal	Maíz Trigo Alfalfa Sorgo Calabaza
Pastizal 2.07% de la superficie estatal	Zacate colorado Navajita velluda Navajita
Bosque 24.22% de la superficie estatal	Pino Pino chino Pino piñonero Encino prieto Táscate
Selva 3.95% de la superficie estatal	Ojite Chaca Tepehuaje
Matorral 40.62% de la superficie estatal	Garambullo Mezquite Nopal Chaparro prieto Izote

4.2.2 IDENTIFICACIÓN DE TORMENTAS EN EL ESTADO DE QUERÉTARO.

Se analizaron los registros de la estación meteorológica automática (EMA) Huimilpan, la cual se encuentra ubicada en el estado de Querétaro, en la figura 4.7 se muestra la localización de dicha estación meteorológica, así mismo en la figura 4.8 se observan las coordenadas de ubicación del estado. Posteriormente con los datos obtenidos por la (EMA) Huimilpan se concentró la información estudiada para cada mes de la temporada de lluvias, en el periodo de estudio comprendido del año 2000 al 2007. Como ejemplo en la tabla 4.2.2 se muestran las tormentas para el mes de julio de los años comprendidos, estas tormentas se encuentran clasificadas de acuerdo a las duraciones mostradas, a cada 10 minutos, y en cada una de las duraciones se observan sus datos estadísticos, (total de tormentas, promedio, acumulado máximo etc.).

Para la obtención de un análisis más concentrado se conjuntaron las tormentas que presentaban duraciones de 60 y 70 minutos, formando de tal manera la duración de estudio de 60 minutos, como se muestra en la tabla 4.2.3, de igual forma se conjuntaron las tormentas con duraciones de 80, 90 y 100 minutos (10 min. \pm y la de estudio), formando la duración de estudio de 90 minutos.

Las duraciones de estudio se crearon como múltiplos de 30 minutos, para el total de tormentas encontradas se utilizó el mismo criterio descrito a partir de la duración de estudio de 60 minutos, mientras que las duraciones de 40 y 50 minutos permanecieron con el mismo valor. Las duraciones de 20 y 30 minutos no se analizaron debido a que se consideran duraciones normales puesto que no generan problemas de inundaciones, es decir no son lluvias de gran intensidad.

La duración de la tormenta típica máxima se obtuvo a partir de los datos estadísticos calculados para cada duración de estudio, los que se muestran como ejemplo en la tabla 4.2.3. La tormenta típica máxima es aquella cuyos estadísticos fueran mayores con respecto a los de las demás duraciones.

La tormenta típica máxima para el mes de julio en los años comprendidos se encuentra en un rango de duración de entre 40 y 60 minutos, como se observa en la tabla enmarcada en color rojo. Dentro de este rango de duraciones de estudio se seleccionaron las imágenes de satélite IR. Este mismo procedimiento se aplicó para determinar la duración de la tormenta típica máxima de los meses de la temporada de lluvias restantes. En el anexo 5.1 se muestran las tablas correspondientes al resto de los meses de estudio.

La tabla 4.2.4 muestra la estructura en cuanto a hora/día/mes/año en que ocurre cada tormenta con una duración de 50 minutos para el mes de julio en los años comprendidos de estudio, puesto que fue parte esencial para la identificación de la tormenta de estudio y la selección de las imágenes IR, ya que nos muestra el momento exacto en que comienza la precipitación. En la parte inferior se anexa el hietograma promedio para tal duración y el porcentaje de lluvia en un intervalo de duración de 10 minutos. En la tabla 4.2.4.1 se presentan las tormentas con una duración de 60 minutos.

En la tabla 4.2.5 se tiene la organización total de las duraciones de las tormentas típicas máximas de la estación Huimilpan, Qro. Que nos representa el día, hora y

duración, de los años 2004, 2005 y 2006 para los cuales se disponía imágenes de satélite, con los meses de la temporada de lluvia. En el mes de julio del año 2005 y 2006 se seleccionaron las tormentas a analizar que se encuentran marcadas en color amarillo. El mes resaltado en color naranja corresponde al mes seleccionado para el estudio de la zona centro del país.

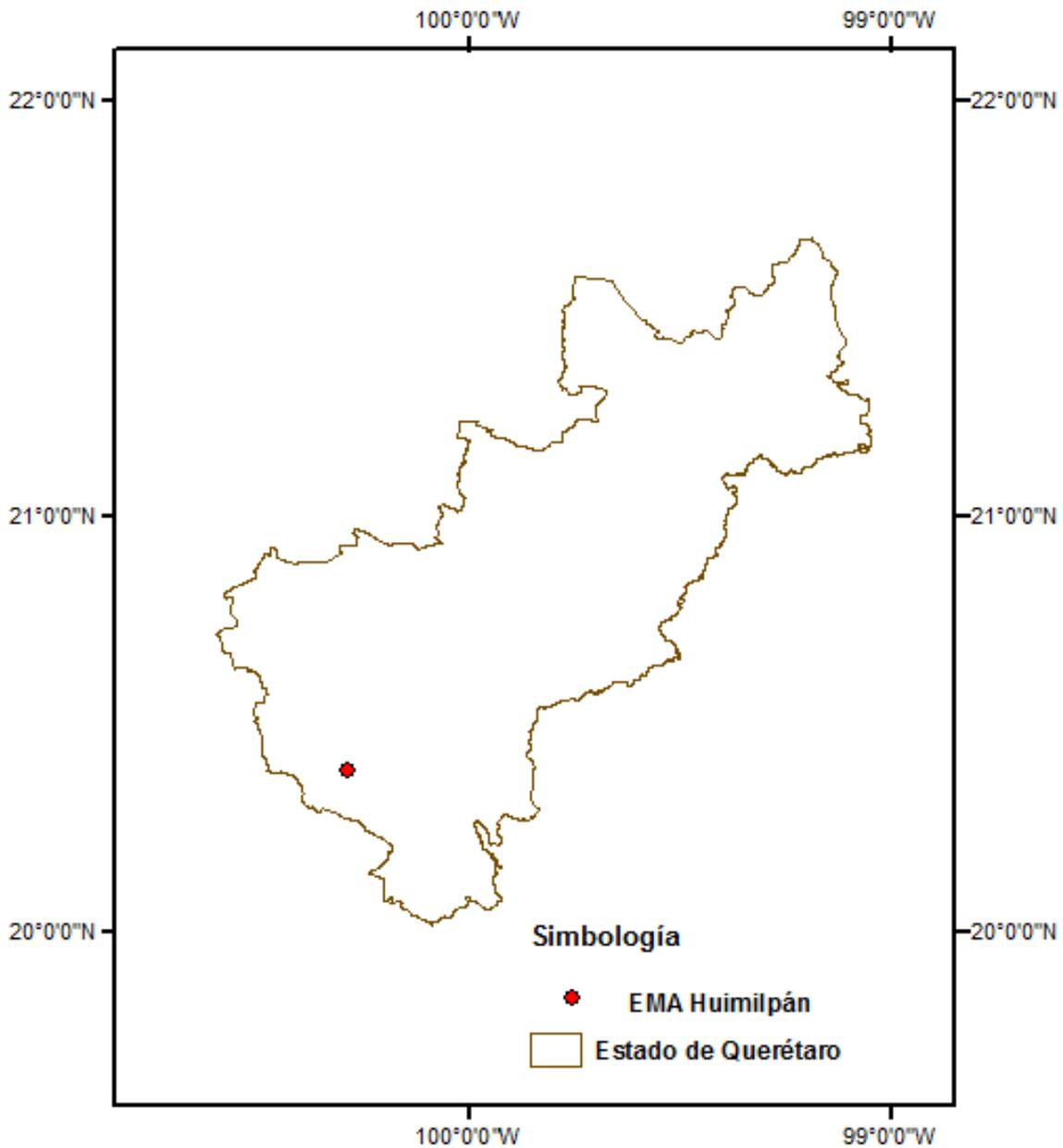


Figura 4.7 Localización de la EMA para la región de estudio de Querétaro.

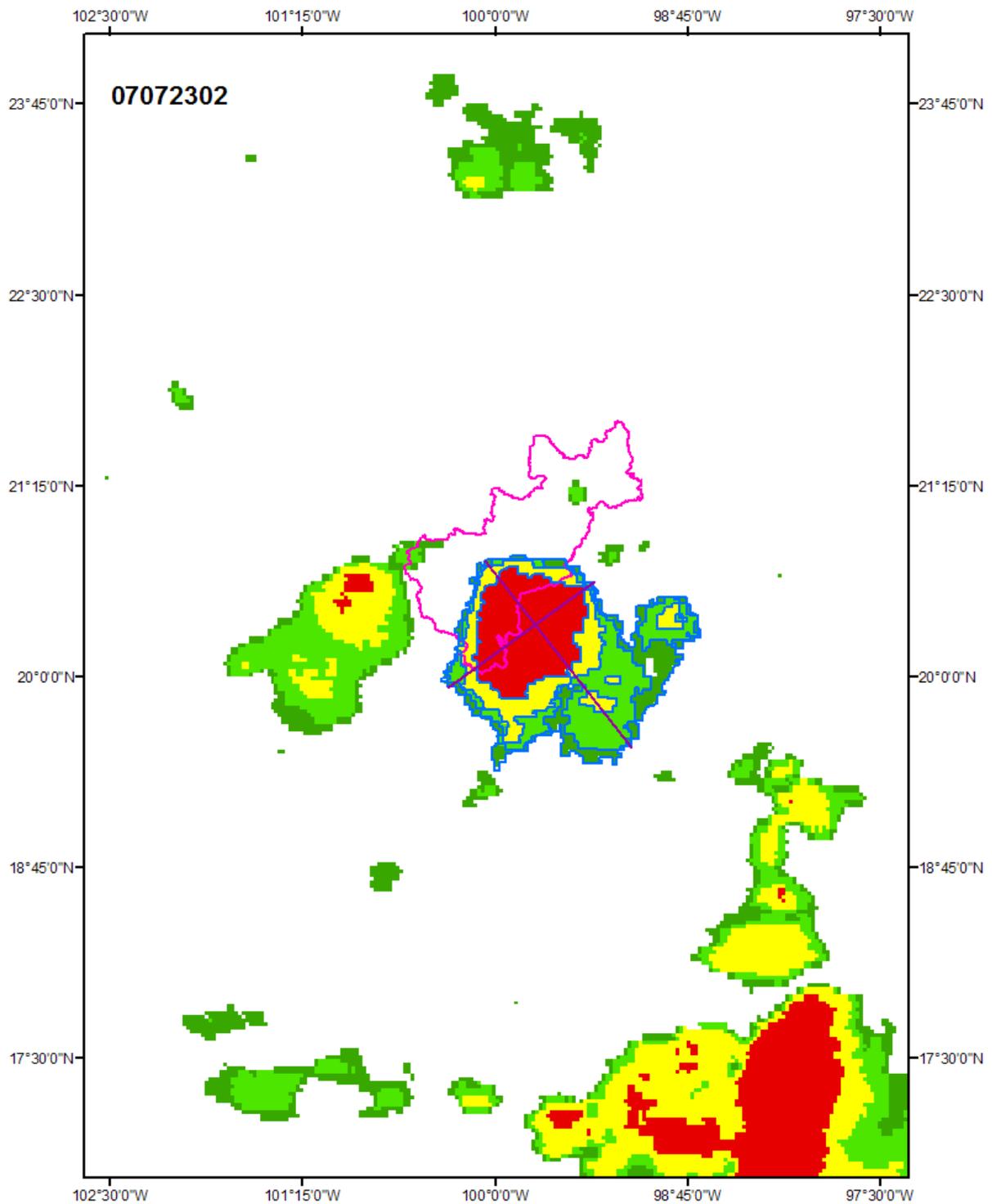


Figura 4.8 Localización de coordenadas para la zona de Querétaro de la tormenta del día 8 de julio del 2005 a las 23:02 p.m.

Tabla 4.2.2 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de julio. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE QUERÉTARO, (EMA) HUIMILPAN																	
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	180	190	200
Julio-00	14	5	1	2							1						
Julio-01	9	4	2	3	2	1			1								
Julio-02	12	7	8	2	2	2	1		1	1		1					
Julio-03	8	1	4	1	2		1			1	1		1	1			
Julio-04	15	3	2	1			1								1		
Julio-05	7	4	4	5	2	2	1	1	1		1	2					1
Julio-06	13	2	7	1		1	2		1	1						1	
Julio-07																	
Tormentas	78.00	26.00	28.00	15.00	8.00	6.00	6.00	1.00	4.00	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	11.14	3.71	4.00	2.14	2.00	1.50	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Maxima	7.37	8.89	24.63	47.24	22.60	14.21	26.67	10.92	42.40	18.29	26.66	27.41	9.13	16.01	18.27	7.60	7.32
Acum. Promedio	1.42	2.23	4.97	6.27	7.20	7.48	9.97	10.92	15.73	11.34	19.38	13.78	9.13	16.01	18.27	7.60	7.32
Desv. Acum	1.48	2.08	5.43	11.26	6.78	4.15	10.38	0.00	15.59	4.99	7.77	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.31	0.17	0.09	0.07	0.07	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L mm	4.25	4.46	7.46	7.53	7.20	6.41	7.48	7.28	9.44	6.18	9.69	6.36	3.91	6.40	6.09	2.40	2.20

Tabla 4.2.3 Clasificación de tormentas con duraciones de estudio para el mes de julio. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE ESTUDIO DE QUERÉTARO, (EMA) HUIMILPAN						
Fecha	20	30	40	50	60	90
Julio-00	14	5	1	2		
Julio-01	9	4	2	3	3	1
Julio-02	12	7	8	2	4	2
Julio-03	8	1	4	1	2	1
Julio-04	15	3	2	1		1
Julio-05	7	4	4	5	4	3
Julio-06	13	2	7	1	1	3
Julio-07						
Tormentas	78.00	26.00	28.00	15.00	14.00	11.00
Promedio	11.14	3.71	4.00	2.14	2.80	1.83
Acum. Máxima	7.37	8.89	24.63	47.24	22.60	26.67
Acum. Promedio	1.42	2.23	4.97	6.27	7.34	10.45
Desv. Acum	1.48	2.08	5.43	11.26		
Probabilidad			0.31	0.17	0.16	0.12
L mm	4.25	4.46	7.46	7.53	7.34	6.96

Tabla 4.2.4 Lista de tormentas con duración de 50 minutos.

Tormentas en el Año 200-1 dentro la EMA de QUERÉTARO HUIMILPAN														
Lista de tormentas con una duración de 50 minutos.														
	07/07/2000	15/07/2001	15/07/2002	06/07/2003	29/07/2004	02/07/2005	05/07/2005	05/07/2005	19/07/2005	21/07/2005	05/07/2006	Promedio	Des. Estándar	Porcentaje
DURACIÓN	22:40 - 23:20	22:00 - 22:40	22:40 - 23:20	07:10 - 07:50	22:20 - 23:00	04:10 - 04:50	05:50 - 06:30	19:30 - 20:10	07:10 - 07:50	05:10 - 05:50	00:00 - 00:40			
10	0.25	0.51	0.25	0.25	3.3	0.25	0.51	13.21	0.51	0.76	0.25	1.8227	3.8797	29.06%
20	5.84	0.25	0.25	0.25	1.78	0.25	0.51	14.22	0.76	1.27	0.76	2.3764	4.2502	37.88%
30	3.81	0.51	0.25	0.25	0.76	0.76	0.51	14.73	0.25	0.51	0.25	2.0536	4.3276	32.74%
40	0.51	0.25	0.51	0.25	0.76	0.25	0.25	4.57	0.25	0.51	0.25	0.7600	1.2753	12.11%
50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.51	0.25	0.25	0.25	0.2736	0.0784	4.36%
Acum.	10.6600	1.77	1.51	1.25	6.85	1.76	2.03	47.24	2.02	3.3	1.76	7.286364		
Acum. máximo	47.2400													
Acum. Promedio	7.2864													
Desv. Est.	12.9349													

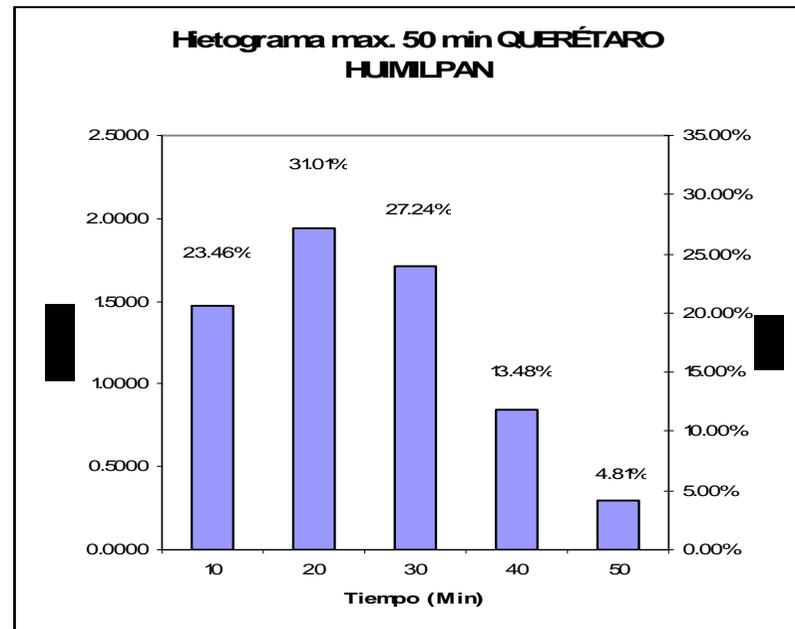


Figura 4.9 Hietograma promedio de la tormenta para 50 minutos de duración del mes de julio, EMA Huimilpan.

Tabla 4.2.4.1 Lista de tormentas con duración de 60 minutos.

Tormentas en el Año 200-1 dentro la EMA de QUERÉTARO HUIMILPAN											
Lista de tormentas con una duración de 60 minutos.											
	02/07/2001	09/07/2001	11/07/2002	15/07/2002	02/07/2003	02/07/2003	08/07/2005	25/07/2005	Promedio	Des. Estándar	Porcentaje
DURACION	22:10 - 23:00	01:30 - 02:20	19:10 - 20:00	00:50 - 01:40	04:10 - 05:00	19:00 - 19:50	01:40 - 02:30	19:10 - 20:00			
10	0.76	0.25	4.32	0.51	0.25	5.59	0.51	0.51	1.5875	2.1123	22.06%
20	1.02	0.25	4.57	0.25	0.51	7.11	0.25	6.6	2.5700	3.0153	35.71%
30	1.02	0.25	0.25	0.25	0.51	4.32	0.25	2.03	1.1100	1.4381	15.42%
40	1.52	0.76	0.25	0.25	0.25	3.3	0.25	1.27	0.9813	1.0649	13.64%
50	1.02	0.76	0.25	0.25	0.51	1.52	0.25	0.51	0.6338	0.4509	8.81%
60	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.76	0.25	0.25	0.3138	0.1803	4.36%
Acum.	5.5900	2.52	9.89	1.76	2.28	22.6	1.76	11.17	7.19625		
Acum. máximo	22.6000										
Acum. Promedio	7.1963										
Desv. Est.	6.7827										

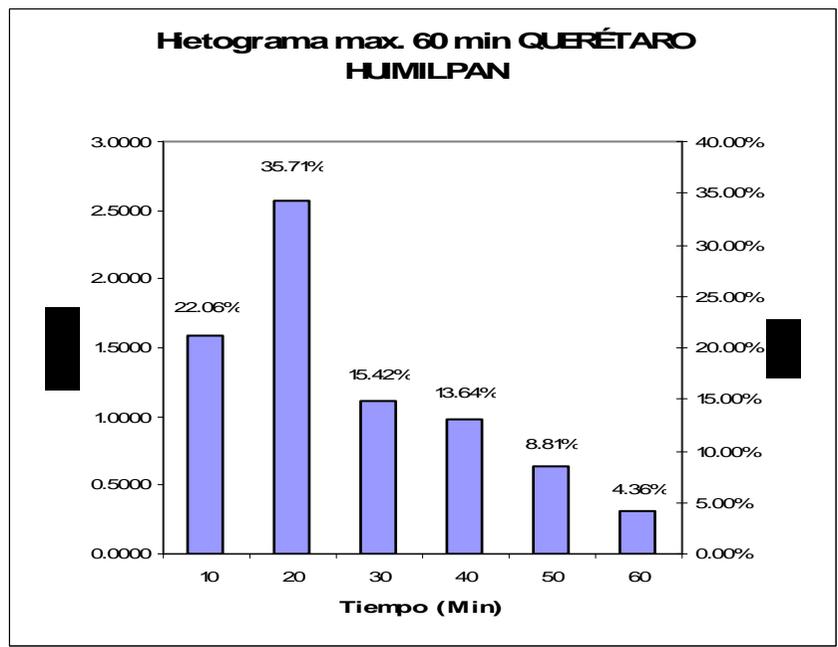


Figura 4.10 Hietograma promedio de la tormenta para 60 minutos de duración del mes de julio, EMA Huimilpan.

Tabla 4.2.5 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de julio.

Día	Jun-04	Jun-05	Jun-06	Jul-04	Jul-05	Jul-06	Ago-04	Ago-05	Ago-06	Sep-04	Sep-05	Sep-06	Oct-04	Oct-05	Oct-06
1					02_60						01_40:07_60	01_50:03_60			
2					04_50	03_90					00_90:02_90				01_60
3							05_60:07_90		11_40:22_40:21_50	02_90					
4			20_60			21_40:23_40	01_60						08_50	16_50	
5					05_50:19_50	00_50			02_60	03_90		09_90	22_40	14_50	
6	16_40:01_60:13_60:22_60						01_50	06_40					04_40	02_60	06_50
7															
8					09_40:01_60							19_40			
9							00_40				21_50				
10	07_40:06_50							12_90					00_40:03_40		
11								03_90							
12				21_40			04_50:05_50	00_40	18_60						
13								03_50	02_40						18_40
14								20_40			00_40				
15									23_40						
16										06_40:04_60		01_50			
17										22_50					
18					23_60										
19			06_40:02_60	20_40	07_50					02_40		04_40			
20					22_40:00_90				22_50						
21					05_50		11_40:22_50:00_60								02_50
22	23_40														05_60
23	22_60						03_40:07_40								
24												00_60			
25					22_40:19_60	03_40:19_40						10_50:08_60:11_60			
26						00_40		05_40	04_60						00_40
27					02_40	05_40			07_50:02_90						23_40
28						06_40:02_90				06_40					
29				22_50						01_60:03_60					
30		20_40				01_60	06_40								
31				08_90				05_60:08_60							

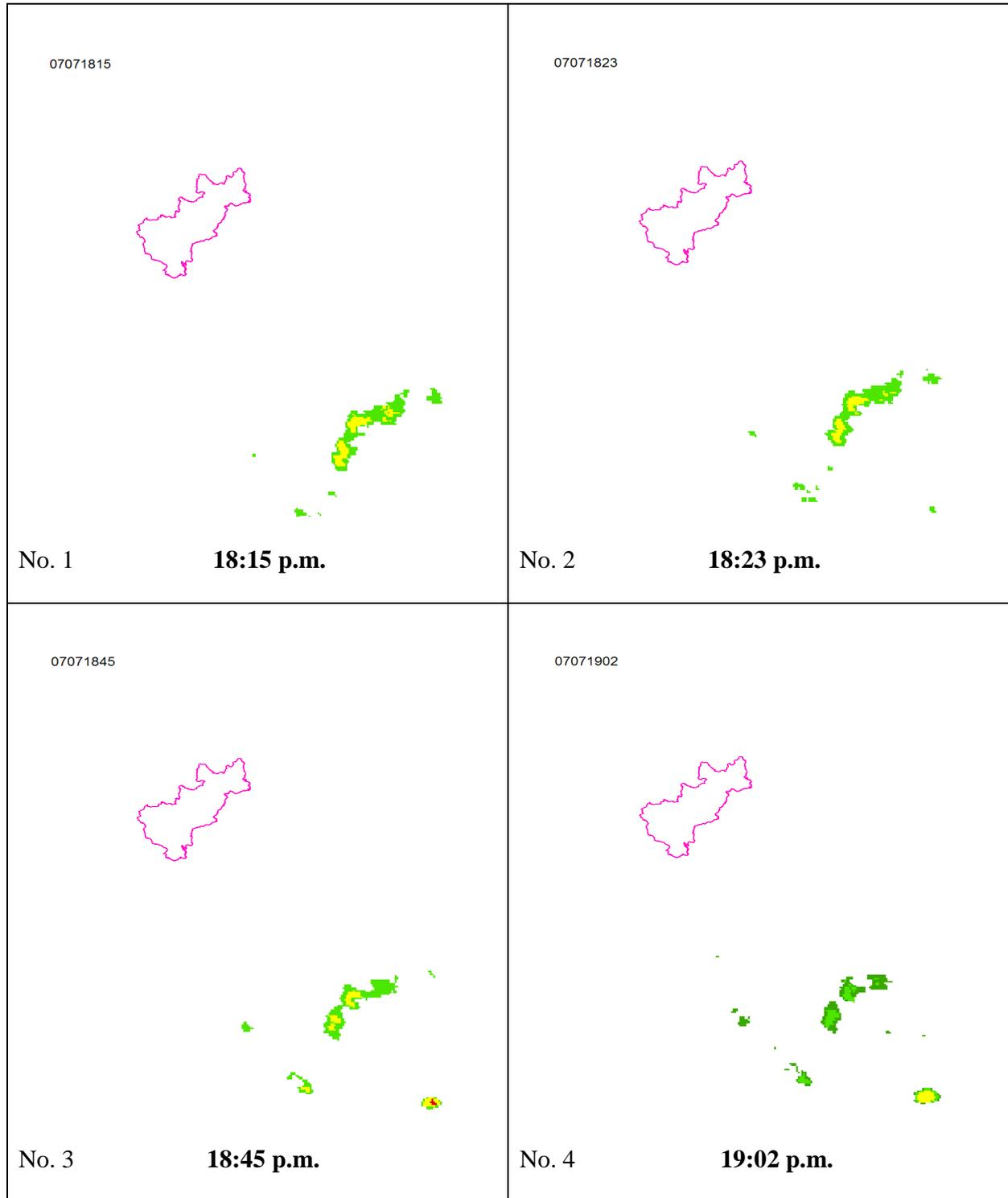
Mes de estudio para la zona centro del país.

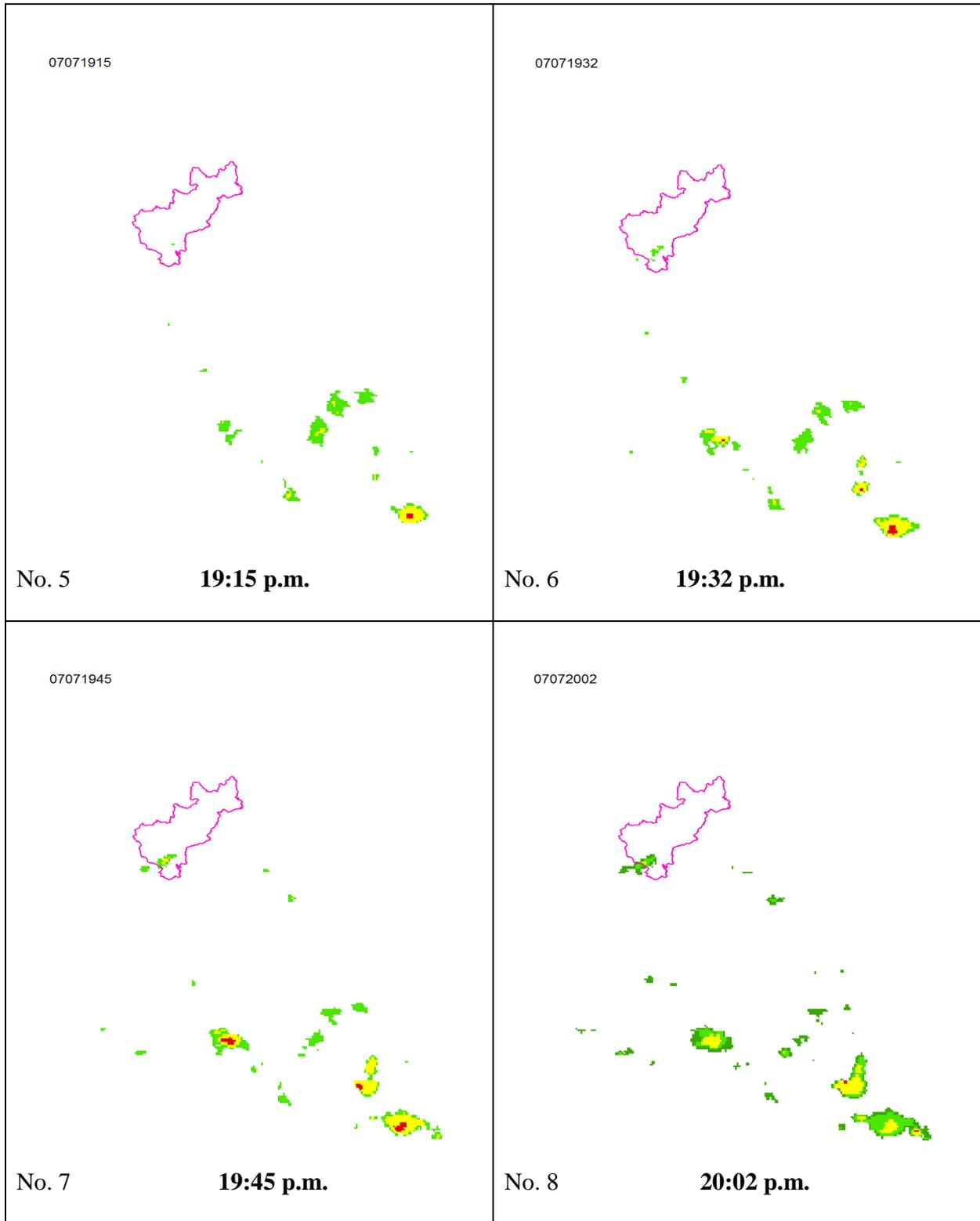
01_60: El 01 nos representa la hora de la precipitación _ 60: Mientras que el 60 la duración de la lluvia.

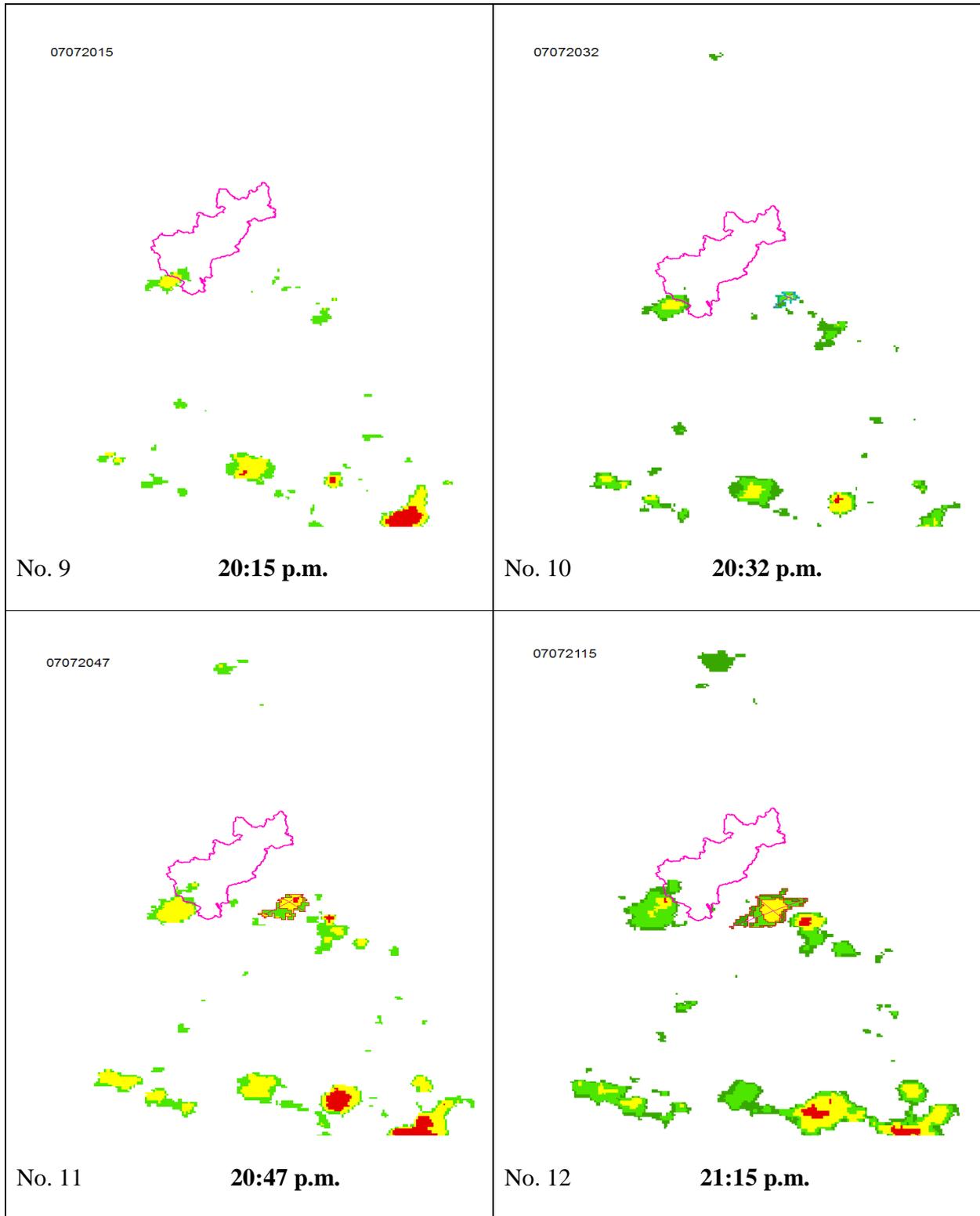
4.2.3 CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS BASADAS EN IMÁGENES DE SATÉLITE.

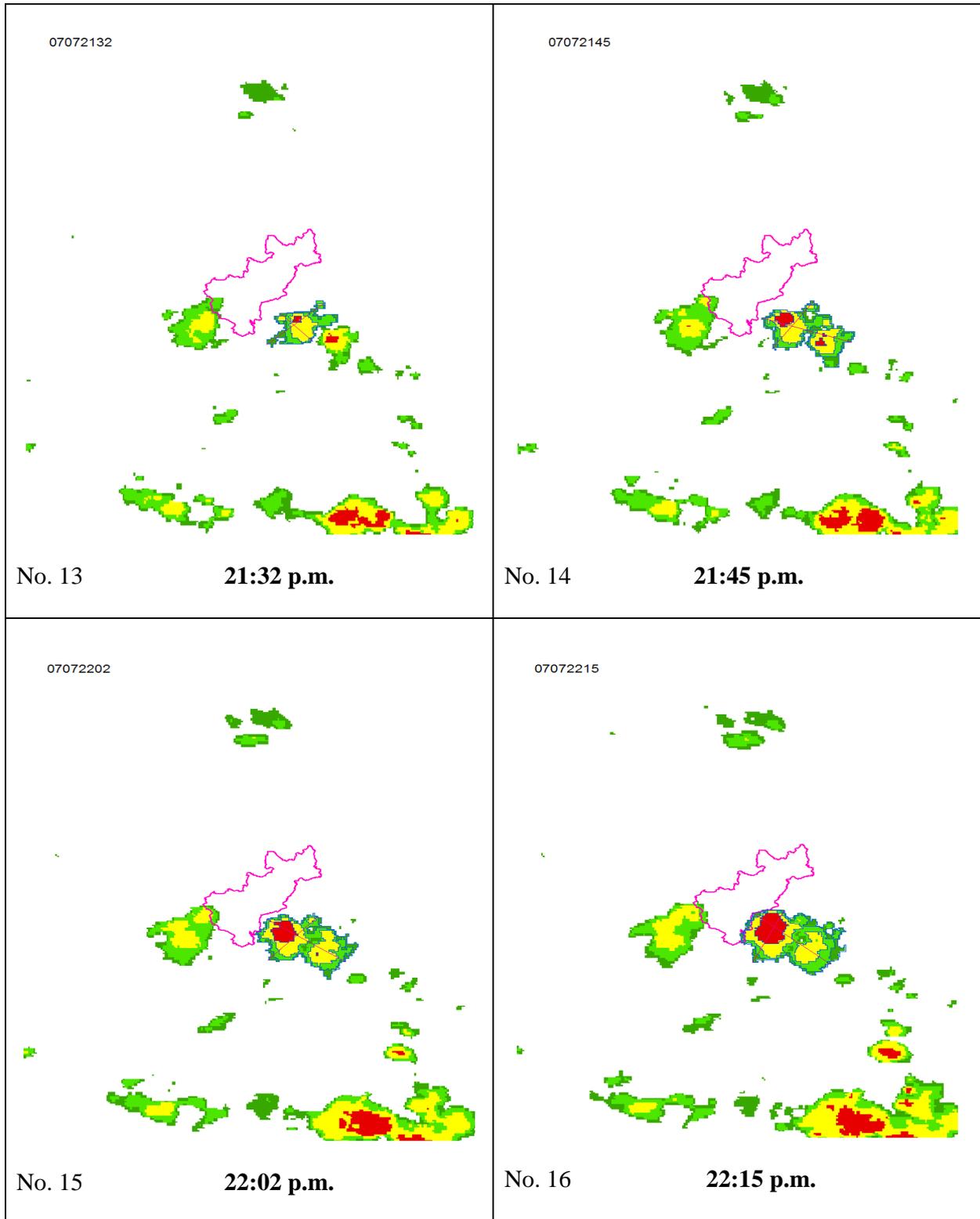
4.2.3 TORMENTA 08-07-05_01_60 (TORMENTA No. 1).

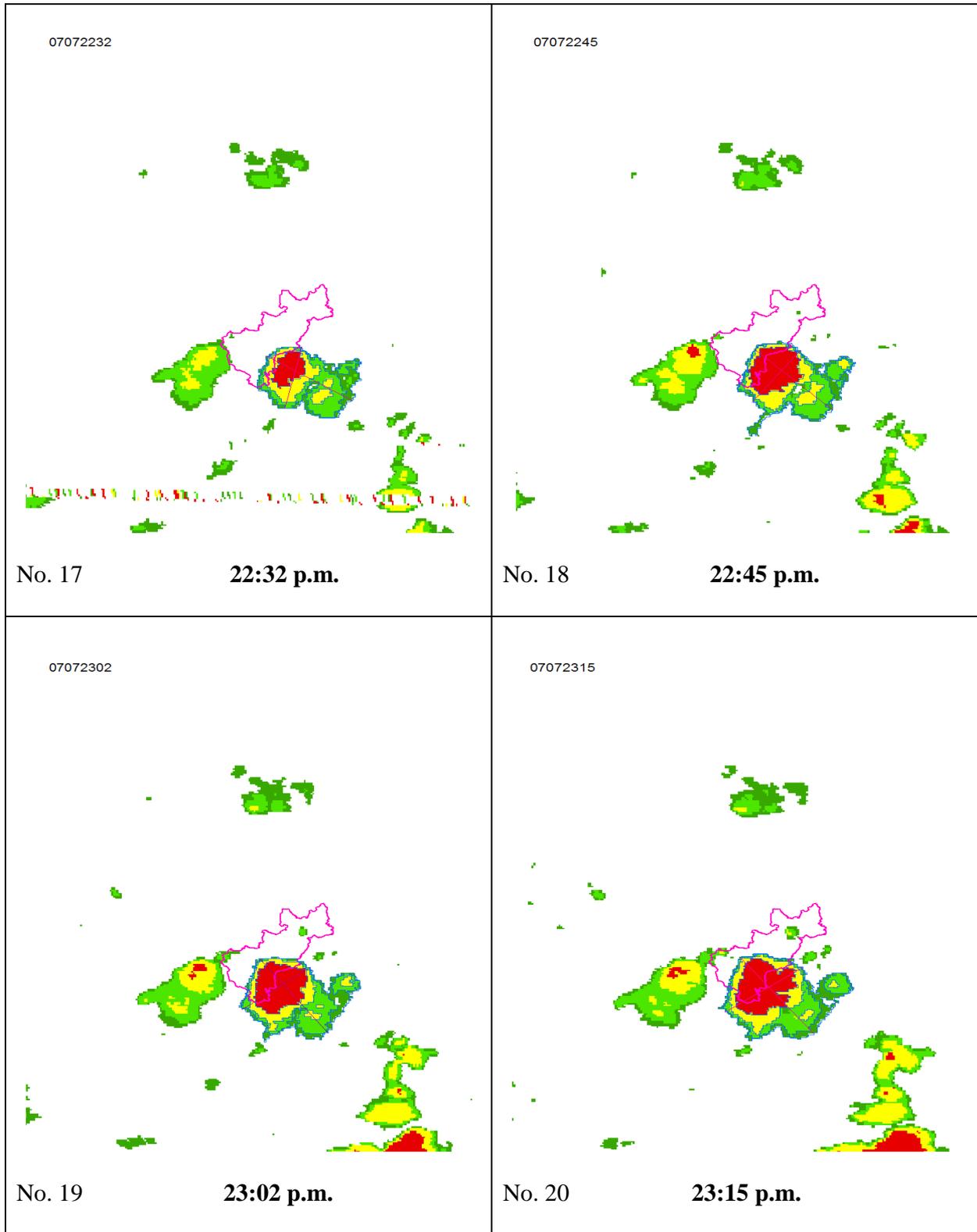
La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 08 de julio del 2005, ocurrido a la 1:00 a.m. A continuación se muestran las imágenes analizadas para ésta tormenta y la hora en que fueron captadas.

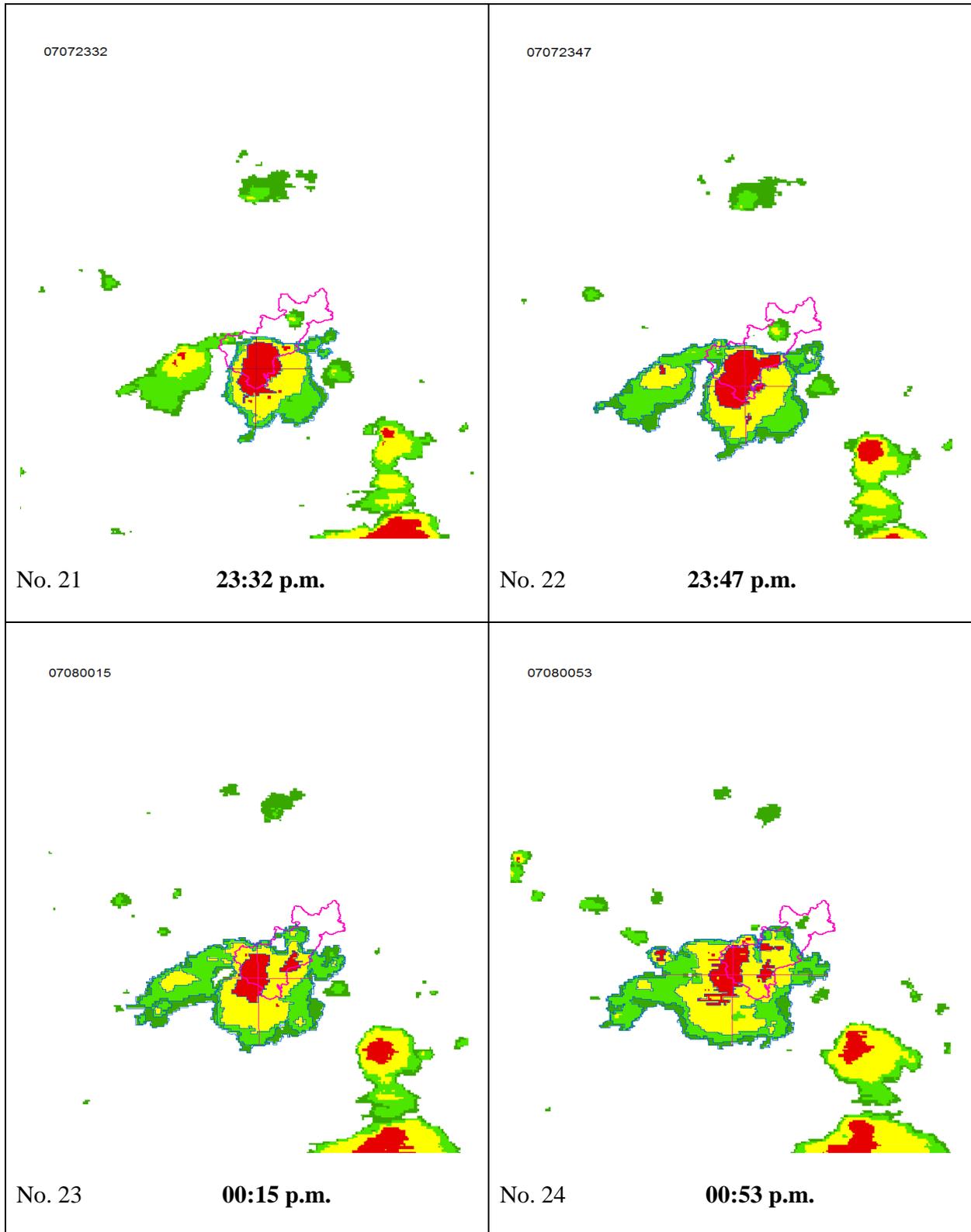


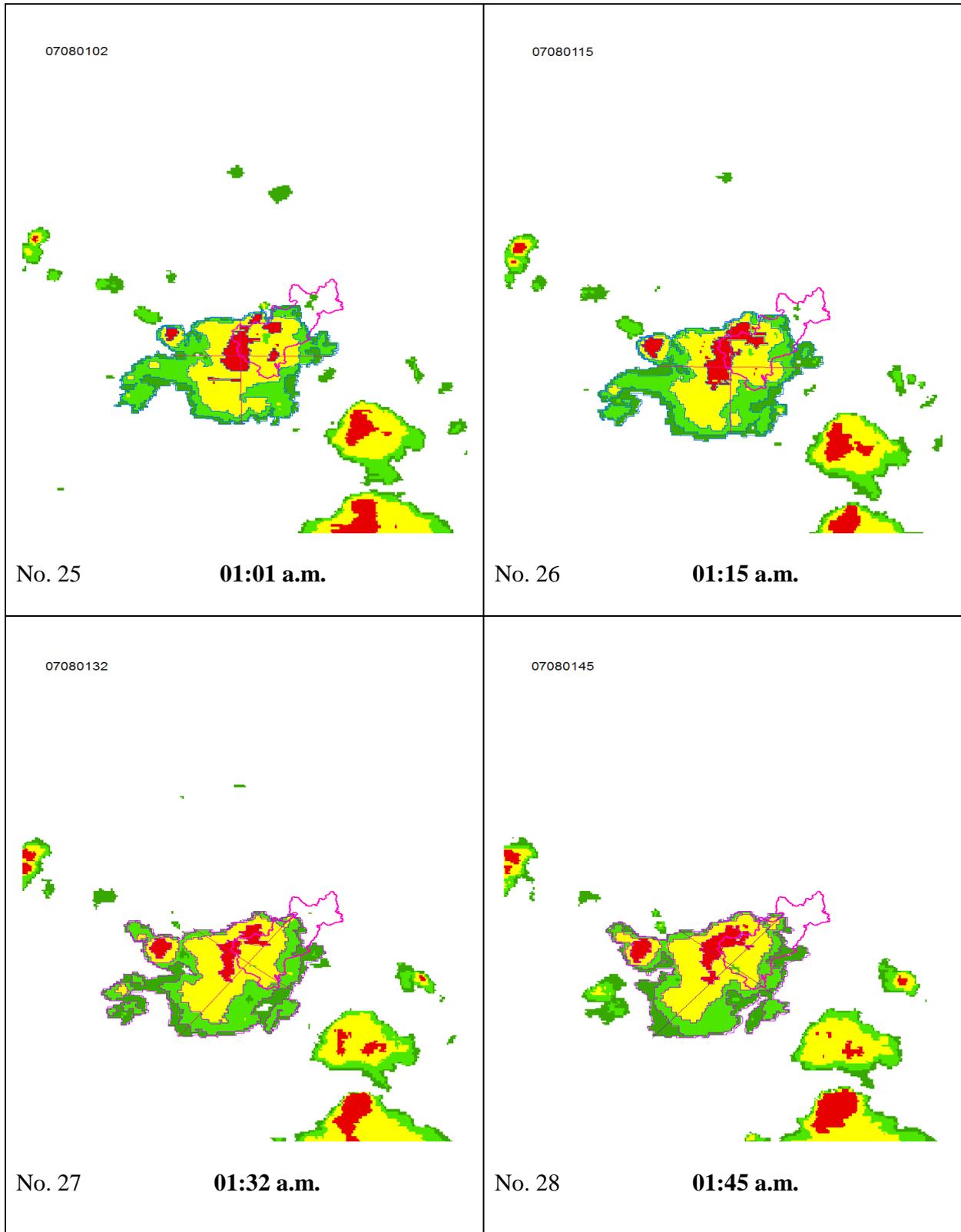


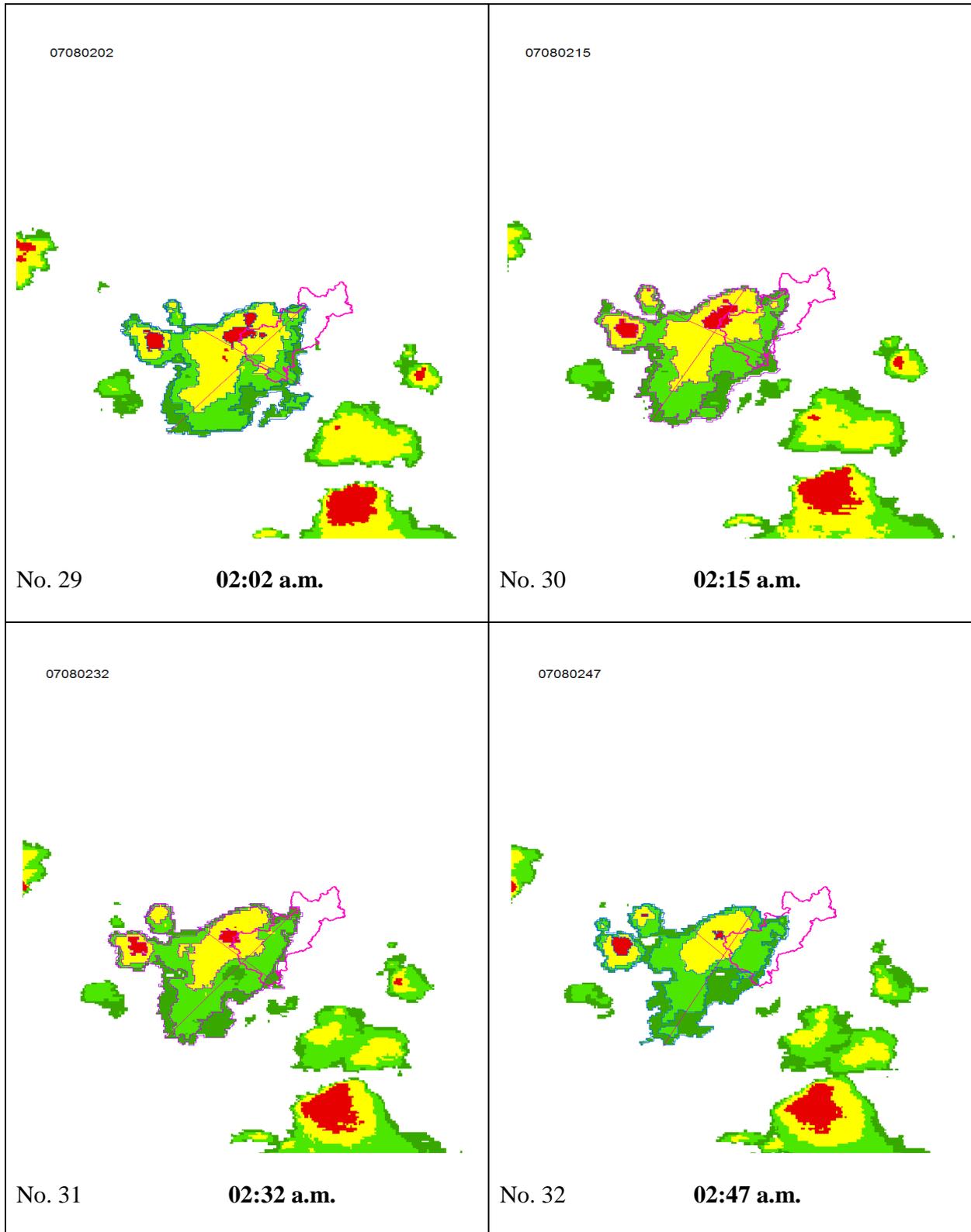


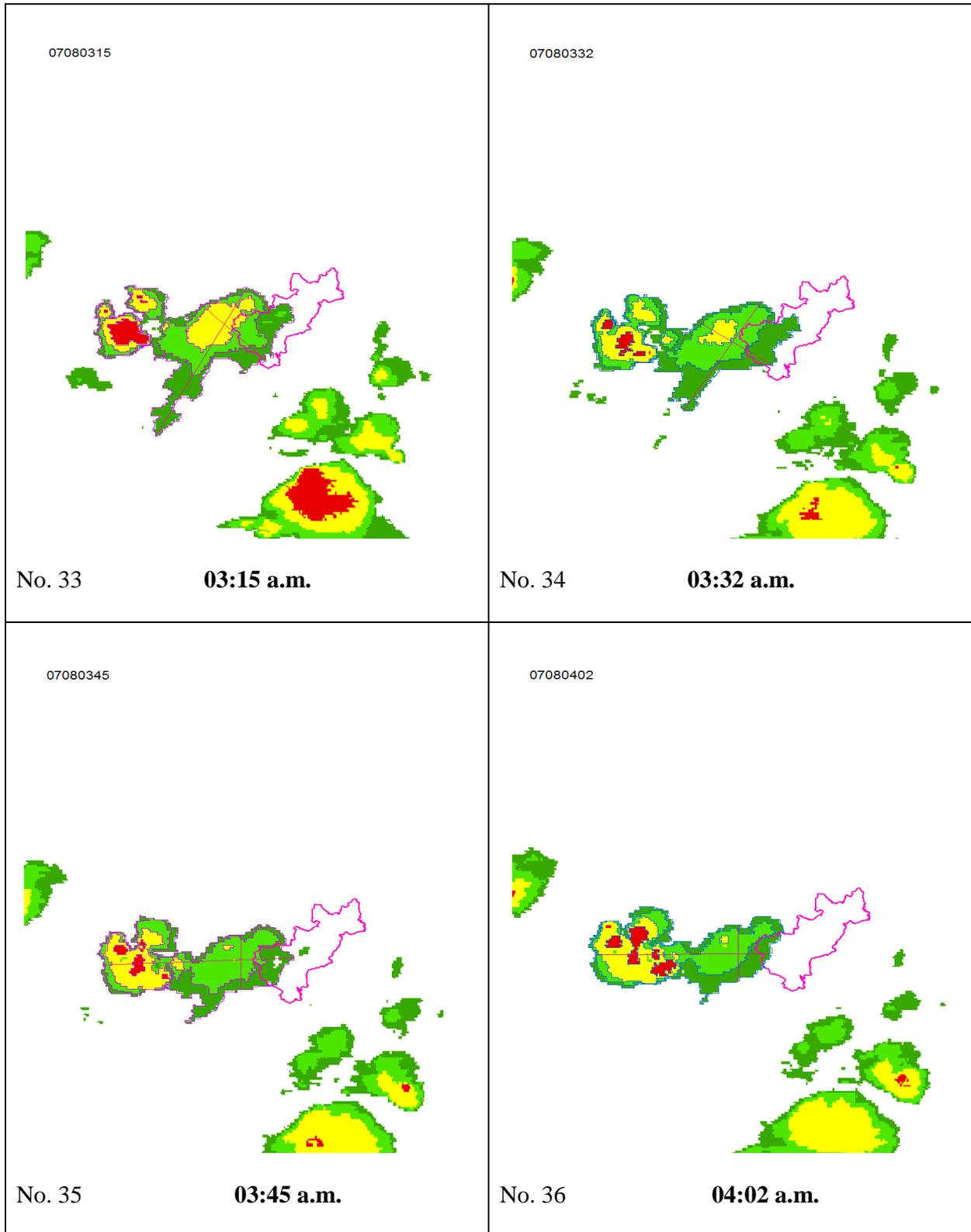


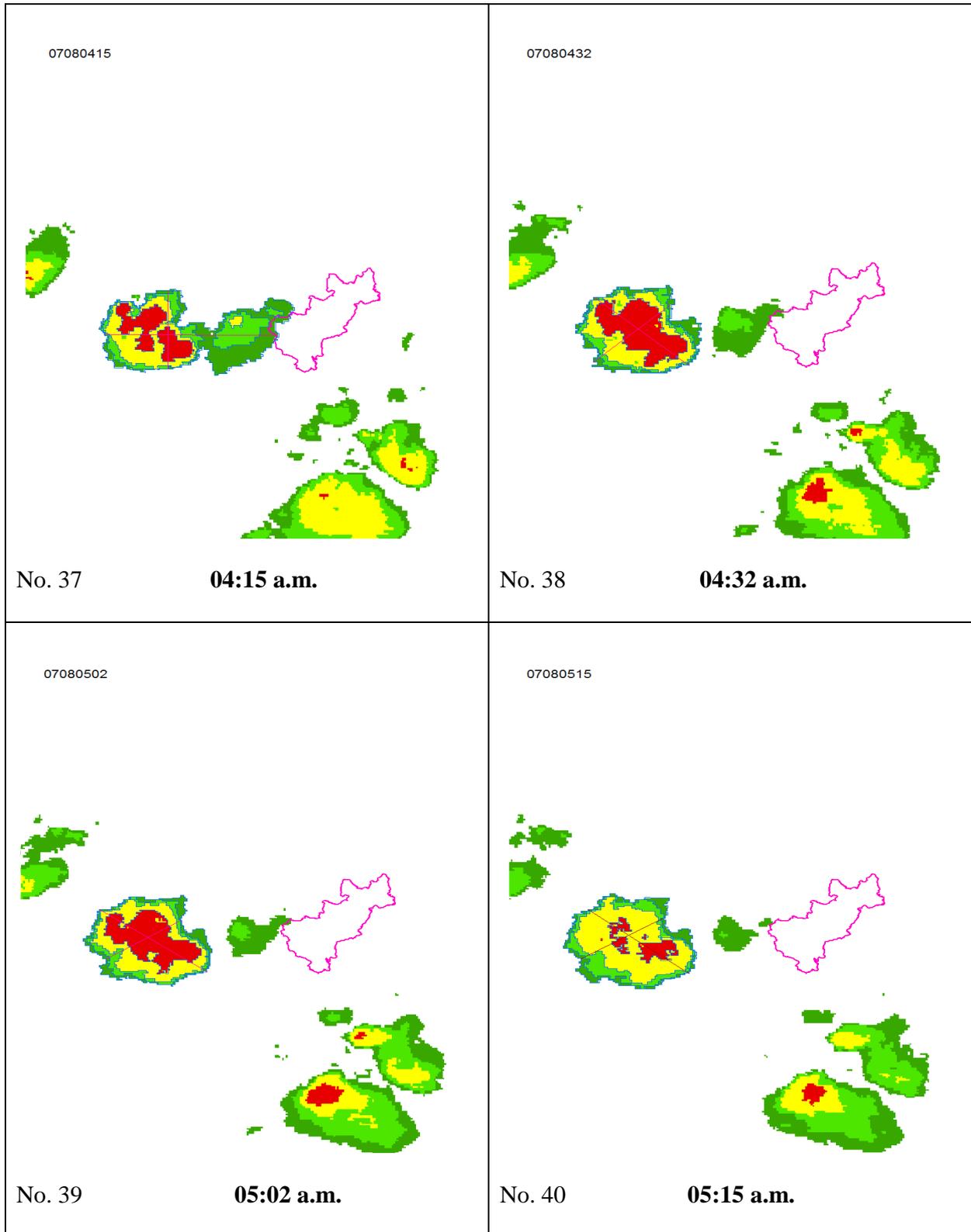












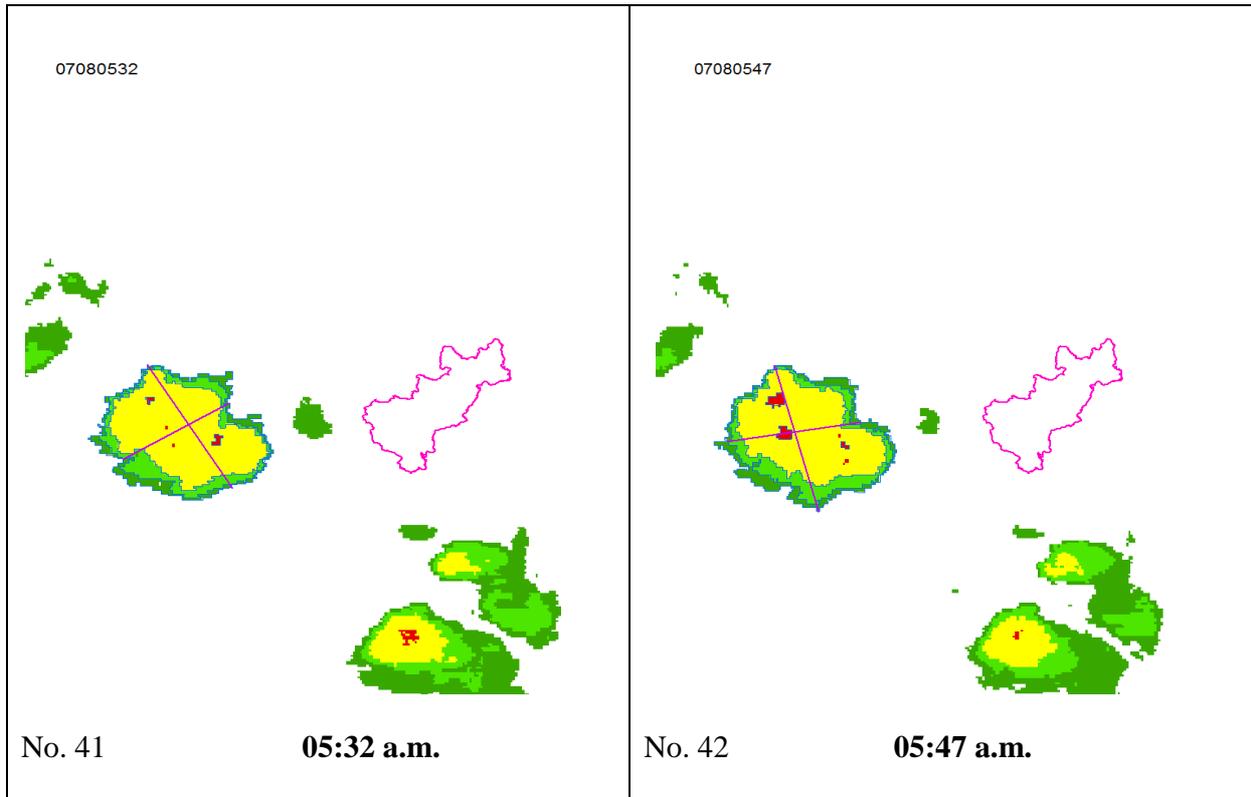


Figura 4.11 Imágenes analizadas de la tormenta del día 08 de julio del 2005, ocurrido a la 1:00 a.m

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 60 minutos, el cual comienza a desarrollarse desde la parte sureste del país y se acerca rápidamente a la zona de estudio, manteniendo en todo momento una misma trayectoria. El traslado del sistema por la zona de estudio es corto, de aproximadamente 7 horas cubriendo $\frac{3}{4}$ partes del territorio queretano. El sistema no presenta el fenómeno de fusión de núcleos convectivos, si no de un solo núcleo se desarrolla todo el sistema. Posteriormente al paso por el estado en un tiempo aproximado de una hora el sistema vuelve a retomar energía de la atmósfera ampliando su masa nubosa como se observa en las imágenes y así mismo en un tiempo corto se comienza a generar el proceso de disipación, siguiendo una trayectoria al oeste del país.

En la imagen No. 25 se observa el momento de la precipitación que ocurrió a la 01:02 a.m., (tabla 4.2.6), donde se indica específicamente el área de cobertura por rangos de temperatura y la longitud de sus diagonales, en su eje mayor y menor. Se realizó el mismo procesamiento para cada una de las imágenes, y con el total de la información se obtuvo la curva de la figura 4.9.

Tabla 4.2.6 Características de cobertura al momento de la precipitación.

Nombre de tormenta	Área km²	Hora
Rojo	3908.54	01:02
Amarillo	21142.02	01:02
Verde brillante	35580.18	01:02
Verde oscuro	42133.96	01:02

Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
227.166053	194.32	01:02

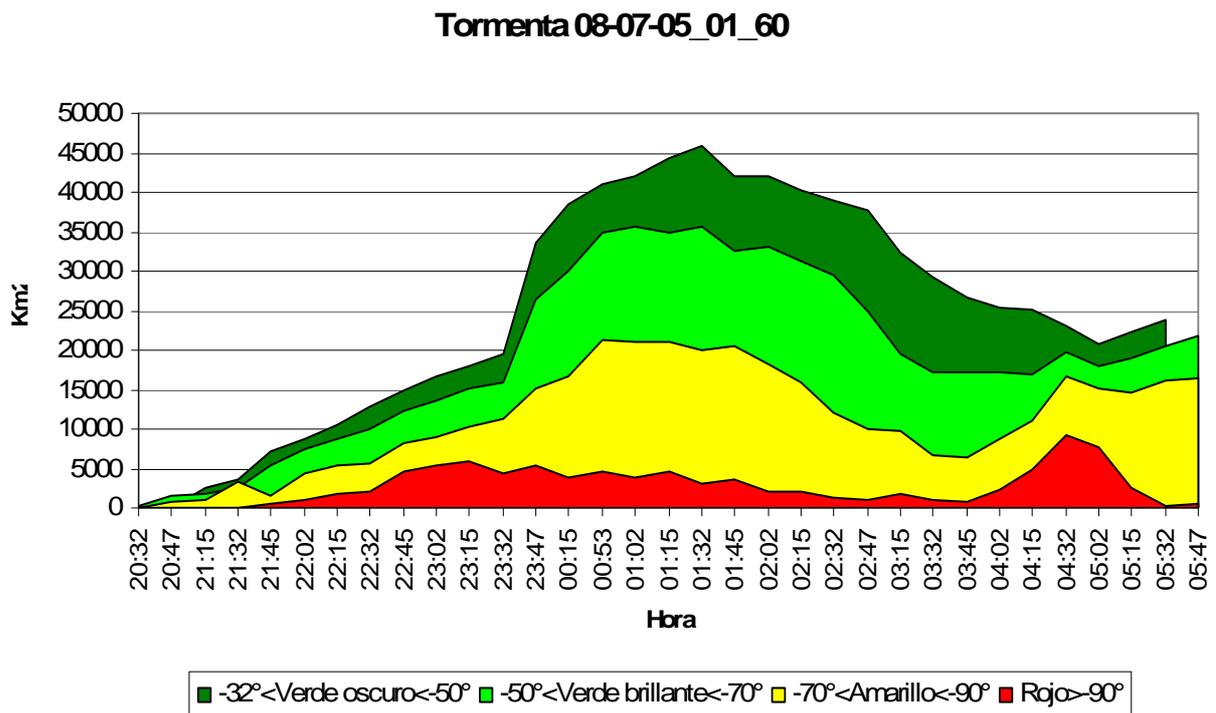


Figura 4.12 Cobertura nubosa de la tormenta del día 8 de julio del 2005 a las 01:02 a.m.

La figura 4.12 nos representa la evolución de la tormenta con instantes de tiempo de 15 minutos entre cada imagen de satélite. Comienza el análisis a las 20:32 horas con una tendencia de crecimiento gradual para los distintos rangos de temperatura hasta las 23:32 horas, en éste instante ocurre un descenso de temperatura muy súbito, generando una mayor extensión de cobertura de la masa nubosa que se encuentra con temperaturas de -70°C a -90°C, así como también de -50°C a -70°C. El pico mas alto alcanza niveles de cobertura mayores de 45 000 km² que es el punto donde ocurre la precipitación, así mismo en este instante comienza la disipación de la tormenta con una tendencia gradual hasta las 03:45 horas, cuando nuevamente vuelve a retomar energía la tormenta provocando de nueva instancia un crecimiento que se encuentra fuera de la zona de estudio, como se muestra en la imagen No. 38.

También se observa en la gráfica que la pendiente de ascenso y descenso, respectivas a las etapas de desarrollo y disipación de la tormenta presentan comportamientos distintos debido a que en los fenómenos de mesoescala intervienen diferentes variables climatológicas (vientos, temperatura, humedad etc.).

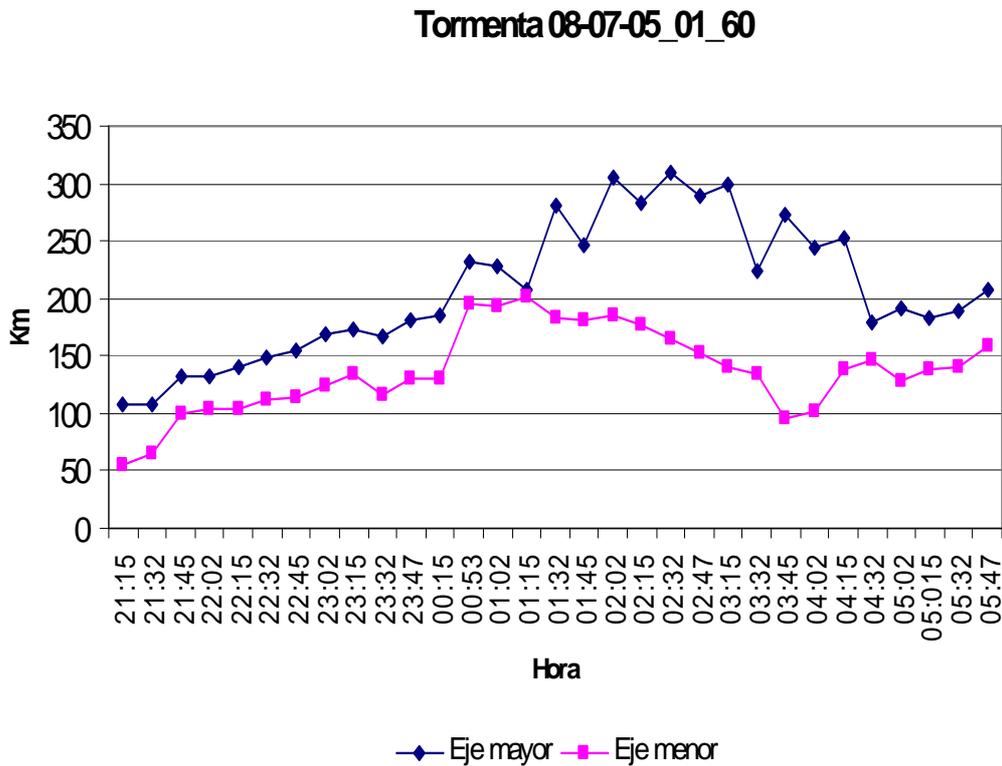


Figura 4.13 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 8 de julio del 2005 a las 01:02 a.m.

En la figura 4.13 se muestra el desarrollo de la tormenta de forma longitudinal, tomando en cuenta 2 ejes de referencia, mayor y menor. El eje mayor se analiza a partir de 100 km de longitud en adelante; Se puede notar el crecimiento gradual hasta las 23:32 horas, posteriormente existe una variación súbita y no homogénea debido a las formas que generaba la tormenta al paso del tiempo, al llegar a las 04:15 horas nuevamente la tormenta presenta una tendencia de crecimiento uniforme que es en el instante en que adquiere mayor energía hasta llegar al punto de disipación.

Si se observan las dos gráficas a la vez se puede notar al comienzo de la tormenta, una tendencia gradual de crecimiento, luego un ascenso súbito y después un descenso gradual pero con diferente pendiente.

En este caso lo anterior demuestra que independientemente del parámetro medido de la tormenta se obtendrán comportamientos relativamente similares por tratarse del mismo fenómeno, es decir que se preservan sus rasgos.

4.2.3.1 TORMENTA 18-07-05_23_60 (TORMENTA No.2).

La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 18 de julio del 2005, ocurrido a las 23:01 p.m. En el anexo 5.0 se presentan las imágenes analizadas para la tormenta, así como sus estadísticos al momento de la precipitación.

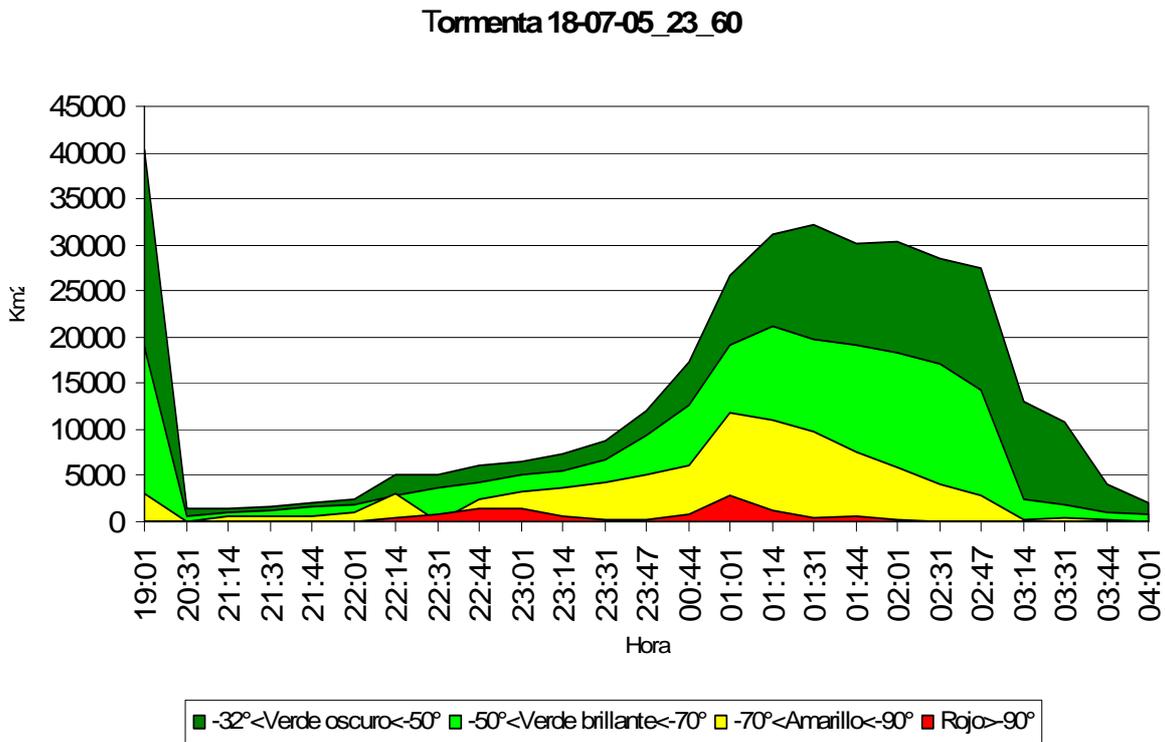


Figura 4.14 Cobertura nubosa de la tormenta del día 18 de julio del 2005 a las 23:01 p.m.

En la figura 4.14 se observa el final de la disipación de otro sistema convectivo adjunto, en el cual a partir de las 20:31 horas la tormenta en estudio comienza desarrollándose uniformemente en los diferentes rangos de temperaturas, incluso al momento de la precipitación en la hora 23:01 p.m. y continúa hasta las 23:47 p.m. donde ocurre un crecimiento fuerte debido a la fusión de núcleos convectivos sobre todo en las áreas de cobertura con temperaturas de -50°C a -70°C y de -32°C a -50°C , alcanzando esta última coberturas mayores a los 30 000 km². Posteriormente comienza la disipación de la tormenta de manera gradual hasta el final de la hora de estudio 04:01 a.m.

Nuevamente se observa en la gráfica que la pendiente de ascenso y descenso, respectivas a las etapas de desarrollo y disipación de la tormenta presentan comportamientos diferentes.

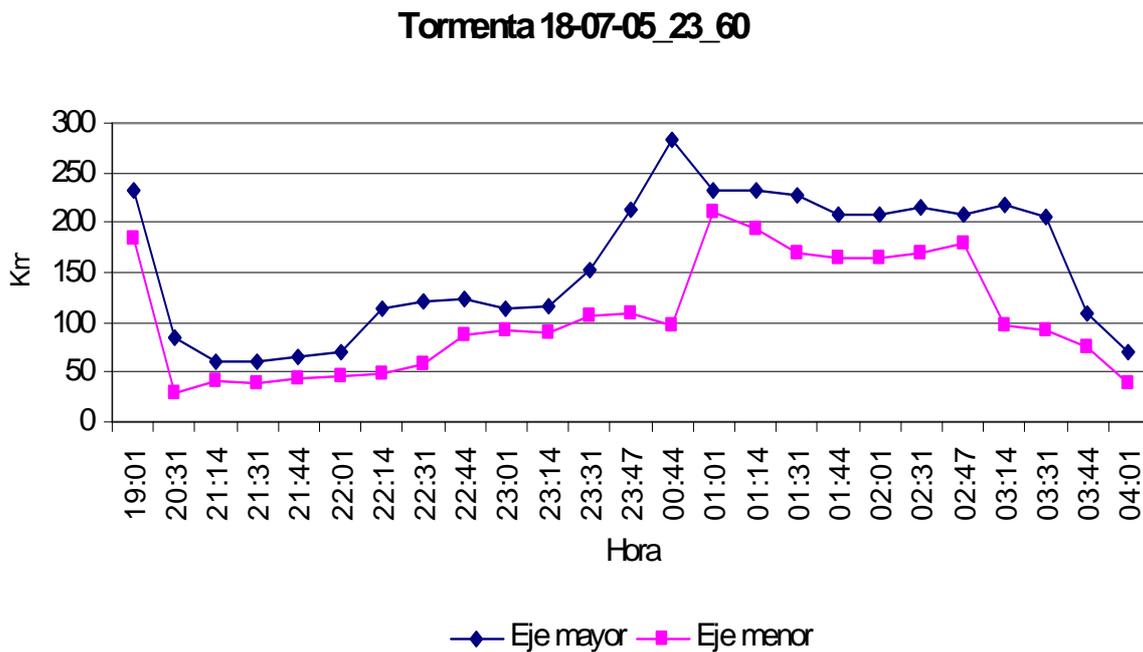


Figura 4.15 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 18 de julio del 2005 a las 23:01 p.m.

En la figura 4.15 se puede notar la disipación del sistema convectivo adjunto en sus dos ejes longitudinales. Mientras que en la hora 20:31 p.m. nuestro sistema en estudio se encuentra por debajo de los 100 km de longitud establecidos y mantiene este rango hasta la hora 22:01 p.m., posteriormente presenta variaciones debido al fusionamiento de núcleos convectivos alcanzando en la hora 23:47 p.m. el punto mas alto con una longitud de casi 300 km en su eje mayor. Persisten las variaciones por un tiempo aproximado de dos horas y a partir de las 02:47 a.m. comienza el proceso de disipación cayendo nuevamente en la última hora analizada por debajo de los 100 km.

Se observa que persiste el comportamiento de la tormenta en las figuras 4.13 y 4.14 tanto en su crecimiento como disipación sin importar los parámetros medidos.

4.2.3.2 TORMENTA 25-07-05_19_60 (TORMENTA No. 3).

La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 25 de julio del 2005, ocurrido a las 19:00 p.m.

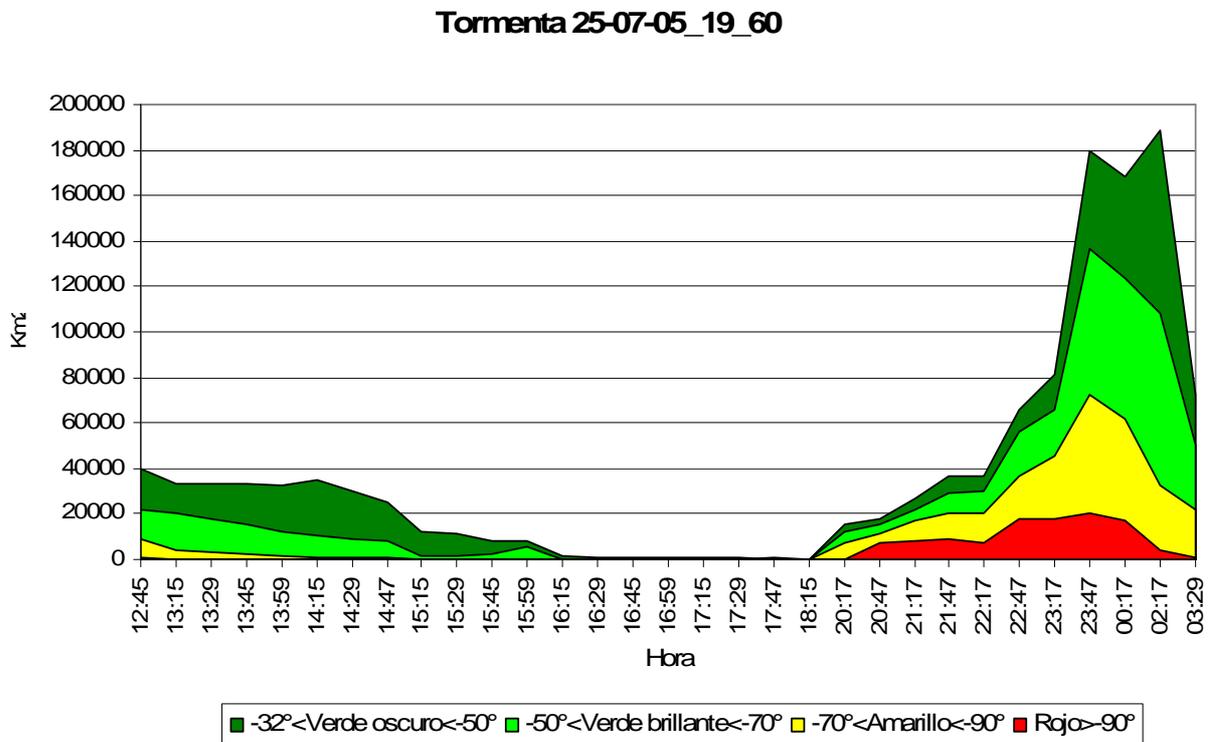


Figura 4.16 Cobertura nubosa de la tormenta del día 25 de julio del 2005 a las 19:00 p.m.

Nuevamente en la figura 4.16 podemos observar la disipación de un sistema convectivo distinto al de estudio, donde la tormenta analizada presenta un crecimiento muy acelerado probablemente por las condiciones atmosféricas que en el momento se presentaron, las cuales comienzan a las 18:15 p.m. y al instante de la precipitación, a partir de este punto el desarrollo es amplio sobre todo en las temperaturas menos frías, como son las que se encuentran en color amarillo, verde brillante y verde oscuro alcanzando esta última un área de cobertura mayor de los 180 000 km², puesto que el área de la república mexicana consta de 1,959,248 km². La tormenta presenta el fusionamiento de núcleos convectivos lo cual explica el área de cobertura tan amplia en un rango de tiempo tan corto.

Se observa que a diferencia de las otras tormentas analizadas, ésta muestra una tendencia un poco más uniforme tanto en el crecimiento como en el proceso de disipación, el cual para un criterio más preciso se requiere un mayor número de imágenes de satélite para analizar y observar como se va disipando y si realmente tienen pendiente similar.

Tormenta 25-07-05_19_60

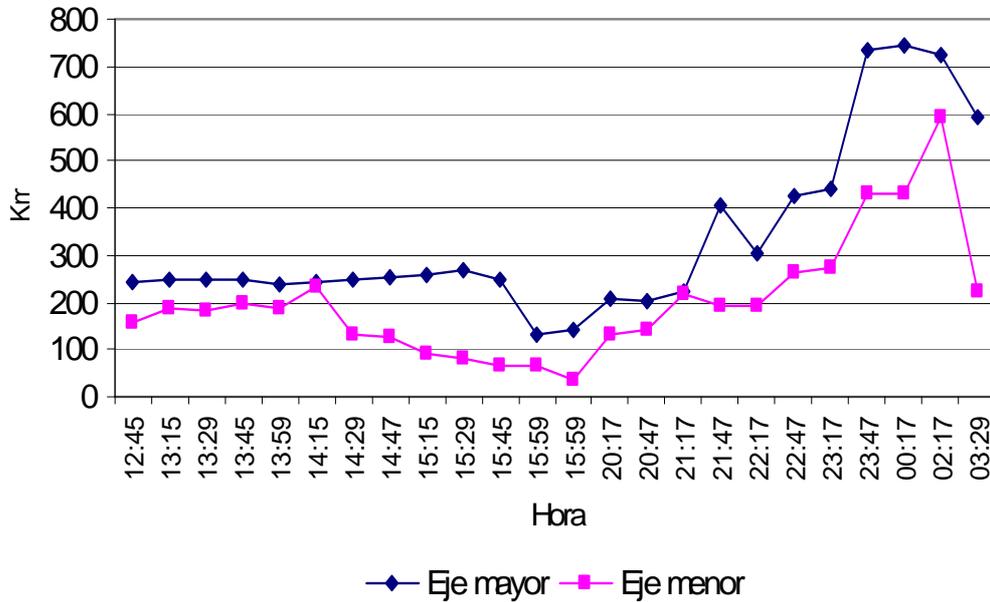


Figura 4.17 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 25 de julio del 2005 a las 19:00 p.m.

La figura 4.17 muestra el análisis de los ejes de referencia que presenta la tormenta, el cual la diagonal mayor está por encima de lo estipulado de 100 km de longitud. Para ello se observa una tendencia uniforme en la disipación del otro sistema adjunto desde 12:45 hasta las 15:45 horas, a partir de este instante existe una variación anormal en cuanto a la forma de la masa nubosa y dicho fenómeno se origina por la fusión de núcleos convectivos, el punto más alto que alcanza el eje mayor es de aproximadamente unos 750 km de longitud y de ahí inicia su proceso de decadencia.

4.2.3.3 TORMENTA 30-07-06_01_60 (TORMENTA No. 4).

La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 30 de julio del 2006, ocurrido a las 02:15 a.m.

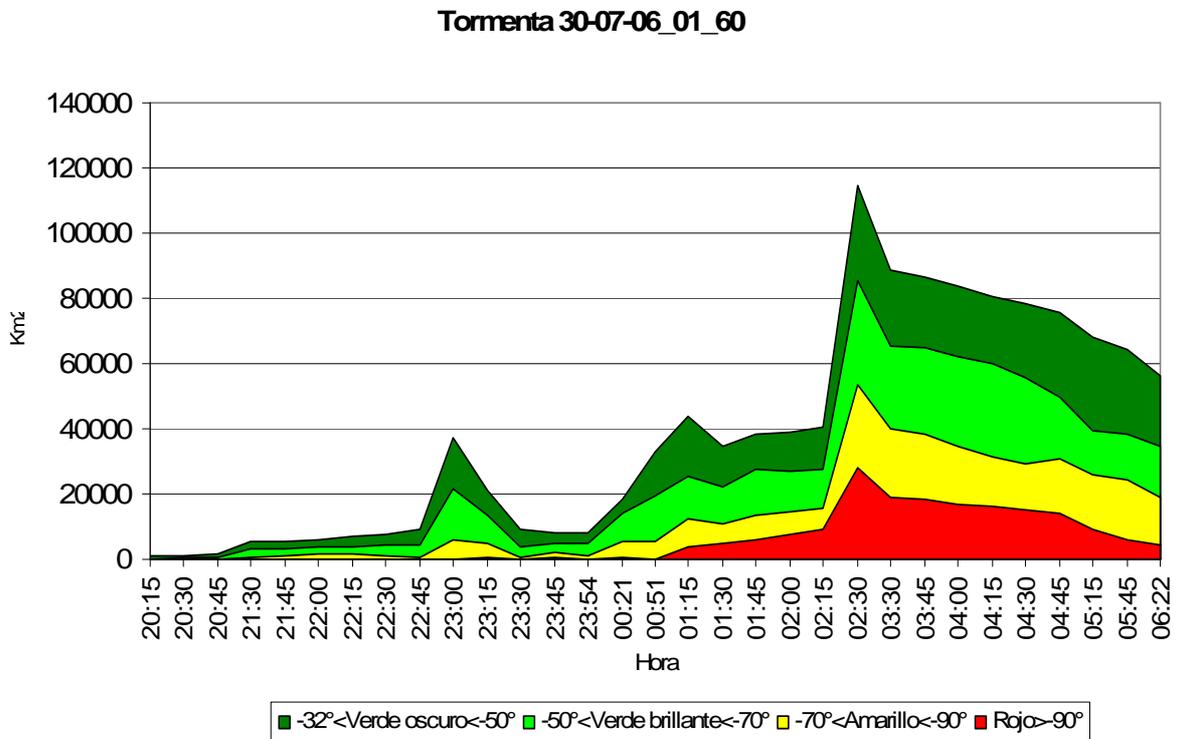


Figura 4.18 Cobertura nubosa de la tormenta del día 30 de julio del 2006 a las 02:15 a.m.

En la figura 4.18 se muestra el comienzo de la evolución de la tormenta en estudio a partir de las 20:15 p.m., presentando un desarrollo uniforme hasta las 22:45 horas, en este instante el sistema adquiere energía del ambiente en un lapso de tiempo de 45 minutos alcanzando áreas de cobertura cercanas a los 40 000 km², posteriormente se genera un tiempo de transición de 30 minutos donde el desarrollo se mantiene constante, de este punto en adelante su crecimiento es gradual, incluso a la hora de la precipitación, hasta llegar a las 02:15 a.m. A partir de este instante existe un crecimiento rápido en todos sus rangos de temperatura por lo que su punto más alto obtiene niveles próximos a los 120 000 km² de cobertura, fenómeno atribuido a la fusión de núcleos convectivos, así mismo a partir de este punto se inicia la disipación del sistema mostrando una tendencia uniforme en todos sus rangos de temperatura, pero generando una pendiente muy diferente a la del proceso de crecimiento.

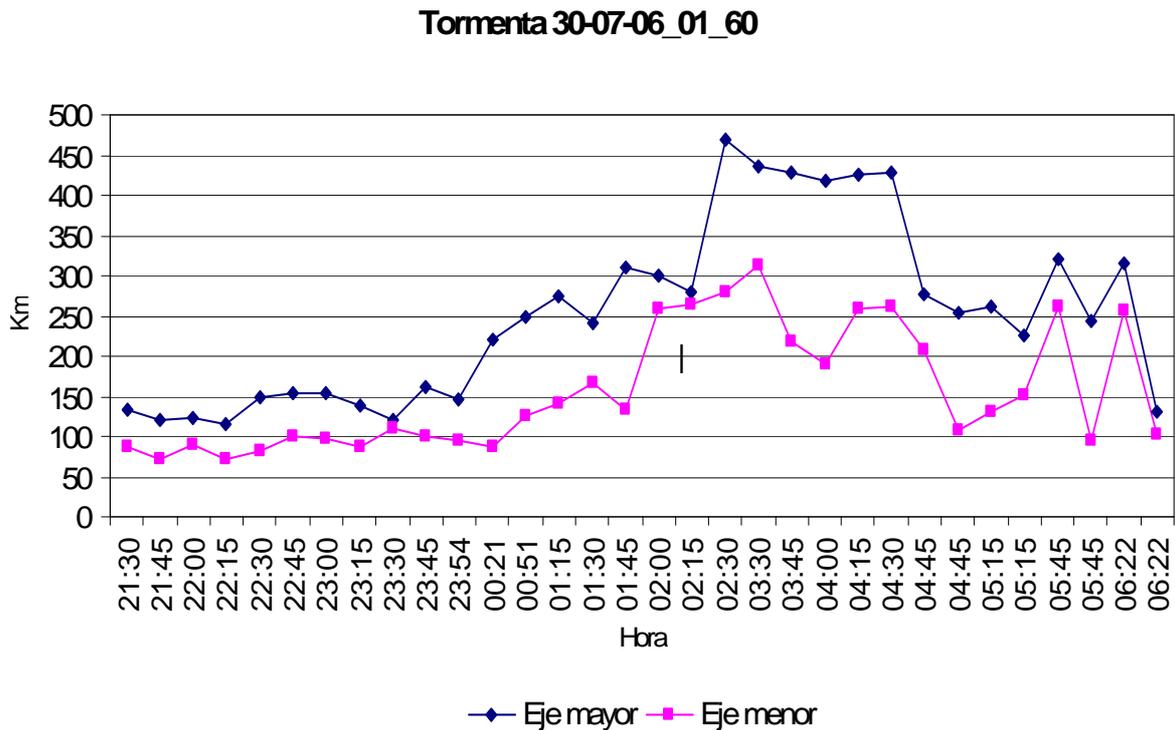


Figura 4.19 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 30 de julio del 2006 a las 02:15 a.m.

En la figura 4.19 se muestra el desarrollo de la tormenta en estudio, la cual cumple con lo establecido en cuanto al análisis de la diagonal mayor, esta se encuentra en un rango mayor de 100 km de longitud. La tormenta presenta una variación muy anormal en la forma de la masa nubosa como se refleja en la gráfica anterior, es decir no mantiene una evolución gradual sino muy dispersa. El punto máximo que alcanza a la hora 02:30 a.m. es superior de los 45 km de longitud. Por otro lado solamente presenta en determinados lapsos de tiempo una tendencia uniforme por ejemplo a partir de las 22:30 a las 23:00 horas.

4.2.4 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE TORMENTAS DE QUERÉTARO.

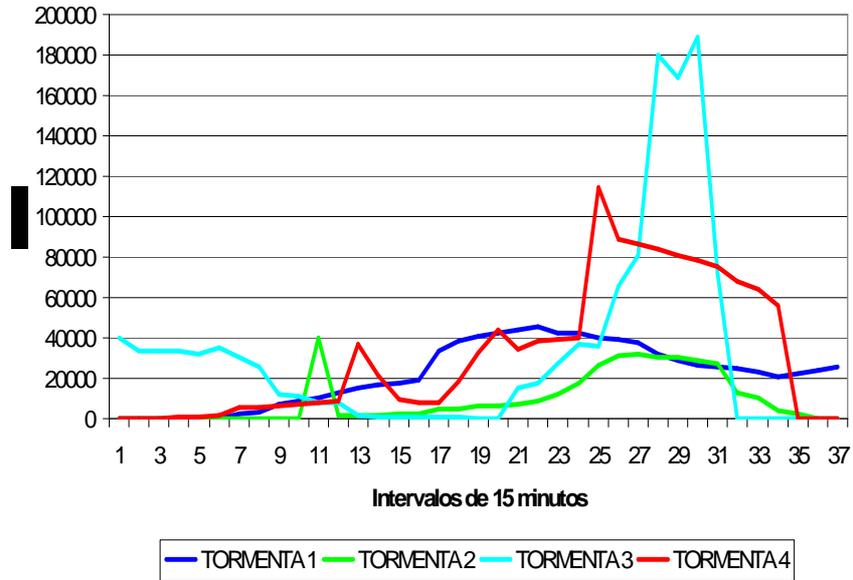
Una vez procesada la información que se seleccionó para la zona de Querétaro, se realizó el estudio comparativo entre el total de las tormentas analizadas considerando dos enfoques, uno para la cobertura de la masa nubosa y sus rangos de temperatura, (figura 4.20), mientras que el otro referente al comportamiento de las diagonales de la tormenta. Las tormentas se relacionaron tomando como referencia la hora en que ocurrió la precipitación, es decir se acoplaron las tormentas en ese instante, denotado en color amarillo, (tabla 4.2.7). Para ello se construyeron las bases de datos por cada rango de temperatura donde se vacía la información de las áreas de cobertura de la masa nubosa y el instante de tiempo.

Tabla 4.2.7 Cobertura nubosa para el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalo de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área cubierta en Km2	TORMENTA 2 Área cubierta en Km2	TORMENTA 3 Área cubierta en Km2	TORMENTA 4 Área cubierta en Km2
1	0.00	0.00	22228.93	0.00
2	0.00	0.00	20167.18	0.00
3	0.00	0.00	18094.70	0.00
4	0.00	0.00	15336.57	201.29
5	224.05	0.00	11935.76	334.39
6	1460.82	0.00	10702.13	752.69
7	1795.14	0.00	9281.66	3056.83
8	2671.68	0.00	7904.32	3003.69
9	5362.97	0.00	1635.69	3595.20
10	7325.32	0.00	1819.40	3806.40
11	8714.15	18898.54	2138.33	4286.02
12	9931.04	617.61	5840.20	4241.10
13	12427.29	1013.15	204.49	21856.52
14	13561.19	1316.57	129.37	13349.46
15	15009.94	1622.25	121.52	4000.70
16	15930.73	1872.52	177.75	5093.83
17	26394.85	2946.74	115.54	4804.65
18	29921.02	3592.46	32.73	14274.34
19	34910.80	4333.35	477.54	19440.00
20	35580.18	5044.19	47.68	25159.08
21	34811.18	5567.32	12002.57	22249.54
22	35725.29	6657.63	15170.37	27315.01
23	32442.91	9400.37	21888.33	26790.91
24	33132.81	12721.57	29436.42	27554.41
25	31406.54	19167.57	30304.59	85296.29
26	29541.67	21135.77	55803.09	65340.45
27	24921.58	19666.54	65545.48	64862.73
28	19550.69	19041.30	136830.77	62216.76
29	17166.37	18269.78	123282.11	59877.92
30	17176.56	17056.95	107762.42	55832.39
31	17084.18	14279.17	50001.82	49894.66
32	16945.30	2401.65	0.00	39516.21
33	19778.01	1825.29	0.00	38257.82
34	17909.88	1041.87	0.00	34459.40
35	19080.90	865.07	0.00	0.00
36	20594.22	0.00	0.00	0.00
37	21739.30	0.00	0.00	0.00

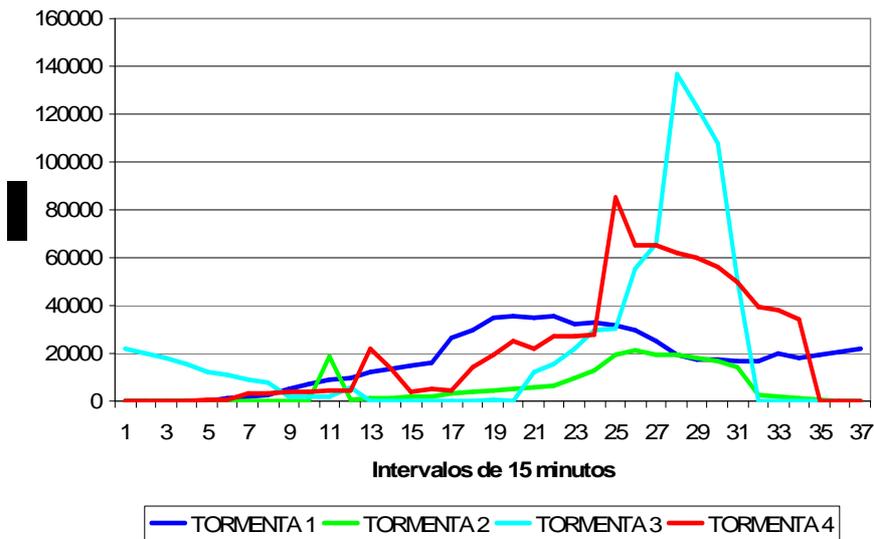
El acoplamiento de las tormentas en el momento de la precipitación, nos permite la representación gráfica de las 4 tormentas en estudio para la zona centro del país, como se muestra en las gráficas posteriores y para cada rango de temperatura.

RANGO-32.15°C—50°C



(a)

RANGO-50°C—70°C



(b)

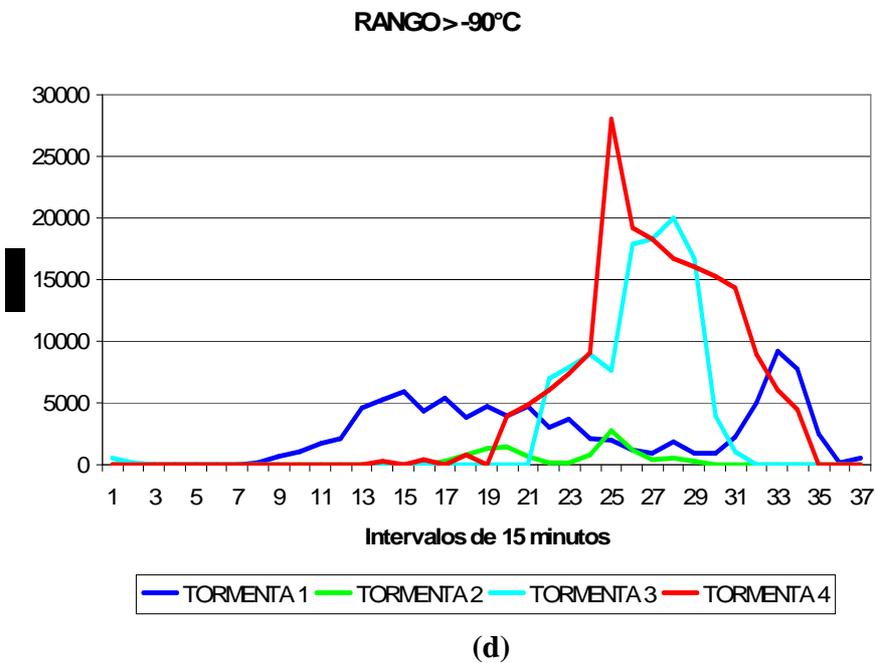
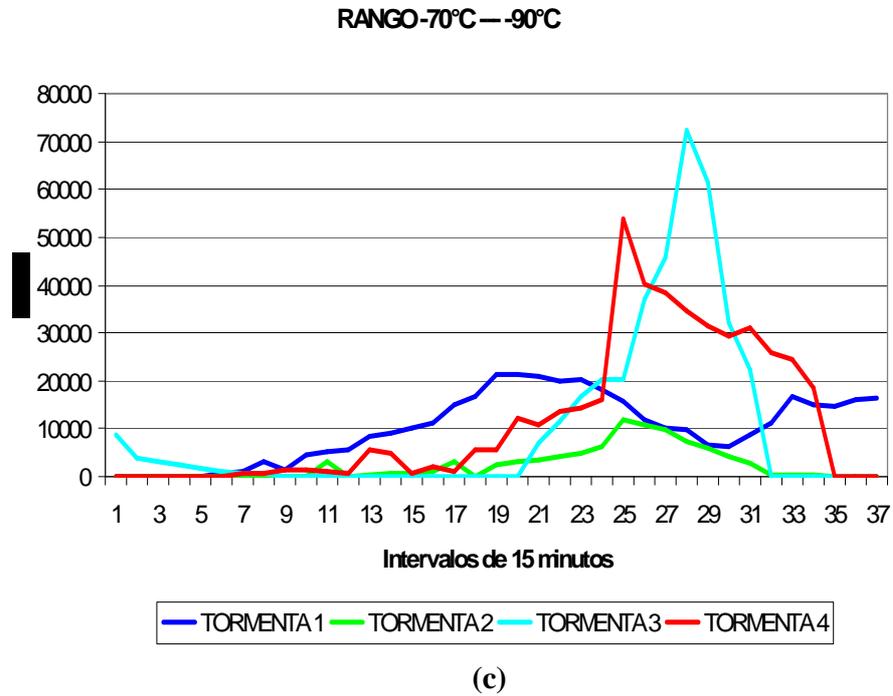


Figura 4.20 Cobertura nubosa de las tormentas de estudio de Querétaro en los diferentes rangos de temperaturas de brillo.

En las figuras mostradas anteriormente se observa una tendencia de crecimiento gradual en cada rango de temperatura para las cuatro tormentas, consecutivamente dentro del desarrollo se presenta una elevación súbita y finalmente un descenso con diferente tendencia a la mostrada en un inicio. En un principio fue lo que se esperaba debido a que ocurren en la misma zona de estudio, a la misma duración de tormenta, y al mismo mes. Los picos que sobresalen en las tormentas 3 y 4 se deben a la fusión de otros núcleos convectivos, dicho comportamiento ocurre en todos los rangos de temperatura.

Se volvió a presentar el mismo comportamiento en las tendencias de ascenso y descenso del crecimiento de la cobertura nubosa, lo cual refuerza este comportamiento identificado en las gráficas anteriores.

Para el comparativo de la longitud de las diagonales de las tormentas, se aplicó el procedimiento anterior, acoplar las tormentas en el instante de la precipitación, como se ocurrió en el intervalo 14, marcado en color amarillo, (tabla 4.2.8). En la figura 4.21 se muestran las gráficas de comportamiento de las diagonales mayor y menor respectivamente.

Tabla 4.2.8 Longitud de la diagonal mayor para las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Longitud en el eje mayor en km	TORMENTA 2 Longitud en el eje mayor en km	TORMENTA 3 Longitud en el eje mayor en km	TORMENTA 4 Longitud en el eje mayor en km
1	108.80	0.00	243.55	132.90
2	107.60	0.00	250.31	120.26
3	131.41	0.00	246.05	124.27
4	132.04	0.00	246.59	115.05
5	140.65	233.46	239.04	149.63
6	148.19	83.89	242.47	152.72
7	153.87	60.73	248.49	154.97
8	167.96	60.97	251.33	137.78
9	172.43	66.07	258.52	119.54
10	167.21	70.96	265.97	161.19
11	180.16	114.29	248.38	147.02
12	185.48	121.23	134.15	221.74
13	232.17	124.21	140.68	249.07
14	227.16	112.68	205.54	273.94
15	207.28	117.07	200.63	240.56
16	281.01	151.57	222.70	310.81
17	245.49	213.90	406.18	299.25
18	304.41	284.06	301.54	279.59
19	282.94	231.58	425.76	468.72
20	309.76	232.52	441.64	435.53
21	289.85	226.83	736.01	427.82
22	299.46	208.46	746.83	416.85
23	222.89	209.16	724.97	426.15
24	273.34	215.04	590.28	428.75
25	245.13	207.94	0.00	276.28
26	252.26	217.41	0.00	253.99
27	178.97	206.81	0.00	262.72
28	190.40	109.86	0.00	225.48
29	182.98	69.22	0.00	320.99
30	190.06	0.00	0.00	244.58
31	207.12	0.00	0.00	315.18
32	0.00	0.00	0.00	130.96

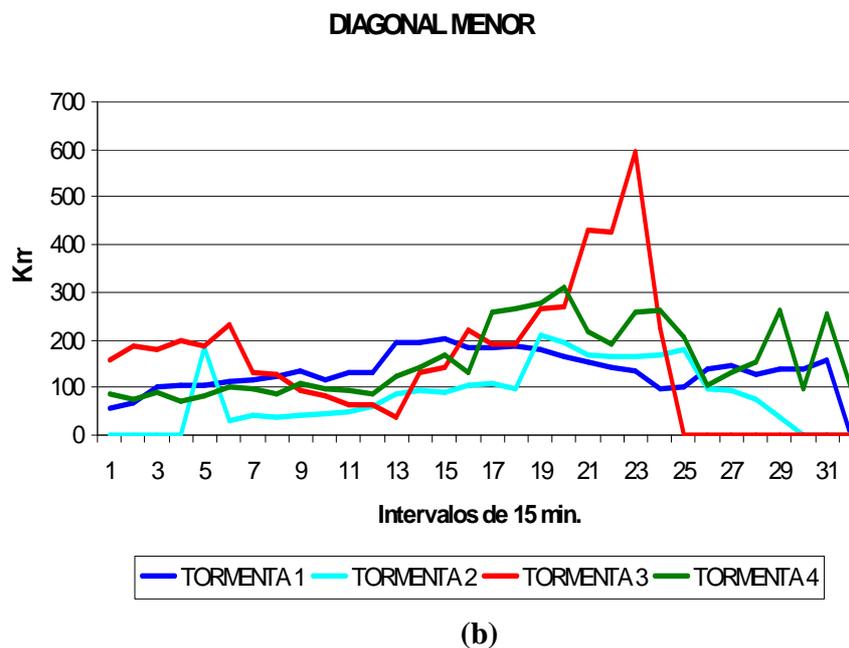
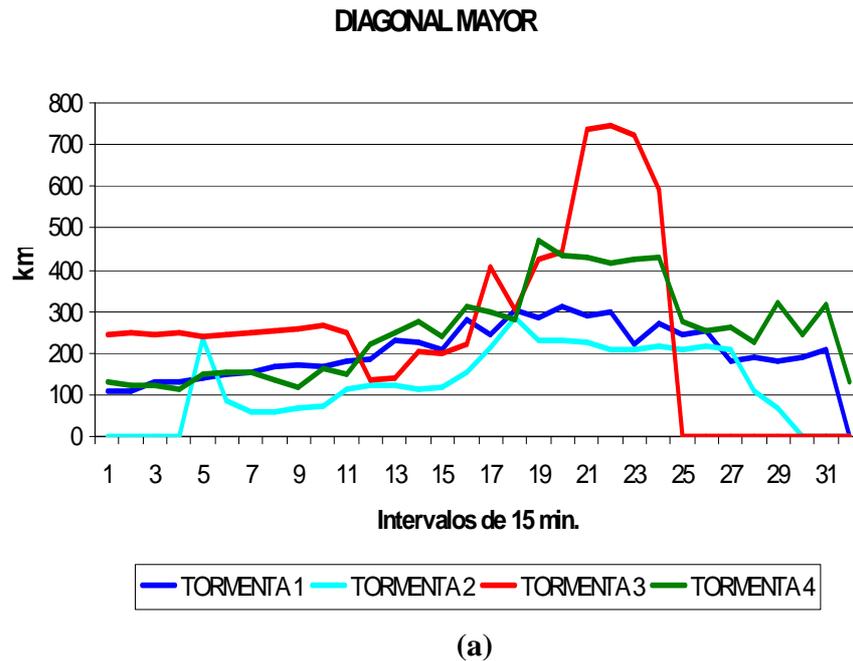


Figura 4.21 Gráfica de la diagonal mayor y menor de las tormentas de estudio de Querétaro.

Se puede observar el desfase que presenta la tormenta No 3, a causa de las fusiones de núcleos convectivos en determinados instantes de tiempo, mientras que las demás tormentas muestran una tendencia de evolución normal. Aquí se preservaron las tendencias de desarrollo y disipación de las tormentas plasmado en las curvas, las cuales se han estado obteniendo en los análisis anteriores.

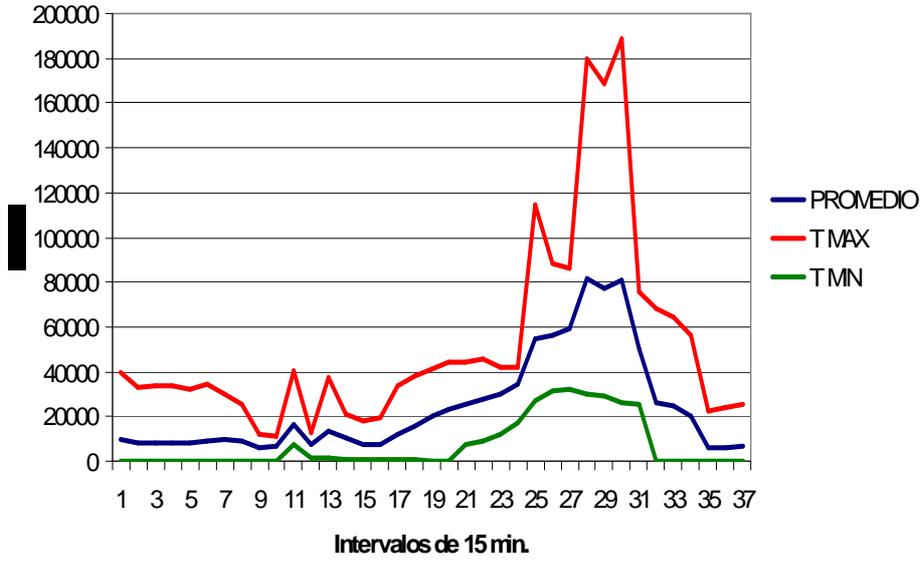
4.2.5 ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA CADA RANGO DE TEMPERATURA.

Dentro del estudio estadístico se continuó con el mismo contexto, relacionando las tormentas de estudio a la hora en que ocurre la precipitación, como ya se comentaba se acoplaron las tormentas en ese instante, ver tabla 4.2.9. Para ello se construyeron bases de datos para cada rango de temperatura donde se despliega la información de las áreas de cobertura de la masa nubosa y su instante de tiempo. Se determinó el promedio de cobertura de áreas de las cuatro tormentas, así como sus coberturas máximas y mínimas.

Tabla 4.2.9 Estadísticos de coberturas nubosas en el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, para las tormentas de estudio de Querétaro.

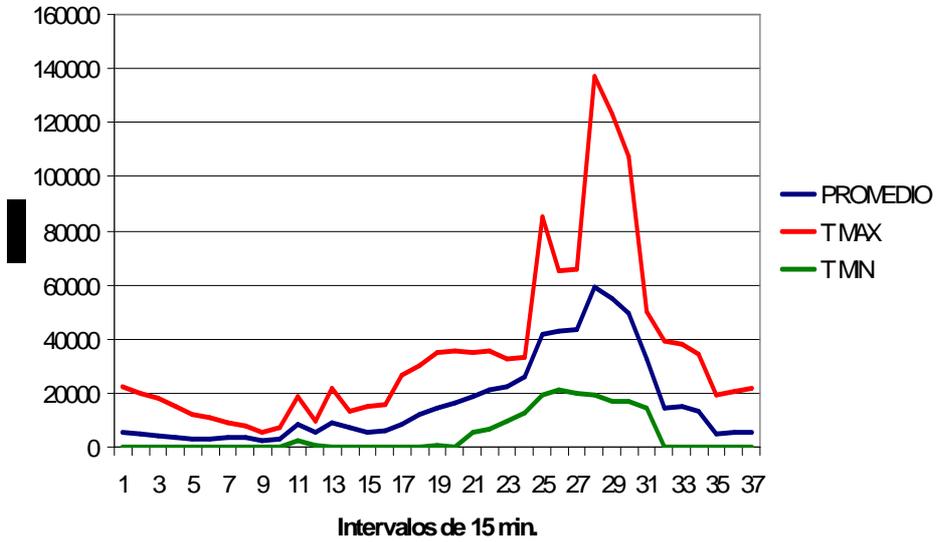
TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2	TORMENTA 3 Área de cobertura en km2	TORMENTA 4 Área de cobertura en km2	C.PROMEDIO Cobertura en km2	C. MAX Cobertura en km2	C. MIN Cobertura en km2
0.00	0.00	22228.93	0.00	5557.23	22228.93	0.00
0.00	0.00	20167.18	0.00	5041.79	20167.18	0.00
0.00	0.00	18094.70	0.00	4523.67	18094.70	0.00
0.00	0.00	15336.57	201.29	3884.46	15336.57	0.00
224.05	0.00	11935.76	334.39	3123.55	11935.76	0.00
1460.82	0.00	10702.13	752.69	3228.91	10702.13	0.00
1795.14	0.00	9281.66	3056.83	3533.41	9281.66	0.00
2671.68	0.00	7904.32	3003.69	3394.92	7904.32	0.00
5362.97	0.00	1635.69	3595.20	2648.46	5362.97	0.00
7325.32	0.00	1819.40	3806.40	3237.78	7325.32	0.00
8714.15	18898.54	2138.33	4286.02	8509.26	18898.54	2138.33
9931.042	617.61	5840.20	4241.10	5157.49	9931.04	617.61
12427.29	1013.15	204.49	21856.52	8875.36	21856.52	204.49
13561.19	1316.57	129.37	13349.46	7089.15	13561.19	129.37
15009.94	1622.25	121.52	4000.70	5188.60	15009.94	121.52
15930.73	1872.52	177.75	5093.83	5768.71	15930.73	177.75
26394.85	2946.74	115.54	4804.65	8565.44	26394.85	115.54
29921.02	3592.46	32.73	14274.34	11955.14	29921.02	32.73
34910.80	4333.35	477.54	19440.00	14790.42	34910.80	477.54
35580.18	5044.19	47.68	25159.08	16457.78	35580.18	47.68
34811.18	5567.32	12002.57	22249.54	18657.65	34811.18	5567.32
35725.29	6657.63	15170.37	27315.01	21217.07	35725.29	6657.63
32442.91	9400.37	21888.33	26790.91	22630.63	32442.91	9400.37
33132.81	12721.57	29436.42	27554.41	25711.30	33132.81	12721.57
31406.54	19167.57	30304.59	85296.29	41543.74	85296.29	19167.57
29541.67	21135.77	55803.09	65340.45	42955.25	65340.45	21135.77
24921.58	19666.54	65545.48	64862.73	43749.08	65545.48	19666.54
19550.69	19041.30	136830.77	62216.76	59409.88	136830.78	19041.30
17166.37	18269.78	123282.11	59877.92	54649.05	123282.11	17166.37
17176.56	17056.95	107762.42	55832.39	49457.08	107762.42	17056.95
17084.18	14279.17	50001.82	49894.66	32814.96	50001.82	14279.17
16945.30	2401.65	0.00	39516.21	14715.79	39516.21	0.00
19778.01	1825.29	0.00	38257.82	14965.28	38257.82	0.00
17909.88	1041.87	0.00	34459.40	13352.79	34459.40	0.00
19080.90	865.07	0.00	0.00	4986.49	19080.90	0.00
20594.22	0.00	0.00	0.00	5148.55	20594.22	0.00
21739.30	0.00	0.00	0.00	5434.82	21739.30	0.00

RANGO-32.15°C — -50°C

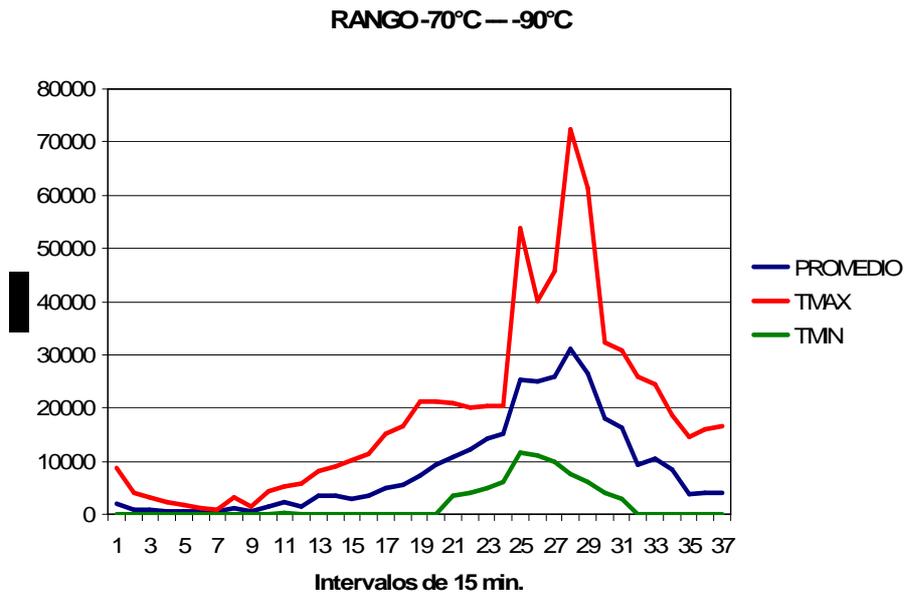


(a)

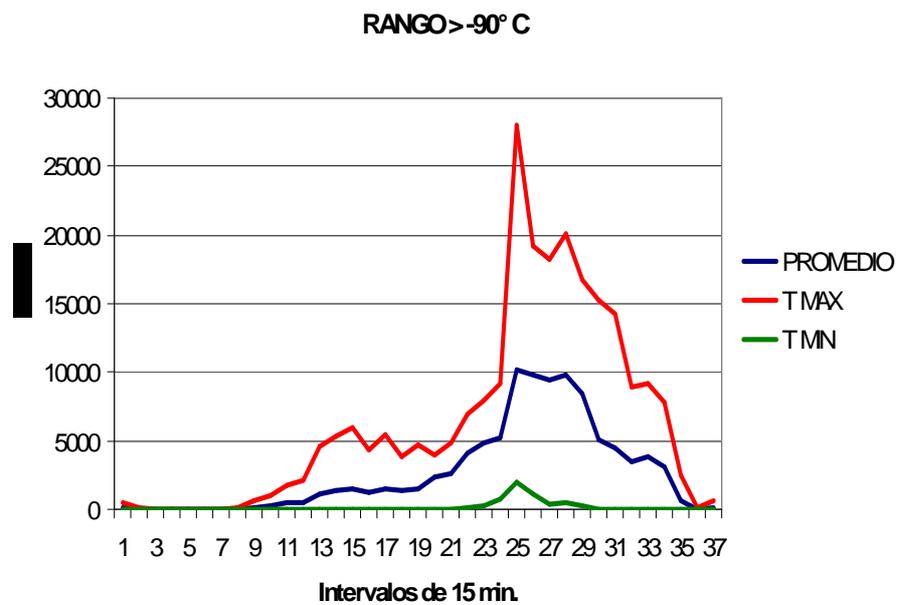
RANGO-50°C — -70°C



(b)



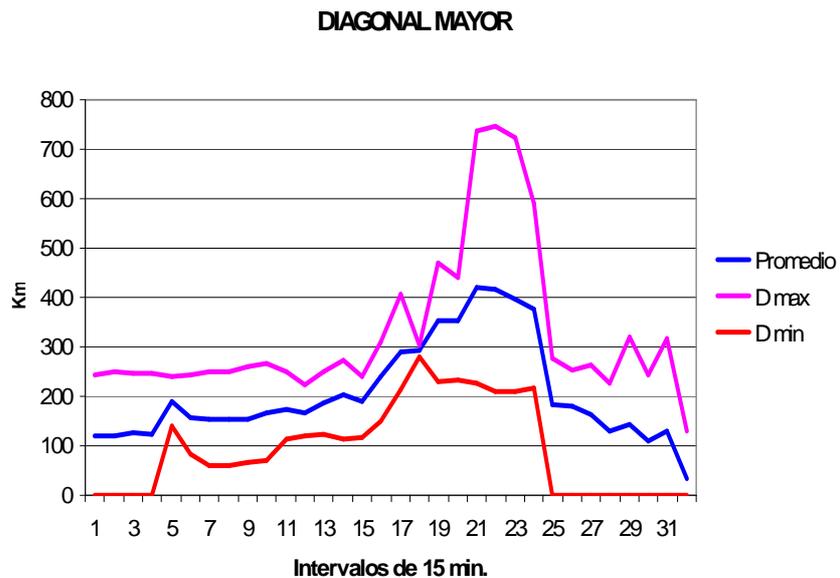
(c)



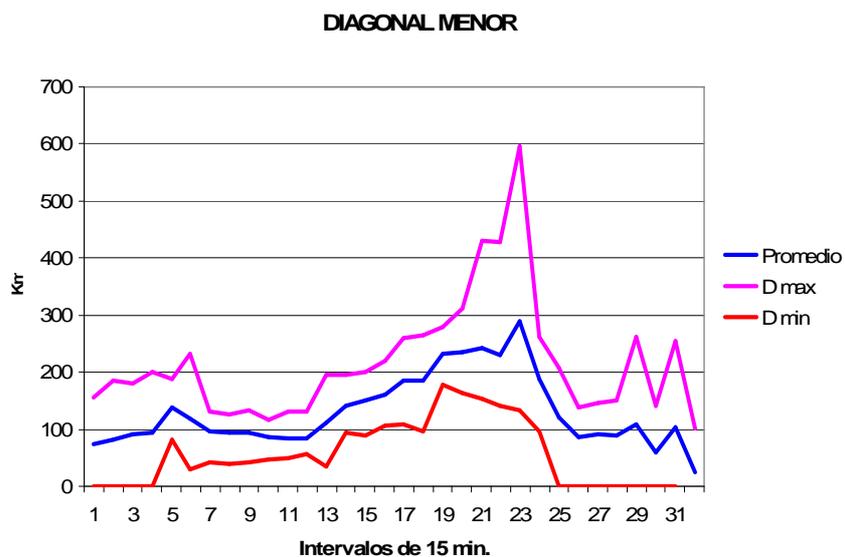
(d)

Figura 4.22 Curvas de estadísticos para la cobertura nubosa en cada rango de temperatura de las tormentas de estudio de Querétaro.

Se puede notar en la figura 4.22, el comportamiento para la cobertura máxima que presenta una variación anormal en cada rango de temperatura, que oscila entre picos máximos y mínimos, mientras que la cobertura mínima mantiene una evolución mas uniforme en cuanto a crecimiento y disipación de las tormentas. Por otro lado la cobertura promedio en cada rango nos representa perfectamente las evoluciones de las tormentas en todos los rangos de temperatura y con tendencias muy similares entre las mismas, aunque los valores de las coberturas pueden variar de una tormenta a otra, el patrón de las tendencias se mantiene en la evolución de estas.



(a)



(b)

Figura 4.23 Gráfica de estadísticos de las diagonales mayor y menor de las tormentas de estudio de Querétaro.

La figura 4.23 nos muestra el comportamiento que desarrolló tanto la diagonal mayor y menor en instantes de tiempo de 15 minutos. En dicho análisis se construyeron las curvas de los comportamientos máximos, mínimos y promedios, de las diagonales. Se obtuvieron longitudes, para la diagonal mayor, que se encuentran por encima de los 700 km de longitud en el instante en que ocurría la precipitación, mientras que la diagonal mínima alcanzó los 300 km de longitud.

Para la diagonal menor el crecimiento de la diagonal máxima alcanzó una longitud de 600 km y la diagonal mínima solo obtuvo una longitud de 190 km. Otra vez se observa la preservación del patrón de desarrollo de las tormentas de 60 minutos de duración para el mes de julio sobre el estado de Querétaro.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS EN EL NOROESTE DEL PAÍS.

Para el estudio de las tormentas en el noroeste del país, se consideraron los estados de Sonora y Sinaloa, que es la zona donde se presenta el monzón mexicano. A continuación se describen las características fisiográficas de cada uno de ellos.

4.3.1 MARCO FÍSICO DE SINALOA.

Localización.

El Estado de Sinaloa se ubica entre las coordenadas 27° 02', 22° 29' de latitud norte, y 105° 23', 109° 28' de longitud oeste. Representa el 2.9% de la superficie del país.

Geología.

Sinaloa presenta cuatro Eras Geológicas, la más antigua es el Precámbrico que tiene una edad aproximada de 600 millones de años, las rocas de esta Era son metamórficas con una cobertura de 0.3%; el Paleozoico (375 millones de años), con rocas sedimentarias (2.9%) y metamórficas (1.8%); la Era del Mesozoico abarca una superficie de 12.5%, donde 8.7% son rocas ígneas intrusivas del Periodo Cretácico (135 millones de años), 0.8% sedimentarias y 3.0% metamórficas; por último, la Era del Cenozoico (63 millones de años), se presenta en mayor o menor proporción en todos los municipios del estado, pero sobre todo en los del extremo occidental, las rocas del Periodo Terciario ocupan 48.7%, son de hecho, las más abundantes en la entidad, de origen ígneo intrusivo, extrusivo y sedimentario; las rocas del Cuaternario, principalmente ígnea extrusiva y suelo, cubren 33.8% de la superficie estatal y colindan con la línea de costa del Golfo de California. Como se muestra en la figura 4.24.



Figura 4.24 Mapa Geológico, 2000. (INEGI).

Clima.

La altitud predominante en Sinaloa al nivel del mar es de 1.000 m, como se puede observar en la figura 4.25 anexa, otros factores como la ubicación en las zonas subtropical e intertropical, ha originado que gran parte de su territorio presente altas temperaturas; mientras que el resto, con mayor altura sobre el nivel del mar, muestra temperaturas menos altas. Este elemento del clima (la temperatura) en relación con la precipitación, que va de menos de 300 a más de 1 500 mm, ha dado lugar a la presencia de climas: cálido subhúmedo con lluvias en verano, semiseco muy cálido y cálido, seco muy cálido y cálido, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, muy seco muy cálido y cálido, templado subhúmedo con lluvias en verano y seco semicálido; citados en orden según la extensión que abarcan.

El clima cálido subhúmedo con lluvias en verano se distribuye en forma de una franja orientada más o menos noroeste-sureste; éste clima comprende alrededor de 36% de la entidad, donde la temperatura media anual va de 22° a 26°C, y la precipitación total anual varía entre 700 y 1 000 mm.

Al occidente de la zona anterior se localiza el clima semiseco muy cálido y cálido, también a manera de franja. Esta franja corresponde cerca del 21% de la superficie estatal; en ella la temperatura media anual que prevalece es de 24° a 26°C; la precipitación total anual varía entre 600 y 800 mm.

Del occidente, se extiende la faja de clima seco muy cálido y cálido, el cual abarca casi 18% de la entidad, presenta temperaturas medias anuales de 22° a 26°C y su precipitación total anual va de menos de 400 a 600 mm.

En terrenos aledaños al límite con Chihuahua, así como de la mitad hacia el sur de las tierras colindantes con Durango, en áreas discontinuas cuya altitud va de 1 000 a 1 200 m y que representan poco más de 11% del estado, se manifiesta el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Este se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales mayores a 18°C, la temperatura media del mes más frío varía entre -3° y 18°C y la precipitación total anual, entre 800 y más de 1 500 mm.

La zona más seca, con precipitaciones totales anuales entre 200 y 400 mm y temperaturas medias anuales de 22° a 26°C, abarca aproximadamente 10% del territorio sinaloense y pertenece al clima muy seco muy cálido y cálido.

El clima templado subhúmedo con lluvias en verano comprende áreas cuya altitud es mayor de 1 200 m, se distribuye hacia el lado oriental, en unidades separadas que suman algo más de 4% del estado. Dichas unidades tienen temperaturas medias anuales que varían de 12° a 18°C, la temperatura media del mes más frío se encuentra entre -3° y 18°C, y la precipitación total anual va de 800 a más de 1 500 mm.

Al poniente de la población (apenas 0.14%) de clima seco semicálido; ésta presenta temperaturas medias anuales entre 18° y 22°C y su precipitación total anual se encuentra alrededor de 500 mm. (INEGI, 2000).



Figura 4.25 Mapa Climático, 2000. (INEGI).

Región y Cuencas Hidrológicas.

Sinaloa es uno de los estados que para sus dimensiones tiene un número considerable de presas, las cuales se pueden observar en la figura 4.26, cuenta únicamente con dos Regiones Hidrográficas, una de ellas que hace honor al nombre del estado, es la de mayor representatividad por el número de cuencas que comprende, así como por la superficie estatal (84.76%) que ocupan; y la de Presidio-San Pedro con tres cuencas que cubren 15.24% del sureste de la entidad. En la Región Sinaloa, se concentran la mayor cantidad de presas de la entidad; tal es el caso de Las Juntas y Aurelio Benassini. En la figura posterior se observa los ríos pertenecientes a cada una de las regiones hidrográficas, así mismo como las cuencas que los forman.

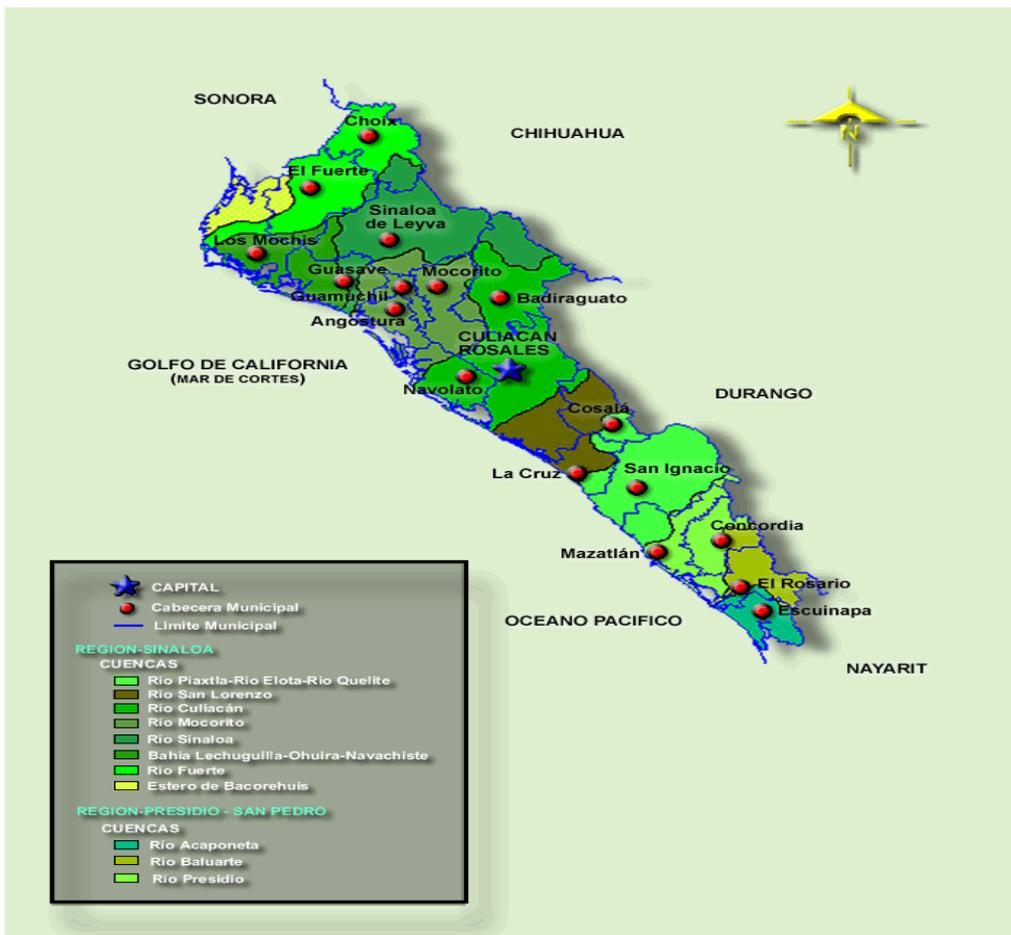


Figura 4.26 Mapa de Cuerpos de Agua, 2000. (INEGI).

4.3.2 MARCO FÍSICO DE SONORA.

Localización.

El estado de Sonora se localiza en el extremo noroeste de los estados unidos mexicanos. Está ubicado entre los meridianos 108° 27 minutos y 115° 03 minutos de longitud al este del meridiano de Greenwich y entre los paralelos 26° 14 minuto y 32° 29 minutos de latitud norte del ecuador.

Cuenta con una extensión territorial de 184,934.0 kilómetros cuadrados los cuales representan el 9,4 % de la superficie del territorio del país, por lo que es el segundo estado más grande de la república Mexicana, el cual está dividido en 72 municipios.

Clima.

En el estado existen cuatro grupos climáticos que se pueden distinguir en la figura 4.27, que son: seco desértico (BW); semisecos (BS); subhúmedos (AC) y templados (Cw).

En el 90 % del área predomina el clima seco y semiseco y en general en el estado predomina la poca disponibilidad del agua.

Los climas templados subhúmedos se encuentran restringidos a las porciones más altas del estado y partes pequeñas de las sierras al norte de Cananea; el estado cuenta con una franja al sureste del estado en los límites del estado de Chihuahua con climas templados.



Figura 4.27 Mapa Climático, 2000. (INEGI).

Hidrografía.

Los principales ríos con que cuenta el estado de Sonora son: el río Colorado, río Concepción, el río San Ignacio, el río Sonora, el río Mátape, el río Yaqui y el río Mayo. Asimismo cuenta con importantes embalses como la presa Álvaro Obregón, la presa Adolfo Ruiz Cortines, presa Plutarco Elías Calles, presa Abelardo Rodríguez, presa Lázaro Cárdenas entre otras, como se aprecia en la figura 4.28.

Las exploraciones hidrológicas subterráneas que se hacen en el estado están comprendidas en los distritos de riego por gravedad. En la actualidad estas zonas muestran graves niveles de abatimiento de sus mantos acuíferos.

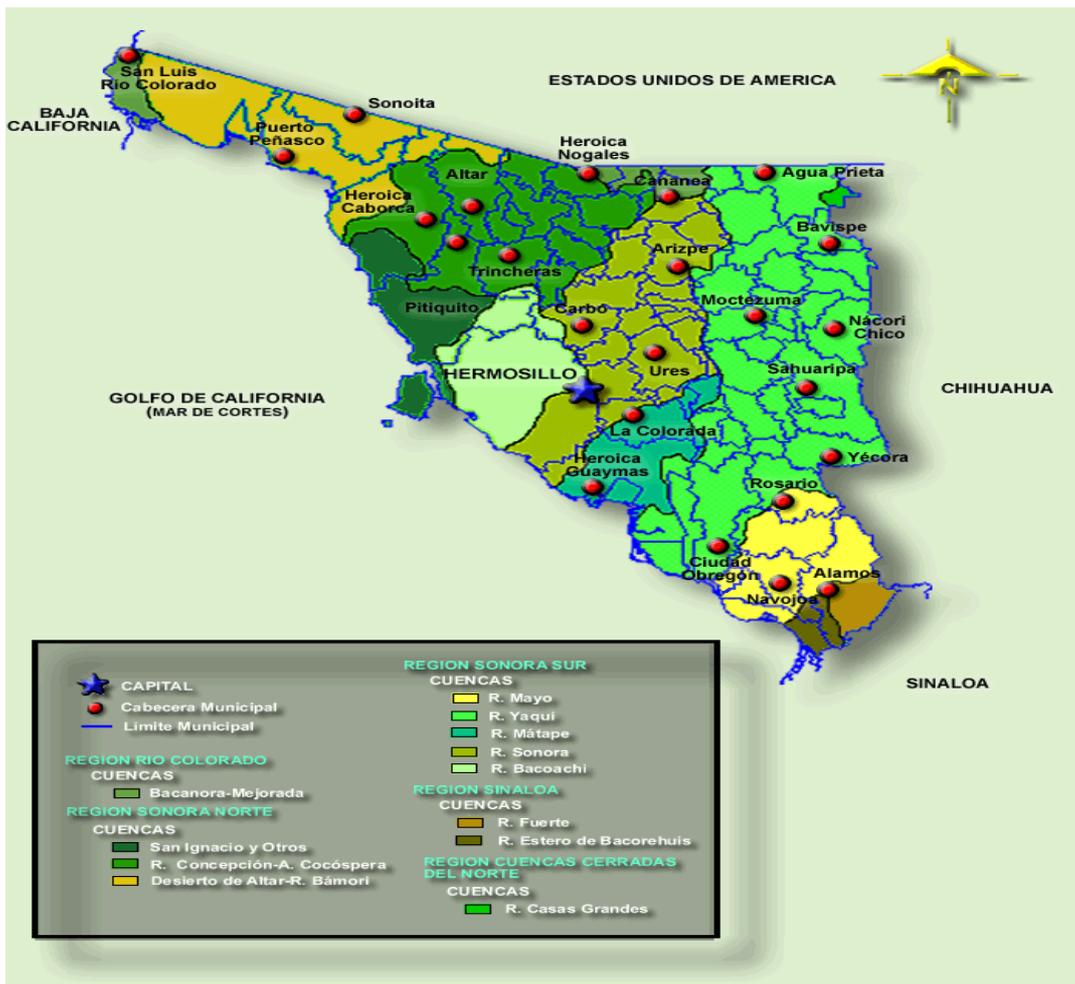


Figura 4.28 Mapa de Cuerpos de Agua, 2000. (INEGI).

Características y Uso del Suelo.

En el estado existe una gran variedad de tipos de suelos y los más frecuentes son los yermosoles y los castañozem los cuales ocupan aproximadamente un 73 % de la superficie total del estado.

Los suelos yermosoles son suelos claros con buena retención de agua, con drenaje adaptable a las actividades agrícolas, aunque en ocasiones son necesarias algunas obras de conservación. Esto generalmente sucede en casos de pendientes muy pronunciadas. En este tipo de suelos es donde se realiza la mayor parte de la actividad agrícola del estado.

Los suelos castañozem se encuentran en la parte este y central de norte a sur del estado, y abarcan el 33 % de la superficie total del estado. Estos suelos son ricos en materia orgánica, preferentemente dedicados a la actividad pecuaria no a las agrícolas por causa de sus pendientes.

Por su parte los suelos de tipo Litosol, Livosol y Xerosol, cubren aproximadamente el 16 % de la superficie total del estado. (INEGI, 2000).

4.3.3 IDENTIFICACIÓN DE TORMENTAS EN LA PARTE NOROESTE DEL PAÍS.

Para la región del noroeste se consideraron diferentes estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) como son; Chinatú, Maguarichi, Guachochi y Urique, en la figura 4.29 se muestra la ubicación de éstas dentro de la región en estudio. Para el ejemplo mostrado se tomó en cuenta la EMA de Chinatú, que se encuentra ubicada en Chihuahua. Se realizó el mismo procesamiento como en la zona de Querétaro donde se conjuntaron las tormentas con duraciones de 60 y 70 minutos formando la duración de estudio de 60 minutos, como se muestra en la tabla 4.2.10, por otro lado se conjuntaron las tormentas con duraciones de 80, 90 y 100 minutos (10 min. \pm y la de estudio), formando la duración de estudio de 90 minutos. De esta manera se creó la tabla de clasificación de tormentas con duraciones de estudio específicamente para el mes de julio.

Las duraciones de estudio se crearon como múltiplos de 30 minutos, a partir de la duración de estudio de 60 minutos, para el total de tormentas encontradas se utilizó el mismo criterio descrito anteriormente. Mientras que las duraciones de 40 y 50 minutos permanecieron con el mismo valor. Las duraciones de 20 y 30 minutos no se analizan debido a que se consideran duraciones normales, puesto que no generan problemas graves de inundaciones, es decir no son lluvias de gran intensidad.

La duración de la tormenta típica máxima se obtuvo a partir de los estadísticos calculados para cada duración de estudio, como ejemplo se muestra en la tabla 4.2.10. La tormenta típica máxima es aquella cuya mayoría de estadísticos fuera más grande con respecto al de las demás duraciones. La tormenta típica máxima para el mes de julio en los años comprendidos se encuentra en un rango de duración de entre 40 y 90 minutos, dentro de este rango de duraciones de estudio se seleccionaron las imágenes de satélite, como se observa en la tabla 4.2.10 enmarcadas en color rojo.

La tabla 4.2.11 muestra la estructura en cuanto a hora/día/mes/año en que ocurre cada tormenta con una duración de 50 minutos para el mes de julio en los años comprendidos de estudio, puesto que en esta tabla nos especifica la hora exacta en que comienza la precipitación para esa tormenta y en base a ello se torna la selección de imágenes de satélite IR. En la parte inferior se anexa el hietograma promedio para tal duración así mismo muestra el porcentaje de lluvias para intervalos de duraciones de 10 minutos.

En la tabla 4.2.12 se tiene la organización total de las duraciones de las tormentas típicas máximas de la estación Chinatú, Chihuahua. Que nos representa el día, hora y duración, de los años 2004, 2005 y 2006 para los cuales se disponía imágenes de satélite, con los meses de la temporada de lluvia. En el mes de julio del año 2004 y 2005 se seleccionaron las tormentas a analizar que se encuentran marcadas en color amarillo y rojo. Dentro de esta misma se indica la extracción de las tormentas para un mes en específico, como lo fue el mes de julio, de los distintos años en estudio y para las cuatro estaciones climatológicas mencionadas en la parte inferior.

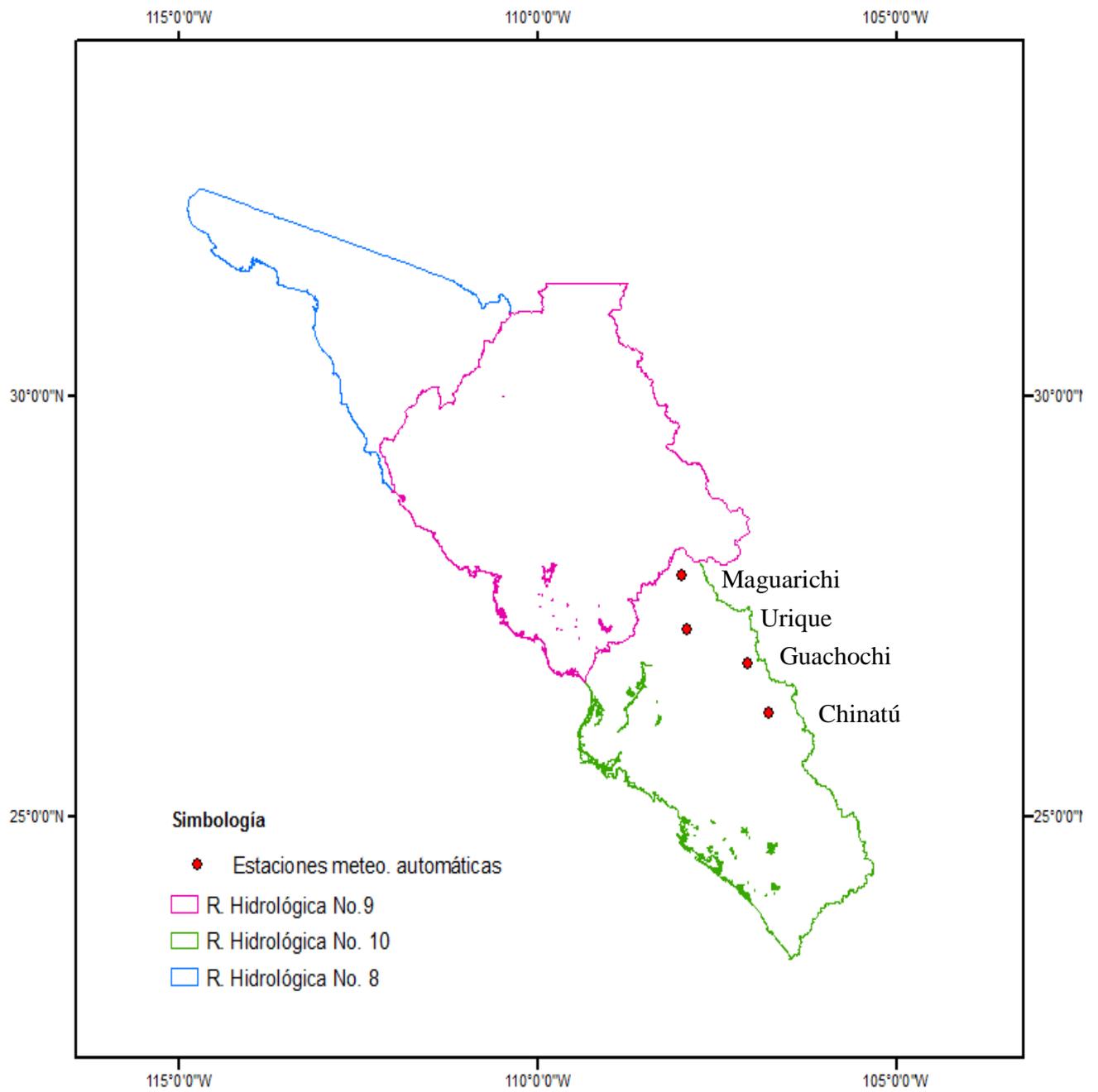


Figura 4.29 Localización de las EMAS para la región de estudio del noroeste.

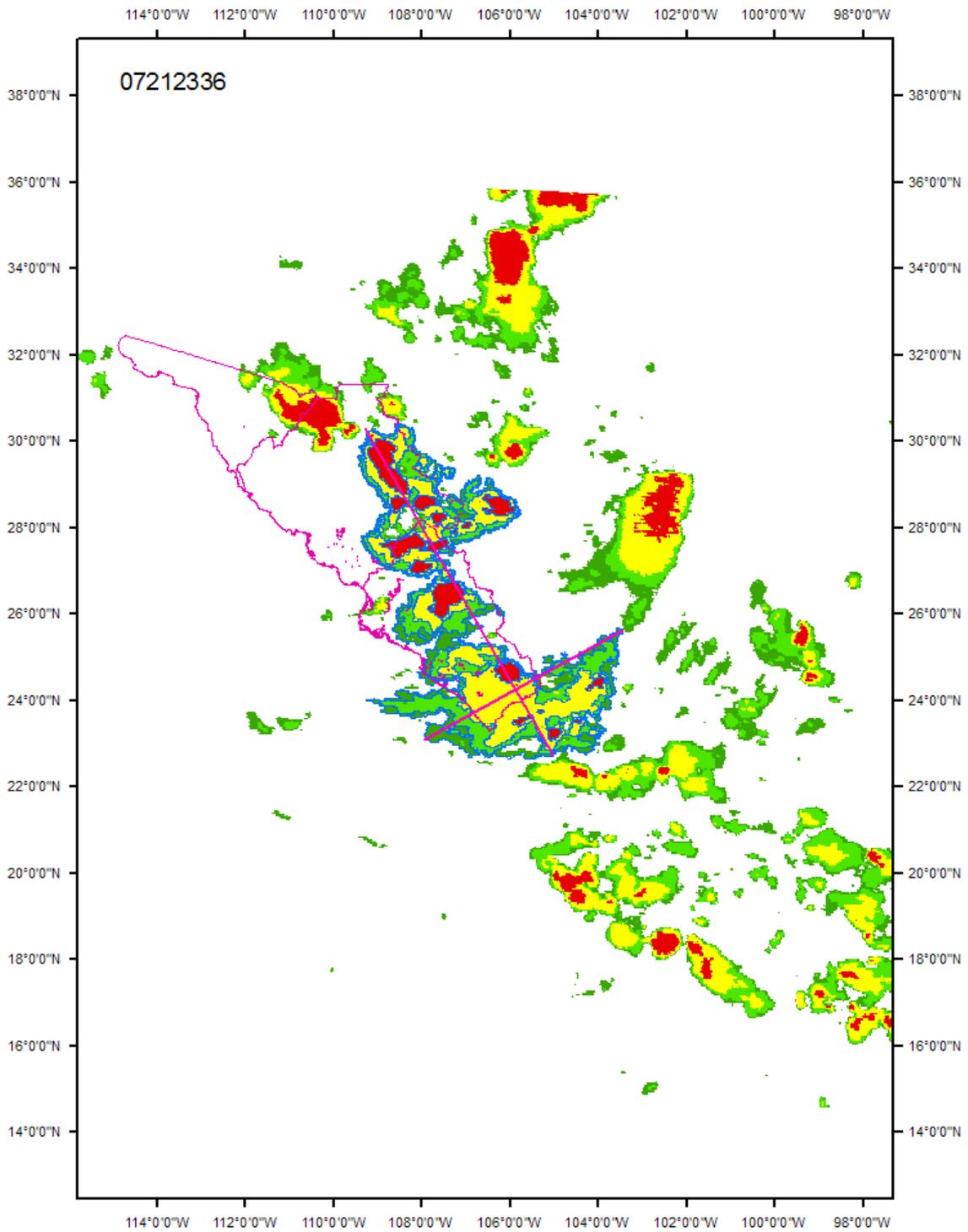


Figura 4.30 Localización de las coordenadas en la zona Noroeste para la tormenta del día 22 de julio del 2004 a las 22:36 p.m.

Tabla 4.2.10 Clasificación de tormentas con duraciones de estudio para el mes de julio. (EMA) Chinatú.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA, (EMA) CHINATÚ						
Fecha	20	30	40	50	60	90
Julio-1999	25	5	5	3	8	4
Julio-2000	17	9	3	2		3
Julio-2001	24	17	6	6	4	1
Julio-2002	14	8	5	5	1	3
Julio-2003	12	5	3	3	3	1
Julio-2004	20	12	6	5	9	8
Julio-2005	10	3	7	3	4	4
Julio-2006	14	8	7	1	2	3
Julio-2007						
Tormentas	136.00	67.00	42.00	28.00	31.00	27.00
Promedio	17.00	8.37	5.25	3.50	4.42	3.37
Acum. Máxima	14.23	11.43	20.06	20.58	32.76	30.72
Acum. Promedio	1.15	2.66	3.16	4.87	6.51	8.56
Desv. Acum	1.56	2.45	3.45	4.87	4.87	4.87433318
Probabilidad			0.27	0.18	0.20	0.17419355
L mm	3.45	5.32	4.74	5.84	6.51	5.71323718

Tabla 4.2.11 Lista de tormentas con duración de 50 minutos.

Tormentas en el periodo 1999 - 2007 dentro la EMA de CHIHUAHUA CHINATÚ														
Lista de tormentas con una duración de 50 minutos.														
	02/07/1999	10/07/2000	03/07/2001	04/07/2002	02/07/2003	04/07/2004	22/07/2004	27/07/2004	14/07/2005	19/07/2005	27/07/2005	Promedio	Des. Estándar	Porcentaje
DURACION	22:00 - 22:40	04:40 - 05:20	21:40 - 22:20	05:00 - 05:40	22:00 - 22:40	05:50 - 06:30	05:00 - 05:40	20:20 - 21:00	20:10 - 20:50	02:00 - 02:40	03:30 - 04:10			
10	0.51	0.25	2.54	0.76	2.03	0.25	0.25	0.51	0.51	0.51	0.25	0.7609	0.7792	15.62%
20	0.25	0.25	8.64	0.51	2.29	0.25	1.27	2.29	1.78	2.79	0.51	1.8936	2.4283	38.87%
30	0.25	0.25	0.76	0.25	0.76	0.25	1.02	2.79	0.76	0.51	0.25	0.7136	0.7435	14.65%
40	0.25	0.25	1.02	0.51	1.52	0.25	0.25	1.52	0.25	0.76	0.25	0.6209	0.5131	12.74%
50	0.25	0.25	0.51	0.25	0.25	0.25	0.25	0.51	0.25	0.25	0.25	0.2973	0.1052	6.10%
Acum.	1.5100	1.25	13.47	2.28	6.85	1.25	3.04	7.62	3.55	4.82	1.51	4.28636		
Acum. máximo	13.4700													
Acum. Promedio	4.2864													
Desv. Est.	3.5965													

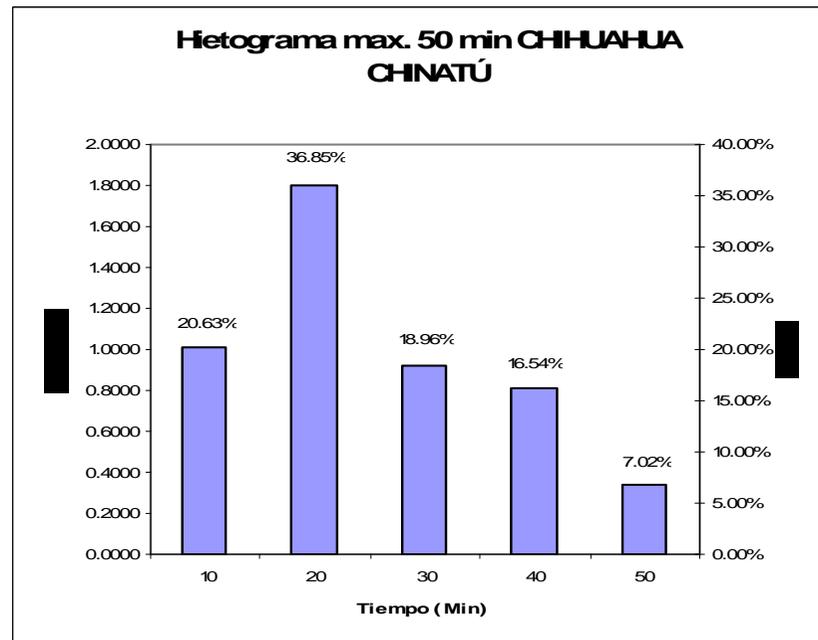


Figura 4.31 Histograma promedio de la tormenta para 50 minutos de duración de julio, EMA Chinatú.

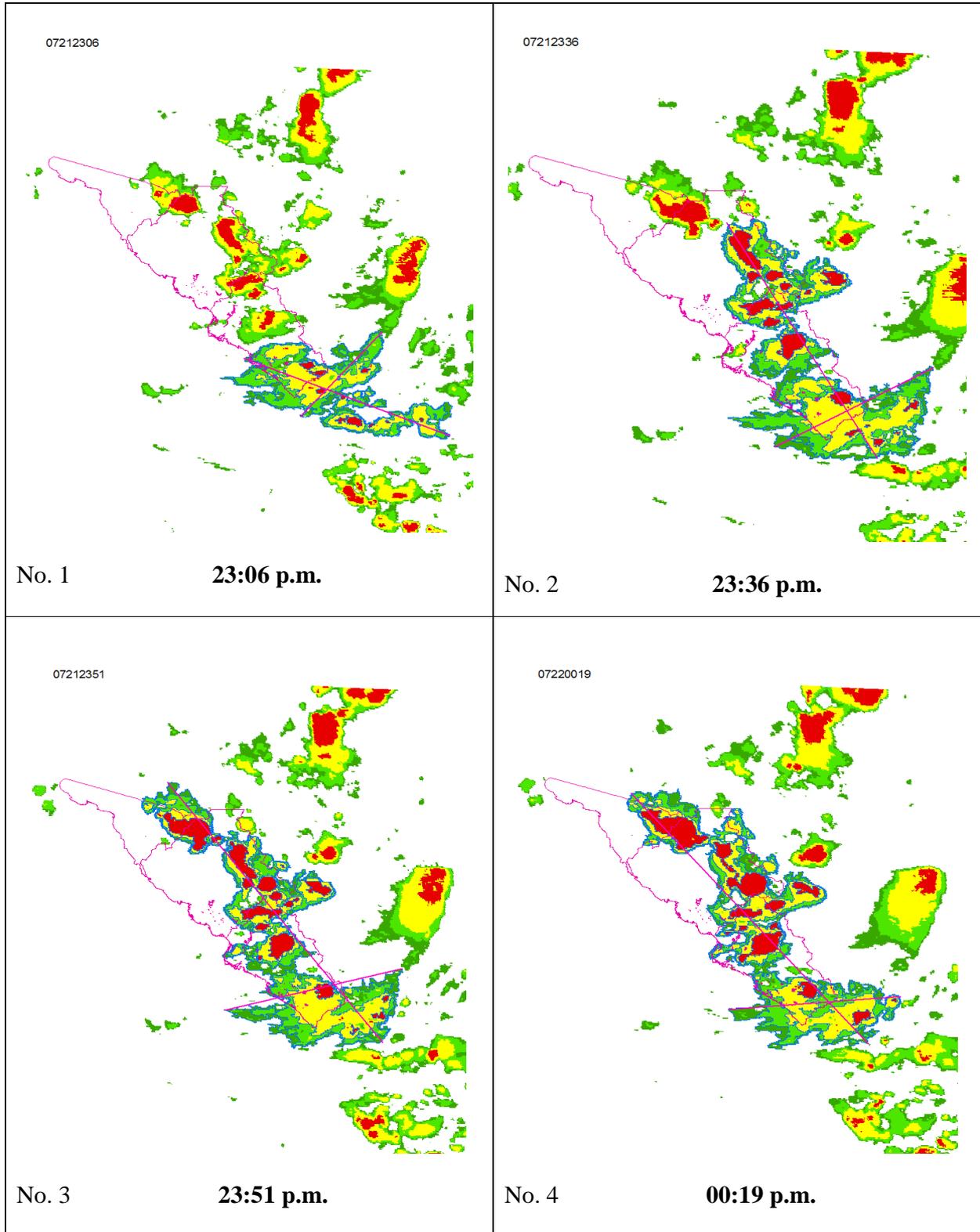
Tabla 4.2.12 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de julio.

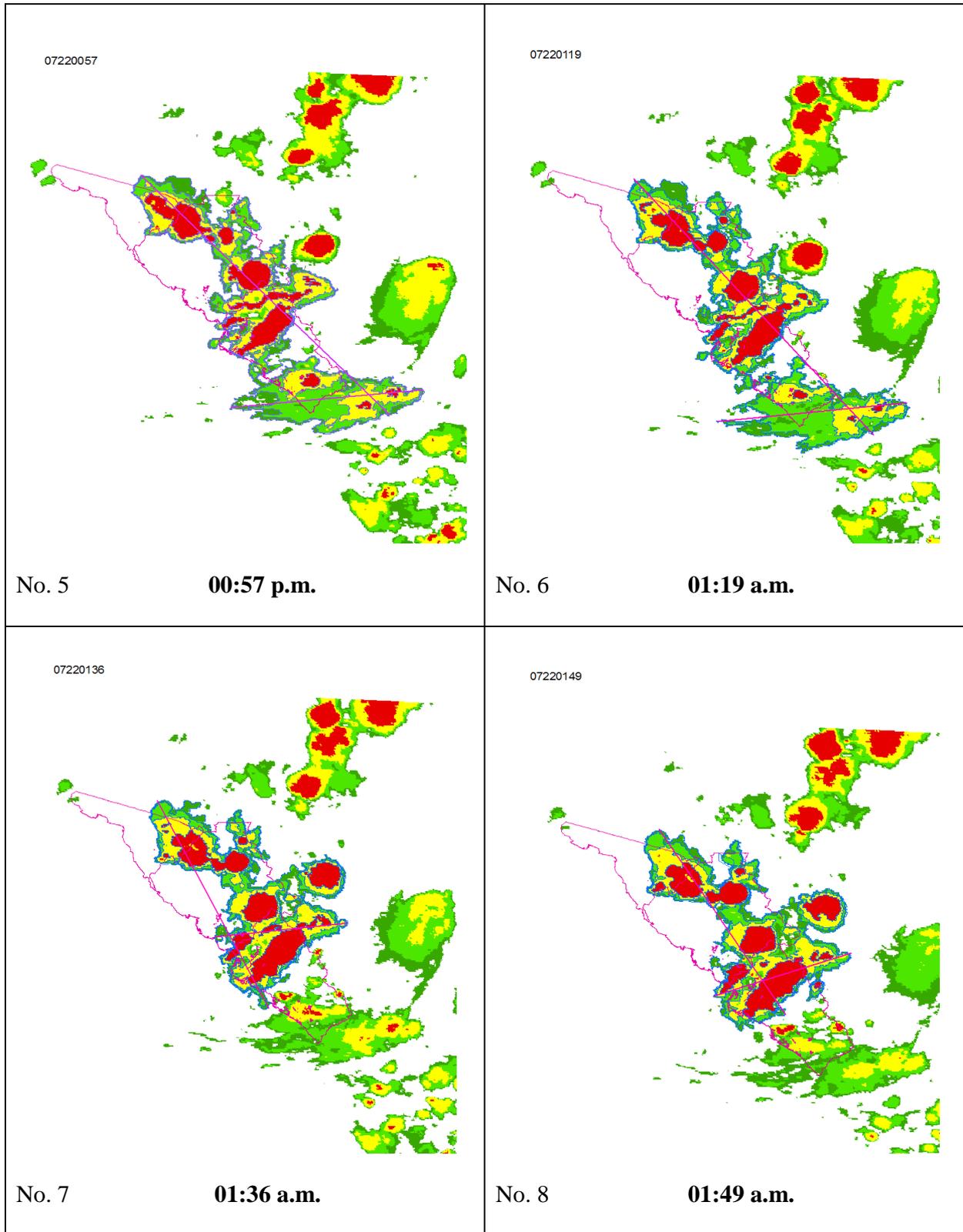
Día	Jul-04	Jul-04	Jul-04	Jul-04	Jul-05	Jul-05	Jul-05	Jul-05	Jul-06	Jul-06	Jul-06	Jul-06
1				23_50							19_40	21_50:03_60
2		22_60		23_60								
3		20_60		01_60:22_90	21_50					00_40:02_50		
4		05_50		03_60:07_90						22_60	02_50	00_40
5		20_90									02_50	
6				00_40			01_50			21_40	04_40	22_40
7		21_40									01_40	22_40
8					21_40					03_40	20_40:22_60	01_60
9		23_60	22_40								22_50	05_40:01_50
10					23_40		04_40:23_60			19_40	06_40	01_50
11								04_60		23_90	20_50	
12		23_60										
13		21_40:03_90	20_40:21_40	23_90		23_60:21_90						
14		21_60	19_40	01_90:03_90		20_50						
15		05_40:06_90		04_60						02_40		
16		20_50:01_90						02_40		21_40		
17		22_40:00_60:04_60		23_40						21_90	07_40	01_40
18		00_40										
19		00_90			04_40	03_40:02_50:12_60:22_90		09_40:10_40:07_60			22_40	
20			20_40		05_40	01_60		03_50				
21												
22		04_50:05_50:21_90	21_40:14_60:02_90	02_90	01_40:18_50		21_50:23_90	17_50				
23		00_90		00_90		22_40:07_60		05_40:09_40:18_40:00_60				
24				00_60:03_90	01_60	20_40	02_60					
25		00_90	02_90	01_60								
26										00_40		18_50
27		03_40:20_50			22_40	03_50	01_40					
28		19_60	23_60	23_50	00_60		21_40:23_40				22_90	
29		00_60				20_40:22_40:23_40	20_40:06_90	02_40:20_40:22_40			04_90	20_40
30					02_60			09_40:01_60				00_90
31			22_50	23_40			00_90:04_90	01_60:02_90		06_60	04_40	03_90

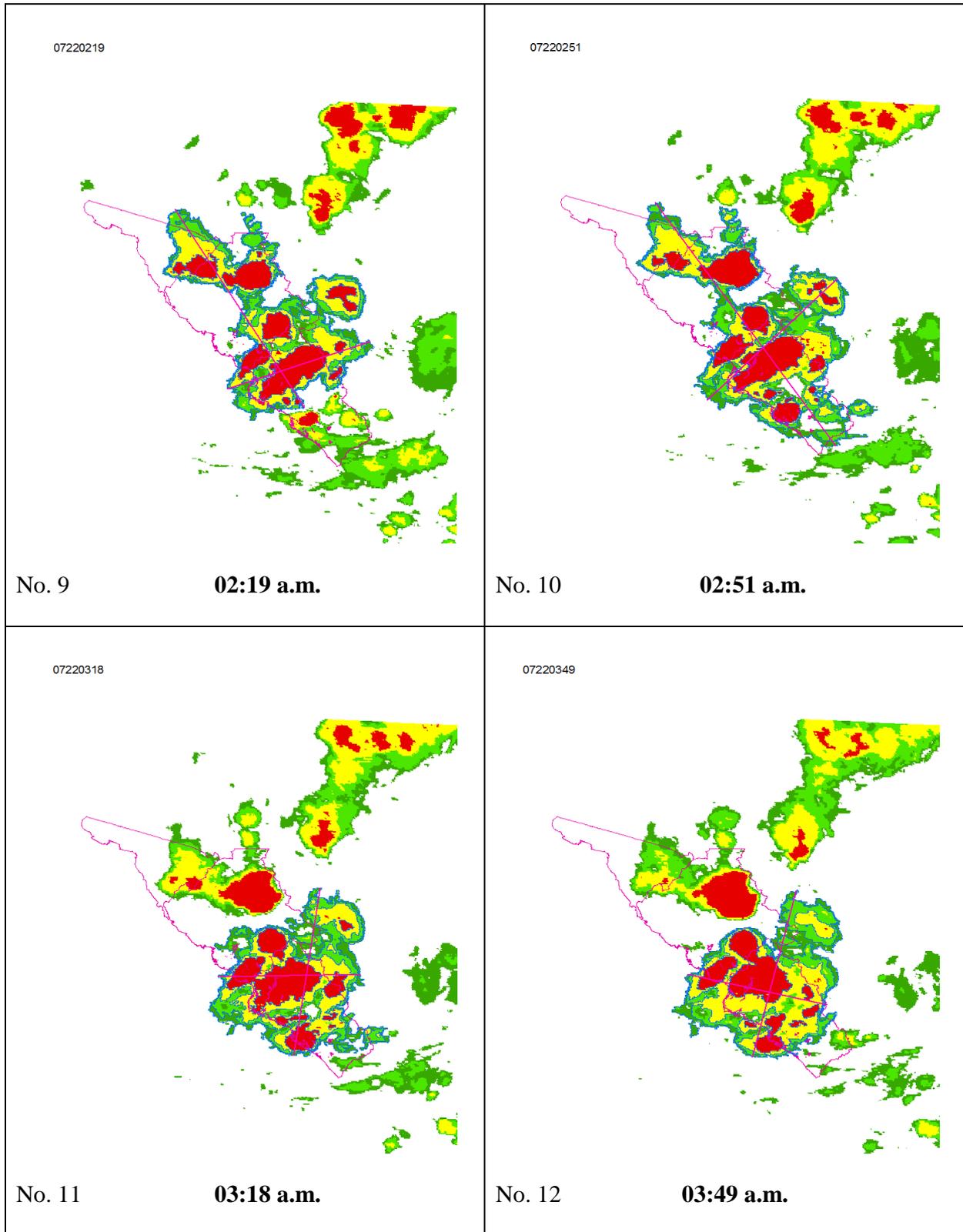
Urique
Chinatú
Maguarichi
Guachochi

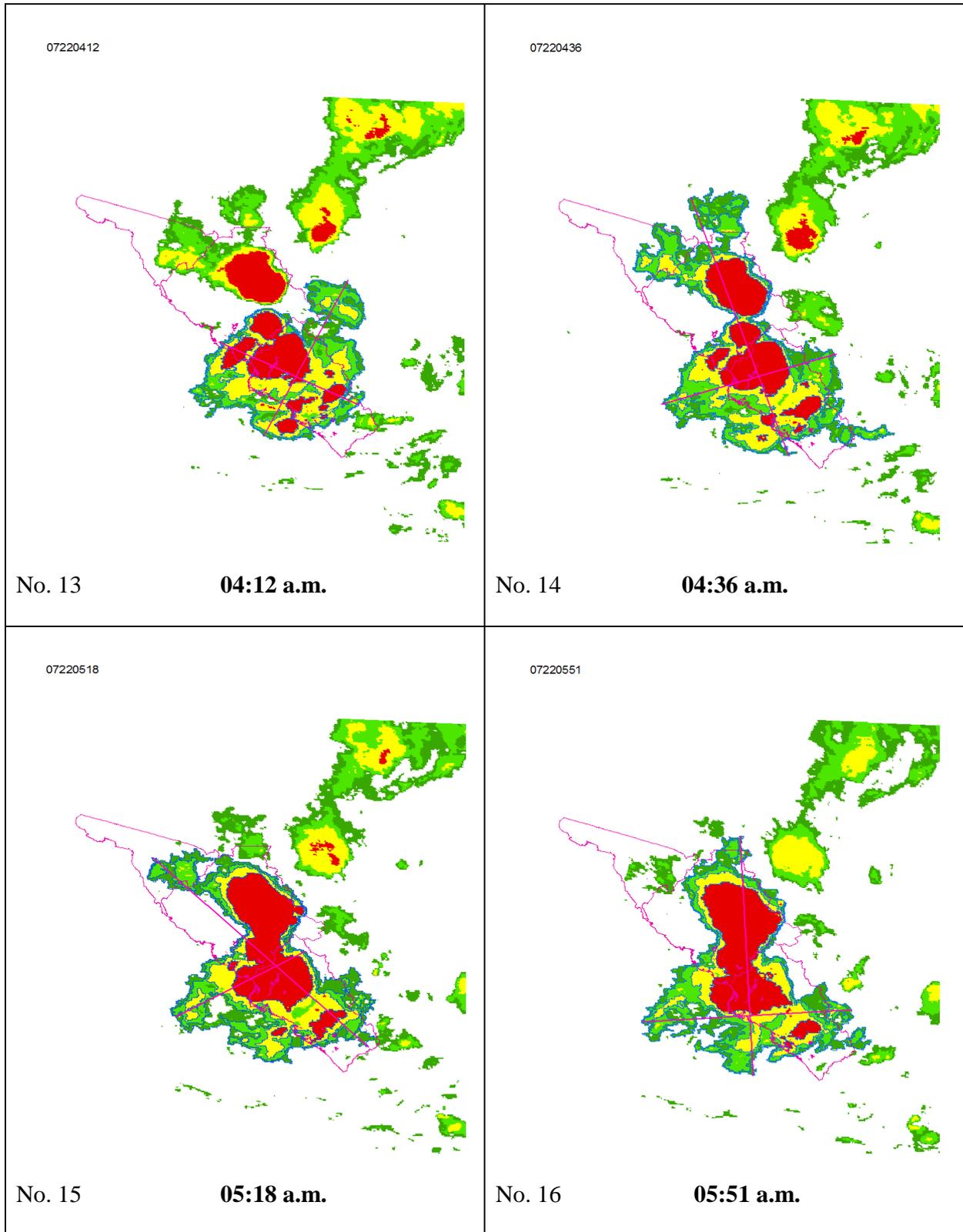
4.3.4 TORMENTA 22-07-04_05_50 (TORMENTA No. 1).

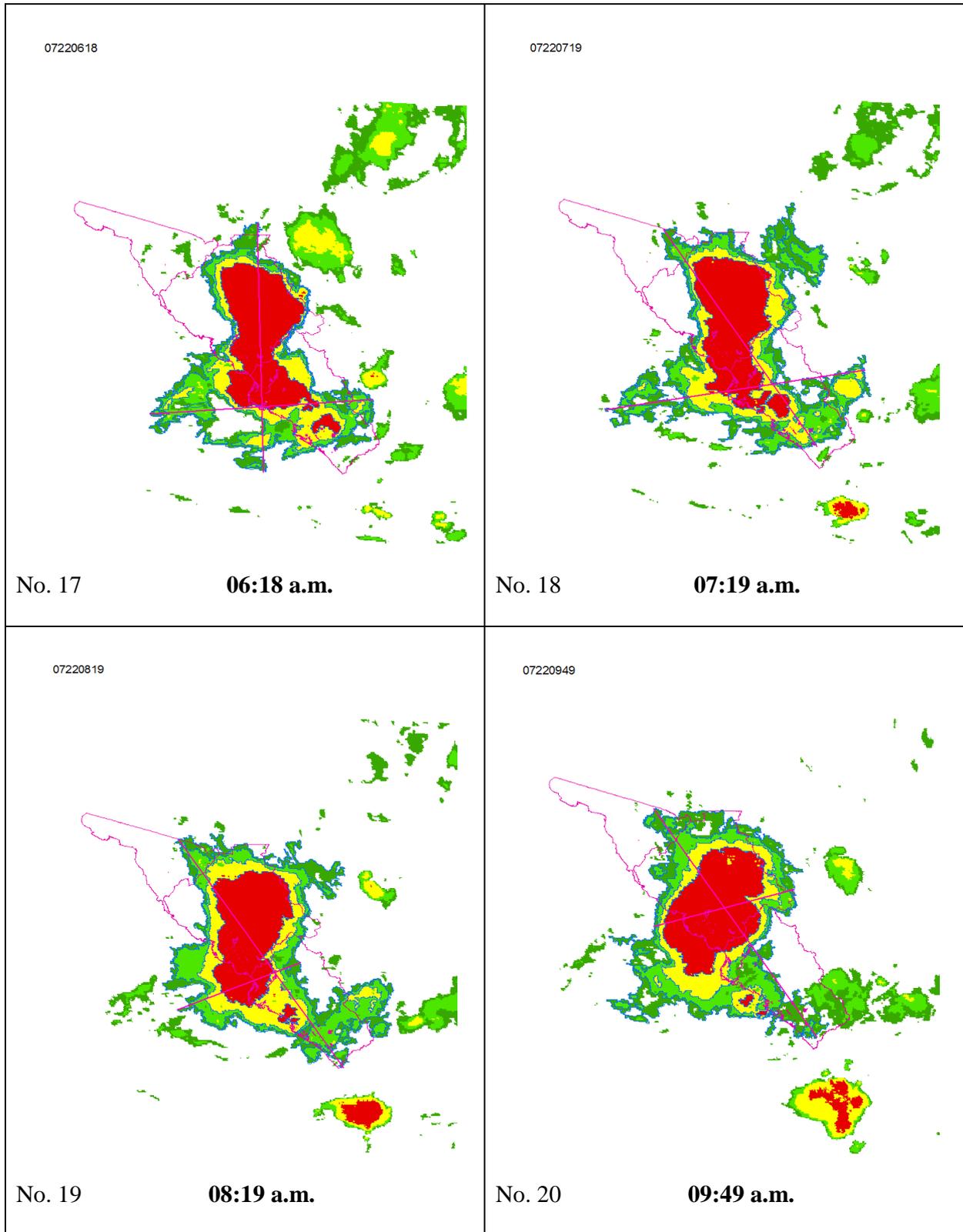
La duración típica de la tormenta es de 50 minutos, del día 22 de julio del 2004 ocurrido a las 05:18 a.m. Se muestran a continuación las imágenes de la tormenta analizada y en el anexo 5.0 las imágenes de las tormentas restantes.











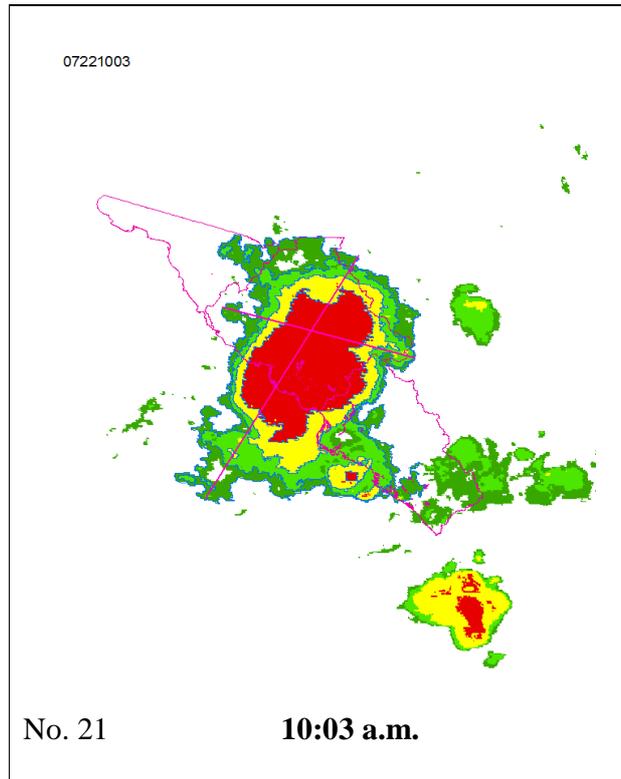


Figura 4.32 Imágenes analizadas de la tormenta del día 22 de julio del 2004 a las 05:18 a.m.

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 50 minutos, el cual comienza a desarrollarse desde la parte sur del país y se concentra rápidamente sobre la zona de estudio, manteniendo en todo momento su trayectoria y ampliando la cobertura de su masa nubosa por toda la zona de estudio, durante 10 horas aproximadamente. Conforme pasa el tiempo el sistema retoma energía de la atmósfera como se observa en las imágenes, sobre todo en las últimas donde la cobertura es mayor y de un solo sistema convectivo, esto a consecuencia del fenómeno de fusión de núcleos convectivos. Para obtener un mejor análisis en el proceso de disipación del sistema es necesario contar con un mayor número de imágenes de satélite, donde nos refleje tal proceso.

Para la imagen No. 15 se obtuvieron las características específicas de la tormenta a la hora de la precipitación que ocurrió a las 05:18 a.m., (tabla 4.2.13), donde se consideraron datos como áreas de cobertura por cada rango de temperatura y la longitud de diagonales, en su eje mayor y menor. Se continuó con el mismo procedimiento para cada una de las imágenes de la zona de estudio, y con el total de la información se obtuvo la curva de la figura 4.33.

Tabla 4.2.13 Características de cobertura al momento de la precipitación.

Nombre de tormenta	Área km²	Hora
Rojo	92191.55	05:18
Amarillo	153303.81	05:18
Verde brillante	207958.55	05:18
Verde oscuro	274375.96	05:18

Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
1008.325761	485.84	05:18

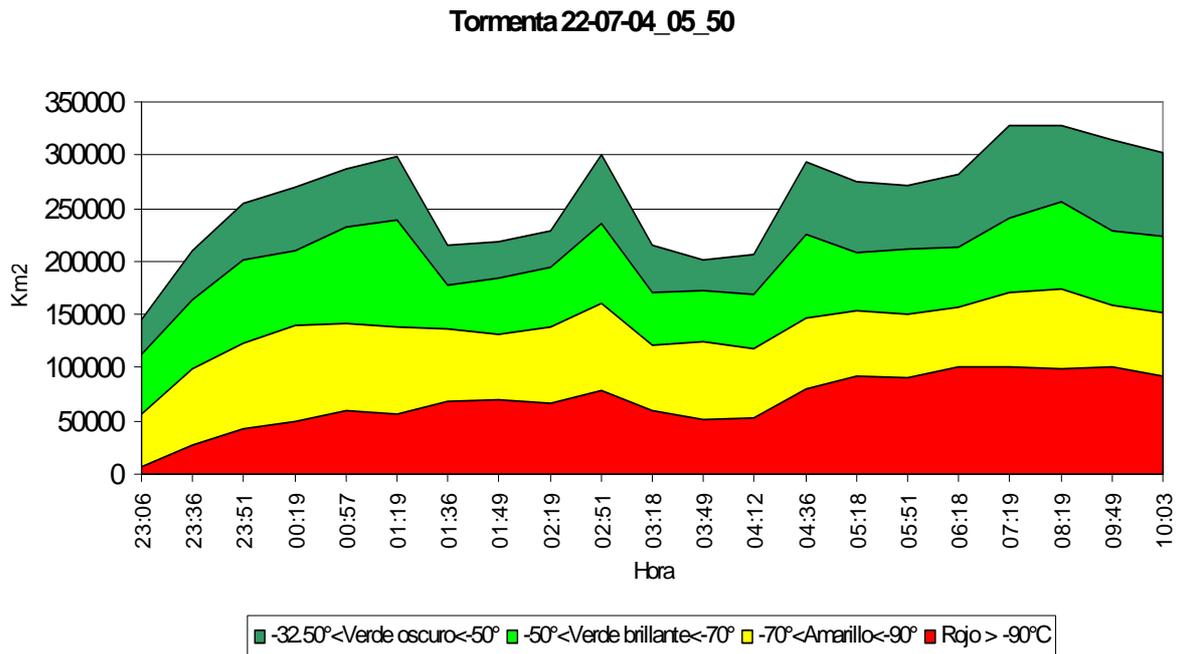


Figura 4.33 Cobertura nubosa de la tormenta del día 22 de julio del 2004 a las 05:18 a.m.

En la figura 4.33 se muestra el comportamiento de la masa nubosa, en donde al comienzo del análisis ya presenta una cobertura muy amplia cercana a los 150 000 km², consecuentemente presenta incrementos graduales en todos los rangos de temperatura hasta llegar a la hora 01:19 a.m. A partir de este instante existen variaciones generando máximos y mínimos producto de la fusión de núcleos convectivos, dicha variación se genera en un tiempo aproximado de 6 horas, mientras que en las últimas horas de estudio comienza la disipación de la tormenta que no es muy claro ya que se requiere de mayor número de imágenes para analizar su desarrollo completo. Posteriormente al momento de la precipitación a la hora 05:18 a.m., el punto más alto de cobertura se encuentra entre los 325 000 km².

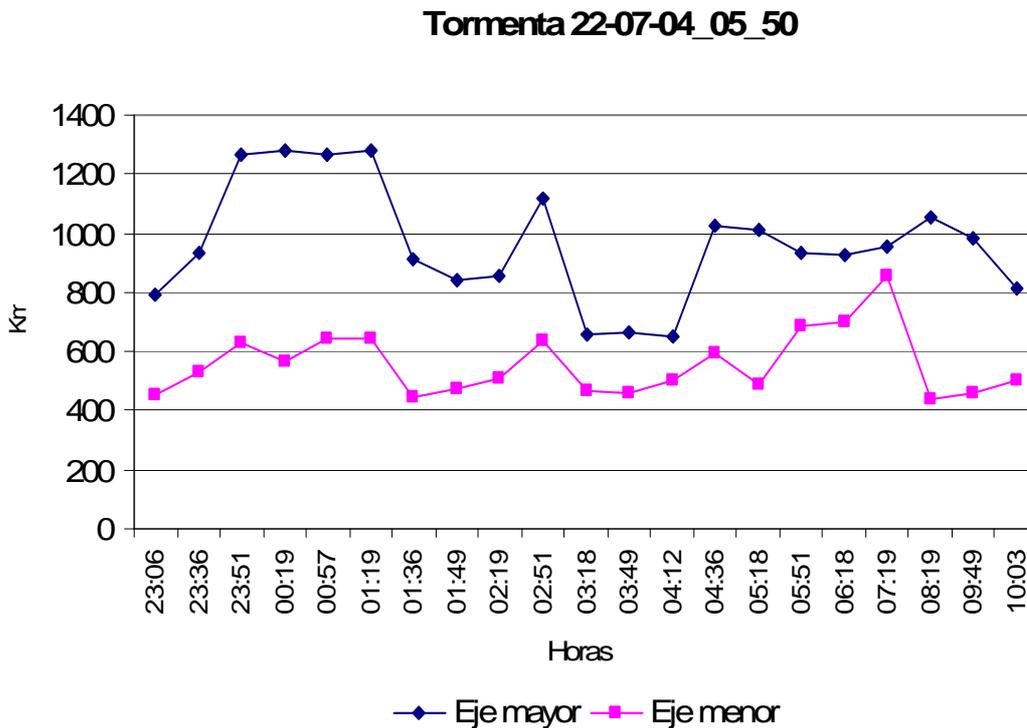


Figura 4.34 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 22 de julio del 2004 a las 05:18 a.m.

La gráfica 4.34 muestra el desarrollo de la masa nubosa de la tormenta en estudio, la cual presenta una característica muy peculiar en cuanto a la fusión de núcleos convectivos como se observó en las imágenes anteriormente mostradas, dicho fenómeno produce el comportamiento tan variado en la forma de la masa nubosa en sus dos ejes de referencia, cabe señalar que la diagonal mayor cumple con lo establecido en cuanto al análisis, mayor de 100 km de longitud. En instantes anteriores a la precipitación la longitud máxima de la diagonal mayor alcanzó niveles de aproximadamente 1300 km.

El comportamiento de la tormenta en esta región en sus dos parámetros medidos sigue siendo similar, como en la zona de Querétaro.

4.3.4.1 TORMENTA 22-07-05_18_50 (TORMENTA No. 2).

La duración típica de la tormenta es de 50 minutos, del día 22 de julio del 2005, ocurrido a las 18:15 a.m.

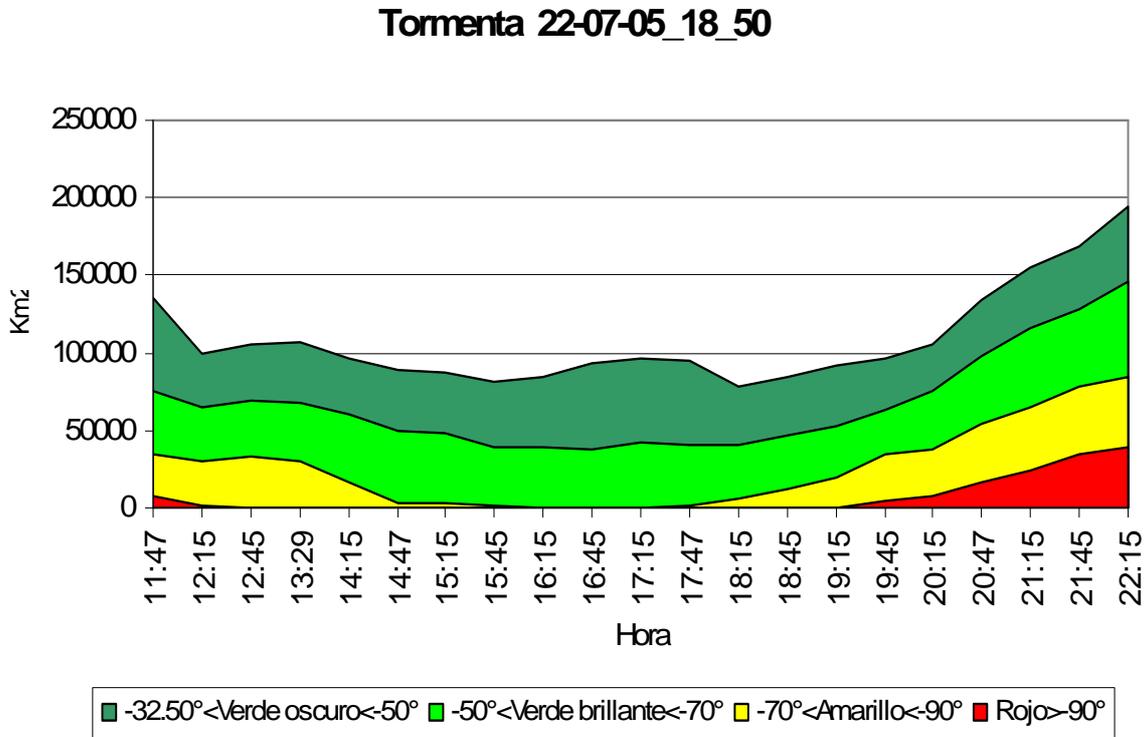


Figura 4.35 Cobertura nubosa de la tormenta del día 22 de julio del 2005 a las 18:15 a.m.

La gráfica 4.35 muestra la disipación de una tormenta hasta la hora 16:15, posteriormente el sistema adquiere energía del medio ambiente, provocando una mayor cobertura de nubosidad de mas o menos 100 000 km², por un tiempo aproximado de 2 horas provocando un proceso de transición de crecimiento de un nuevo sistema. En la hora 18:15 p.m. cuando culmina el crecimiento uniforme, ocurre el desarrollo súbito de la tormenta en los distintos rangos de temperatura, así mismo en éste instante de tiempo ocurre la precipitación, en la última hora de estudio la masa nubosa obtuvo una cobertura de 200 000 km². El tiempo considerado no fue el suficiente para observar completamente la disipación del sistema.

En base a lo observado en la gráfica podemos darnos cuenta que para un análisis mas detallado en esta zona del país es necesario un mayor número de horas antes y después de que ocurre la precipitación para llevar el correcto desarrollo de la tormenta.

Tormenta 22-07-05_18_50

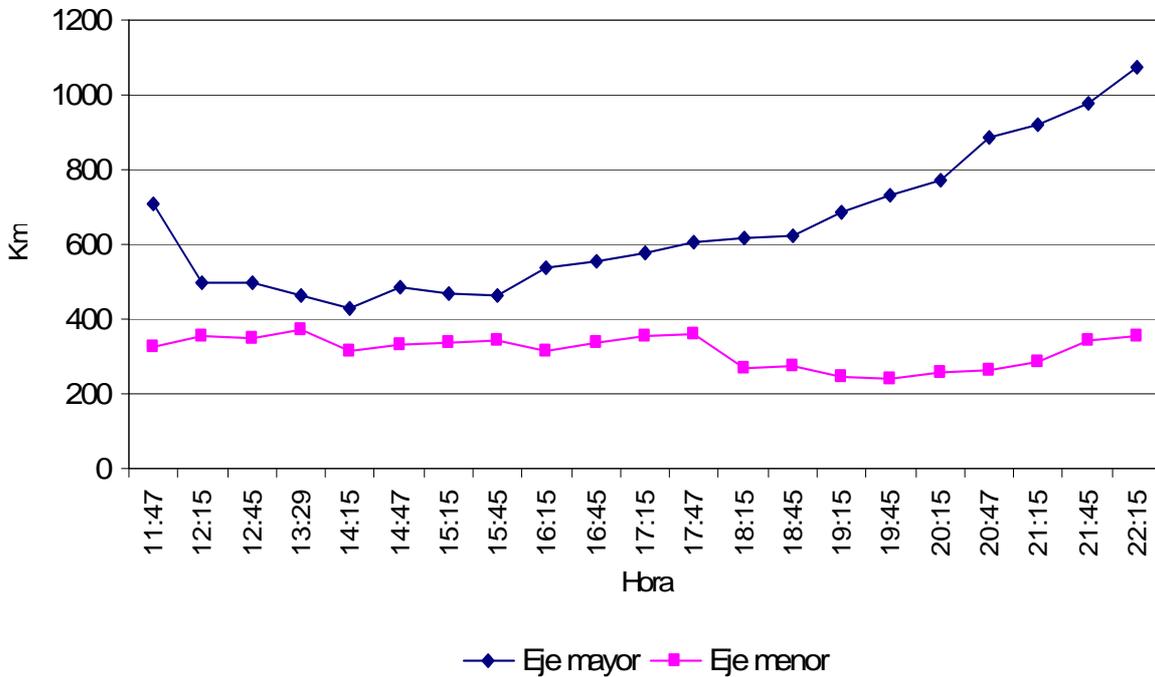


Figura 4.36 Gráfica de las diagonales de la tormenta del día 22 de julio del 2005 a las 18:15 a.m.

La figura 4.36 hace referencia a la evolución del sistema convectivo, desde su proceso de disipación que comenzó con una longitud de más de 700 km con respecto a la diagonal mayor, hasta llegar a los 400 km, posteriormente al retomar energía la tormenta, sucede un crecimiento gradual a partir de las 14:15 horas, al término de la hora de estudio la masa nubosa de la tormenta presenta una longitud máxima de 1100 km.

4.3.5 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE TORMENTAS DEL NOROESTE.

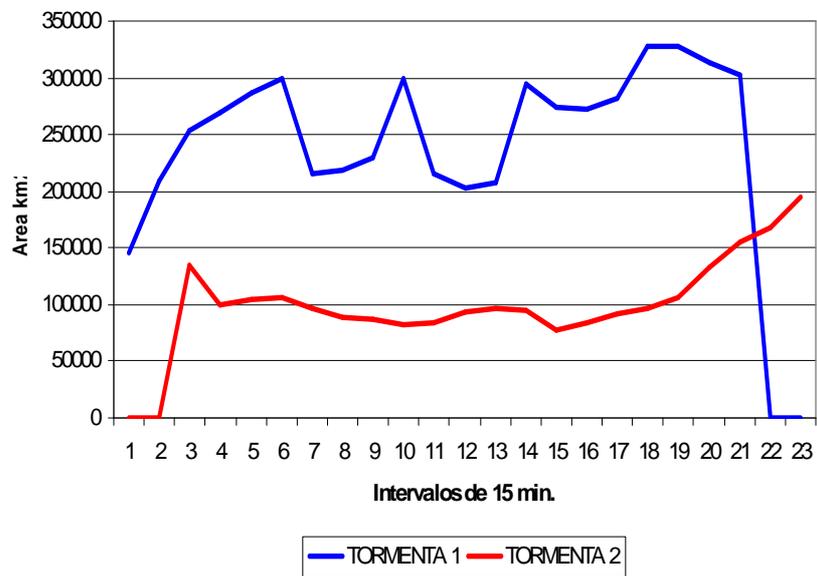
Como segundo paso al procesamiento de la información para la zona del noroeste, se desarrolló el estudio comparativo entre el total de tormentas, tomando en cuenta los dos enfoques anteriormente señalados, como lo es la cobertura de la masa nubosa sobre la zona de estudio en sus diferentes rangos de temperatura, (fig. 4.37), mientras que el otro nos habla del comportamiento de la diagonal mayor y menor que presentó la tormenta, (fig. 4.38).

Para desarrollar el comparativo entre tormentas se tomó como base la hora en que ocurrió la precipitación, el cual se encuentra marcado en color amarillo, en el intervalo de tiempo No. 15, como se observa en la tabla 4.2.14, el procesamiento se aplicó a los diferentes rangos de temperatura.

Tabla 4.2.14 Cobertura nubosa para el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.

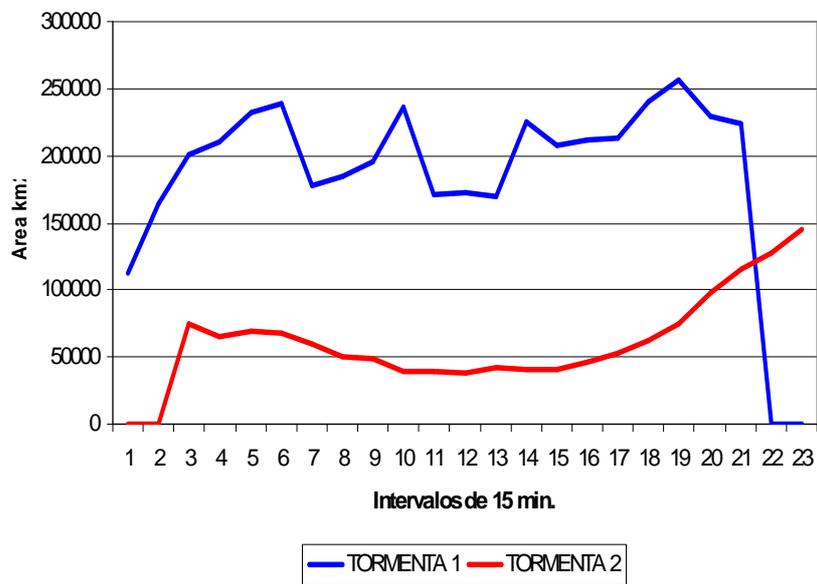
Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2
1	112670.78	0.00
2	164596.51	0.00
3	201229.25	74606.15
4	209922.81	65182.24
5	231483.97	69515.99
6	239006.61	68162.73
7	178084.68	59768.25
8	185127.15	50134.07
9	195238.47	48639.46
10	235837.94	39041.63
11	170821.23	38756.17
12	171812.51	37468.74
13	169834.74	41872.06
14	225932.05	40524.47
15	207958.55	40218.90
16	211476.00	46786.56
17	213185.26	52954.17
18	240297.54	62740.62
19	256823.93	74789.87
20	229267.89	97257.63
21	223764.71	116046.97
22	0.00	127710.03
23	0.00	145854.71

RANGO-32.15°C — -50°C

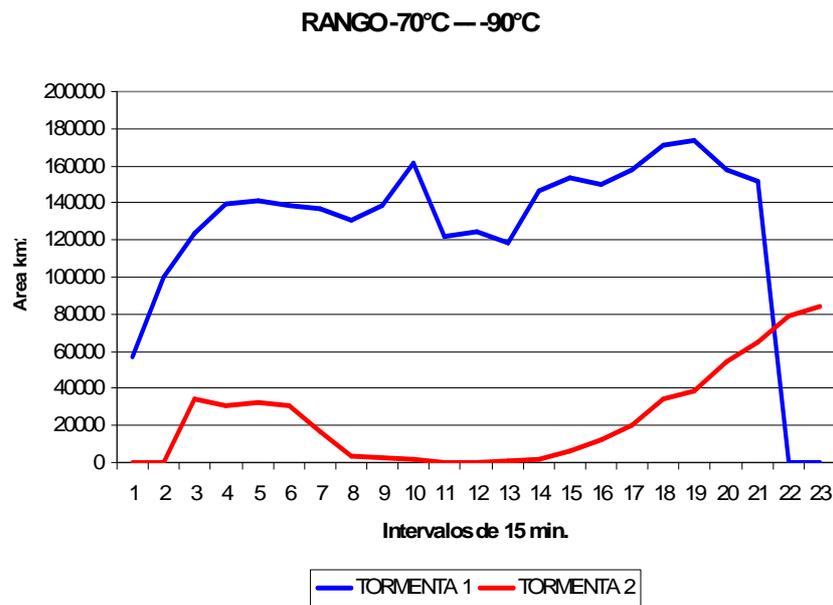


(a)

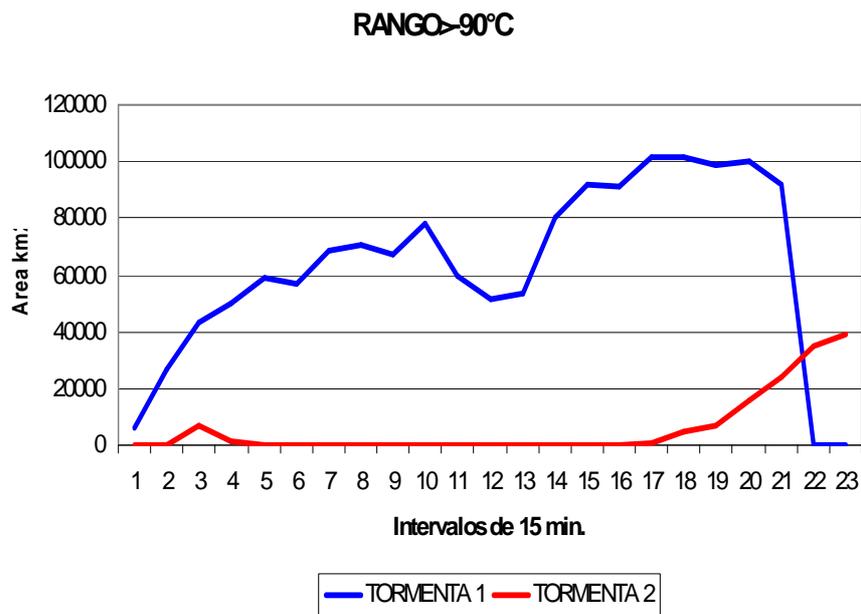
RANGO-50°C — -70°C



(b)



(c)



(d)

Figura 4.37 Cobertura nubosa de las tormentas de estudio del Noroeste en los diferentes rangos de temperaturas de brillo.

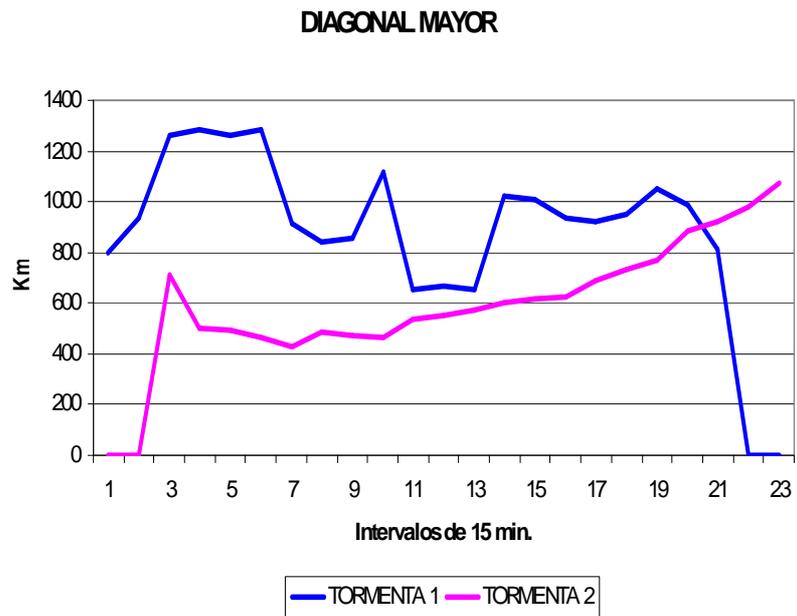
Las gráficas anteriores muestran que la tormenta numero 1 presenta un comportamiento muy variado provocando oscilaciones de máximos y mínimos en los cuatro rangos de temperatura, para el rango menos frío de - 32°C a - 50°C, el área de cobertura es muy amplia de aproximadamente 325 000 km², fenómeno atribuido a la fusión de núcleos convectivos. Para la tormenta 2 el comportamiento es un poco más normal presentando una disipación de la tormenta en los rangos de temperatura más calidos, mientras que en el rango más frío de mayor de 90°C es mínima la variación

puesto que existe un proceso constante de no evolución comenzando del cuarto intervalo de tiempo hasta el décimo sexto, posteriormente comienza el desarrollo de la tormenta en este rango hasta el intervalo de tiempo No. 23 que es donde termina el análisis de la tormenta.

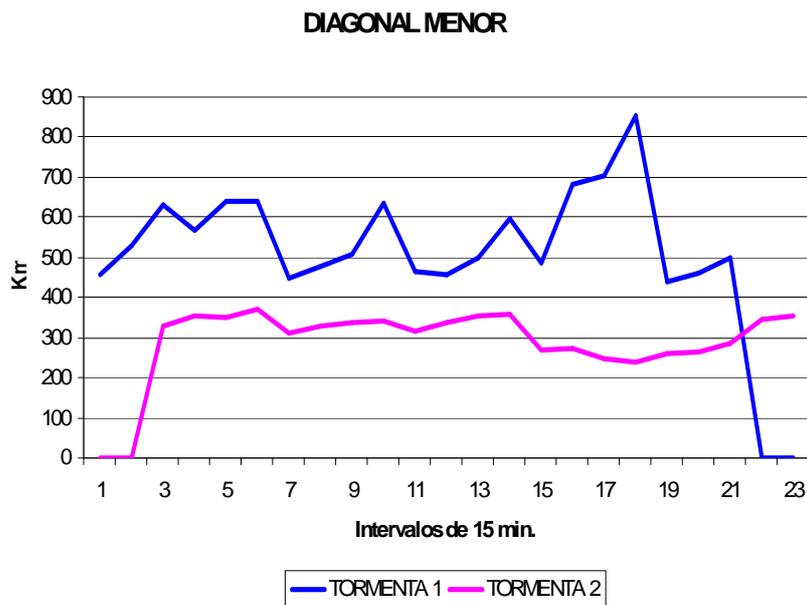
Dentro del comparativo de la longitud de las diagonales para las tormentas en estudio, se ha continuado con el mismo procesamiento, que consta de acoplar el total de tormentas en el instante en que ocurre la precipitación, en intervalos de tiempo de 15 minutos entre cada imagen de satélite analizada, como se observa en la tabla 4.2.15, marcando en color amarillo el intervalo de tiempo en que ocurre la precipitación para el total de tormentas analizadas.

Tabla 4.2.15 Longitud de la diagonal mayor para las tormentas de estudio del Noroeste.

Intervalo de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Longitud en el eje mayor en km	TORMENTA 2 Longitud en el eje mayor en km
1	794.88	0.00
2	932.72	0.00
3	1,265.15	708.64
4	1283.12	497.46
5	1262.66	494.81
6	1281.96	462.94
7	914.47	429.72
8	841.87	482.90
9	858.26	469.35
10	1114.16	463.38
11	654.92	535.21
12	667.89	553.10
13	652.35	576.21
14	1022.46	602.90
15	1008.32	619.41
16	932.37	624.83
17	922.88	686.60
18	952.18	729.67
19	1051.19	770.80
20	985.17	888.52
21	815.81	921.89
22	0.00	979.74
23	0.00	1071.96



(a)



(b)

Figura 4.38 Gráfica de la diagonal mayor y menor de las tormentas de estudio del Noroeste.

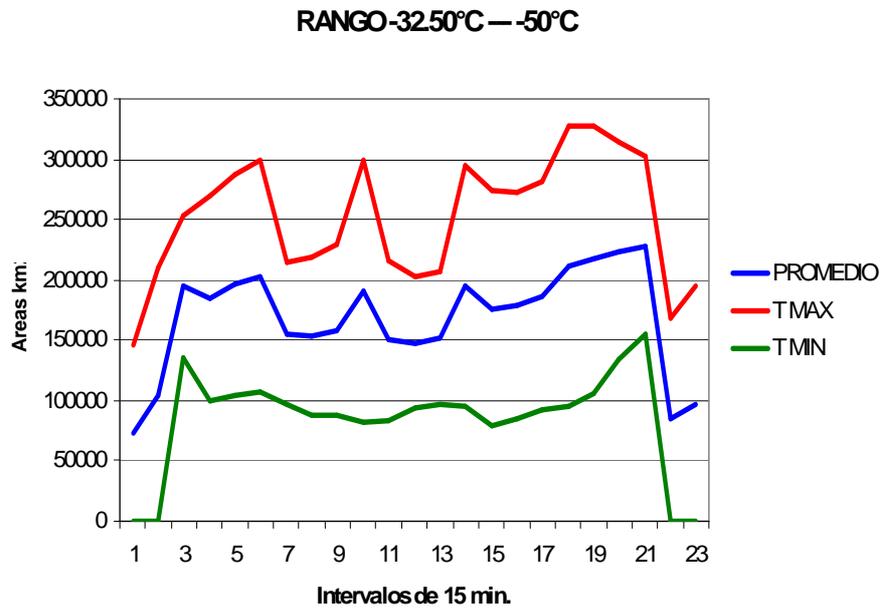
Las gráficas mostradas en la parte de arriba reflejan lo mencionado anteriormente, la variación en el crecimiento de la masa nubosa que presenta la tormenta No. 1 durante los diferentes instantes de tiempo tanto en la diagonal mayor como en la diagonal menor. Por otro lado la tormenta No. 2 presenta una evolución más normal comenzando con disipación de energía provocando la contracción de la masa nubosa en sus dos ejes de referencia en determinado intervalo de tiempo, posteriormente retoma energía del ambiente y comienza su crecimiento gradual hasta la parte final del análisis.

4.3.6 ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA CADA RANGO DE TEMPERATURA.

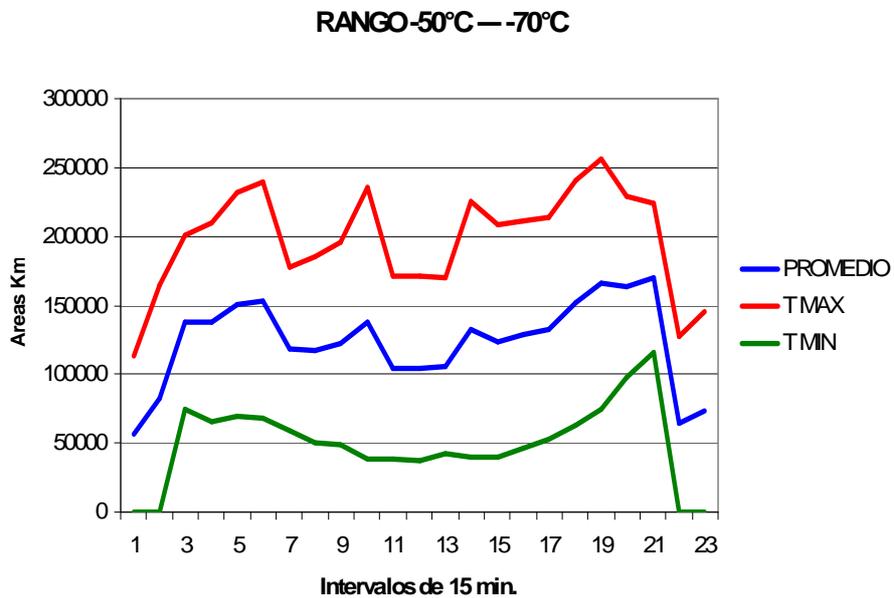
Para llevar a cabo el estudio estadístico se relacionaron las tormentas de estudio, tomando como referencia la hora en que ocurrió la precipitación, como ya se comentaba se acoplaron las tormentas en ese instante, ver tabla 4.2.16. Para ello se construyeron las bases de datos para cada rango de temperaturas donde se procesa la información de las áreas de cobertura de la masa nubosa y su instante de tiempo. Se determinó el promedio de cobertura de área de las cuatro tormentas, así como sus coberturas máximas y mínimas. En donde la fila marcada en color amarillo es la característica a la hora de la precipitación.

Tabla 4.2.16 Estadísticos de coberturas nubosas en el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, para las tormentas de estudio.

TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2	C. PROMEDIO Cobertura en km2	C. MAX Cobertura en km2	C. MIN Cobertura en km2
112670.78	0.00	56335.39	112670.78	0.00
164596.51	0.00	82298.25	164596.51	0.00
201229.25	74606.15	137917.70	201229.25	74606.15
209922.81	65182.24	137552.53	209922.81	65182.24
231483.97	69515.99	150499.98	231483.97	69515.99
239006.61	68162.73	153584.67	239006.61	68162.73
178084.68	59768.25	118926.46	178084.68	59768.25
185127.15	50134.07	117630.61	185127.15	50134.07
195238.47	48639.46	121938.97	195238.47	48639.46
235837.94	39041.63	137439.79	235837.94	39041.63
170821.23	38756.17	104788.70	170821.23	38756.17
171812.51	37468.74	104640.63	171812.51	37468.74
169834.74	41872.06	105853.40	169834.74	41872.06
225932.05	40524.47	133228.26	225932.05	40524.47
207958.55	40218.90	124088.73	207958.55	40218.90
211476.00	46786.56	129131.28	211476.00	46786.56
213185.26	52954.17	133069.72	213185.26	52954.17
240297.54	62740.62	151519.08	240297.54	62740.62
256823.93	74789.87	165806.90	256823.93	74789.87
229267.89	97257.63	163262.76	229267.89	97257.63
223764.71	116046.97	169905.84	223764.71	116046.97
0.00	127710.03	63855.01	127710.03	0.00
0.00	145854.71	72927.35	145854.71	0.00



(a)



(b)

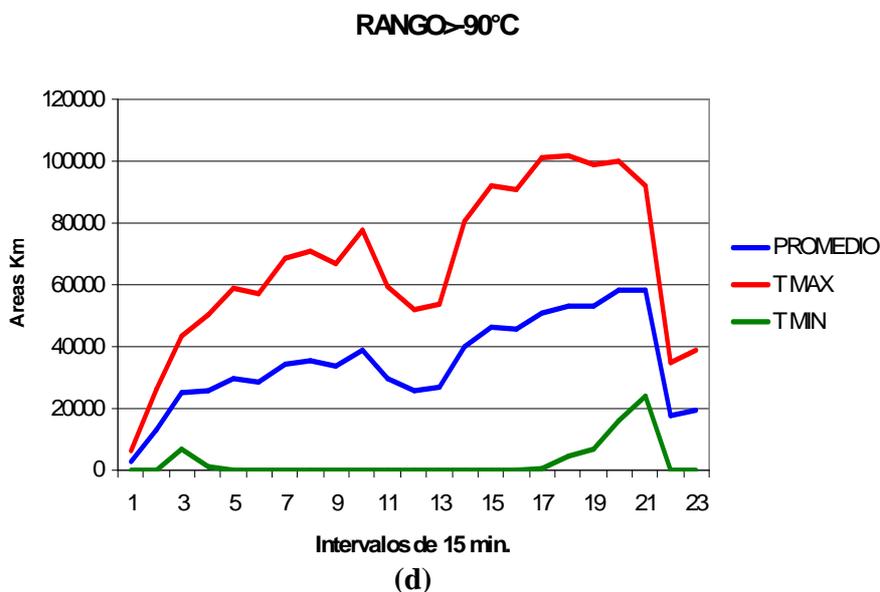
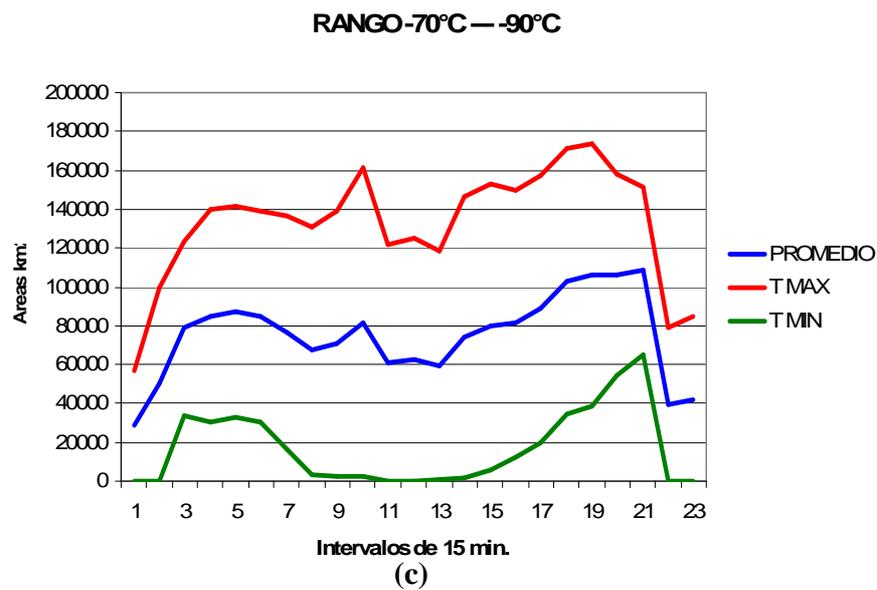
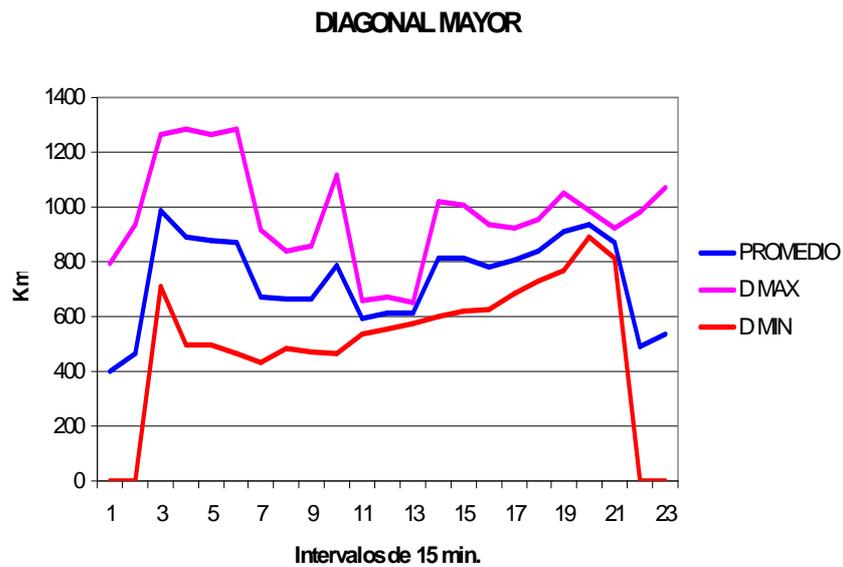
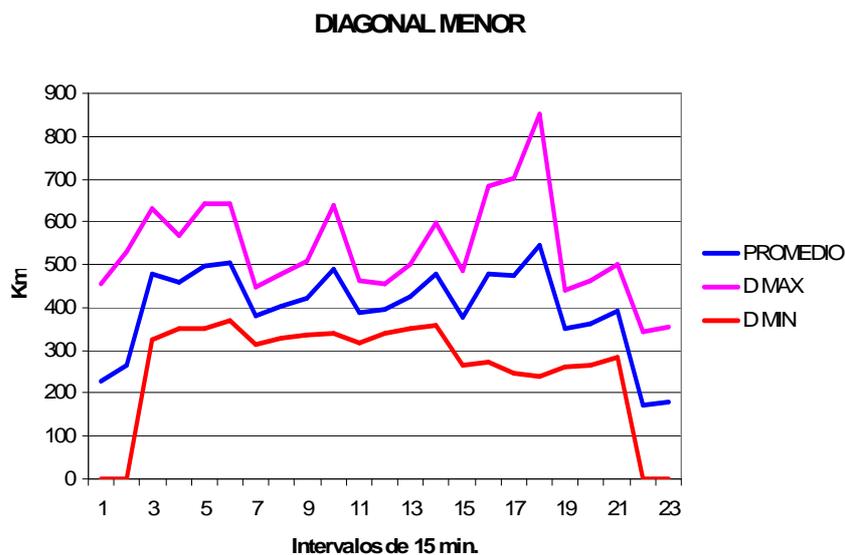


Figura 4.39 Curvas de estadísticos para las coberturas nubosas en cada rango de temperatura de las tormentas de estudio del Noroeste.

En la figura 4.39 se indica el comportamiento de la cobertura máxima, mínima y promedio que presentan las tormentas en estudio para sus cuatro rangos de temperatura. La cobertura máxima manifiesta variaciones en cada rango de temperatura alcanzando áreas de cobertura por encima de los 325 000 km² en las temperaturas más cálidas, mientras que las temperaturas más frías alcanzan valores de 160 000 km². Para las temperaturas mínimas el comportamiento es más uniforme para los tres primeros rangos de temperatura, por otro lado la temperatura mayor de 90°C manifiesta un proceso de transición donde no genera cambios en el área de cobertura hasta el intervalo décimo sexto donde comienza su crecimiento y su proceso de disipación. La variación que presenta la temperatura máxima es a causa de la fusión de los núcleos convectivos. El área de cobertura promedio nos representa el comportamiento que debería manifestar la tormenta, pero de igual manera las oscilaciones que tiene son muy consecutivas.



(a)



(b)

Figura 4.40 Gráfica de estadísticos de la diagonal mayor y menor de las tormentas de estudio del Noroeste.

La figura 4.40 inciso (a) y (b) nos indican el comportamiento que fue desarrollando tanto la diagonal mayor como la menor en instantes de tiempo de 15 minutos. En el análisis se determinó como evolucionó la diagonal máxima, de la diagonal mayor, obteniendo niveles que se encuentran por encima de los 1300 km de longitud, mientras que la diagonal mínima alcanzó los 900 km de longitud. Para la diagonal menor el crecimiento de la diagonal máxima alcanzó una longitud de 850 km y la diagonal mínima solo obtuvo una longitud de 380 km aproximadamente. El comportamiento tan variado que muestran las gráficas se debe a lo mencionado anteriormente, al fusionamiento de los núcleos convectivos es por ello que la masa nubosa adquiere contracciones o expansiones en determinados instantes de tiempo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para el desarrollo de un análisis de patrones de tormentas con las características que se mencionan a lo largo del estudio, el uso de imágenes de satélite es una herramienta fundamental que permite observar la cobertura espacial y temporal de la masa nubosa en sus diferentes rangos de temperatura a analizar, sobre las zonas de estudio, así mismo el trazo de las diagonales en sus 2 ejes mayor y menor fue indispensable para describir el desarrollo que mantenían las tormentas. Para ello tomando como base los análisis descritos podemos crear una parametrización inicial del comportamiento que mantuvieron las tormentas en estudio.

El proceso de acoplamiento que se realizó a cerca de la información de lluvia en superficie proporcionado por las EMAS con respecto a las imágenes de satélite, consistió en analizar como primer paso los datos estadísticos de las tormentas para los años correspondientes, consecutivamente conformar las duraciones de estudio que se presentaban a partir de 60 minutos, en base a ello se seleccionaron las imágenes de satélite de cada tormenta a analizar, considerando hasta éste punto la tormenta típica máxima o entre que rangos se encontraba, por ello que la medición que efectúa la estación meteorológica automática (EMA), es de gran importancia para enriquecer la caracterización de la tormenta en estudio.

En particular se tomó como base lo medido en superficie por la EMA, ubicadas respectivamente en cada zona de estudio, al conjuntar todos los datos recabados por las EMAS, como se observó en tablas anteriores, los hietogramas que presentaban las tormentas de estudio fueron la pauta para la selección de imágenes de satélite. Los datos estadísticos principales que se procesaron de las tormentas fueron las duraciones típicas de estudio, patrones de medida de la lluvia y el día y hora en que ocurre la precipitación.

Posteriormente al análisis realizado en las dos zonas de estudio, es notorio que en la parte noroeste la masa nubosa es mucho mayor en cobertura que en la zona centro, esto a consecuencia de la topografía existente y fenómenos metereológicos característicos como lo es el monzón mexicano que genera que se presenten las fusiones de los núcleos convectivos y un gran crecimiento de los sistemas nubosos como se observó en las imágenes analizadas. Cabe mencionar que las horas de estudio determinadas para las tormentas de la zona noroeste no fueron las suficientes para un análisis más detallado ya que lo que se pretendía era observar el crecimiento gradual y la evolución del sistema así como su disipación del mismo.

Con respecto al estado de Querétaro la situación fue distinta, se obtuvieron patrones claros en el comportamiento de las tormentas, debido a que ésta zona se encuentra protegida por cordilleras, las cuales mantienen las condiciones del clima estables sin provocar variaciones drásticas en la temporada de lluvias. Las horas determinadas para su estudio en esta región fueron las adecuadas para obtener el análisis completo de la evolución y disipación de la tormenta.

En resumen las tormentas de estudio en la zona centro presentaron un desarrollo gradual, continuando con súbito crecimiento y finalmente el debilitamiento de manera gradual pero con pendiente diferente. El tiempo aproximado en que se desarrollaron las

tormentas fue de cuatro horas hasta su punto más alto, cabe señalar que en éste instante se iniciaba la precipitación del sistema, consecuentemente se origina el proceso de disipación que se mantiene por un tiempo aproximado de entre tres y cuatro horas para las cuatro tormentas de estudio. Notamos que el fenómeno de fusión de núcleos convectivos para esta región fue hasta cierto punto bajo a consecuencia de las características climatológicas que preserva el sitio.

Se observó que se presentaron curvas equivalentes (áreas y diagonales) de patrones de tormentas de forma independiente del parámetro observado (los rangos de temperaturas). Lo que representó un resultado del análisis muy importante.

Por otro lado la parte Noroeste presenta su característica principal a cerca del fenómeno de fusión de más de dos núcleos convectivos y gran cobertura, debido principalmente a las condiciones climatológicas tan especiales que se desarrollan en la zona. El proceso de crecimiento que mantienen estas tormentas fue de más de cinco horas presentando ciertas variaciones en este lapso de tiempo analizado, por lo cual el proceso de disipación ya no presentó un análisis más amplio por la falta de horas de estudio. Además el número de tormentas analizadas para esta región no generan la representatividad que se requiere para un estudio de mayor alcance.

Para poder enriquecer la parametrización de las tormentas de estudio se puede acoplar la información de radares meteorológicos, así como de las imágenes en el espectro visible, imágenes de vapor de agua e imágenes de microondas. También se recomienda ampliar el universo de casos de estudio para el establecimiento de resultados definitivos. Además de que este estudio es un punto de partida para continuar con estudios de esta naturaleza para otros estados de la república mexicana.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.

Arellano L. F., (2008) Cap. 1 Origen de la precipitación, Hidrología de embalses. Instituto mexicano de tecnología del agua, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México, D.f.

Austin, P. M., y House, R, (1972) Analysis of structure of precipitation patterns in New England, j. of. Applied meteorology, vol. 11, pp. 926-935.

Battan, L., J., (1962), Cloud physics, a popular introduction to applied meteorology, Dover publication, inc., Mineola, New York, U.S.A.

Blanford, H. F., Proceedings of the royal society of London 37, 3 (1884).

Chen, W., y Li, C., (2002) Rain retrievals using trmm and geostationary meteorological satellite 5 and data obtained during the scsmex, int. j. remote sensing, vol. 23, 12, pp. 2425-2448.

Das, P. J., (1987) Short- and long-range monsoon prediction in India (*monsoons*, chapter 17, Fein & Stevens).

Erickson J., (1991) Las tormentas de las antiguas creencias a la moderna meteorología, Mc Graw-Hills /interamericana de España.

Escardó A. Linés., (1989) Insuficiencia de la meteorología sinóptica para las necesidades aeronáuticas. Comn. Congreso met. Buenos. Aires.

Escardó A. Linés., Ledesma M. y Baleriola E. (1968), Meteorología aplicada a la aviación, Madrid; organización meteorológica mundial, nota técnica No. 19, ginebra s. a.; e. r. reiter, jet-stream meteorology, Chicago 1963.

Escardó A. Linés. (1989) Insuficiencia de la meteorología sinóptica para las necesidades aeronáuticas.

Farfán, L., y Zehnder, J. (1994) Moving and stationary mesoscale convective systems over northwest Mexico during the southwest area monsoon project, weather and forecasting, vol. 9, pp. 630-639.

Fattorelli, S., Casale, R., Borga, M., y Ros, D., (1996) Integración de técnicas de radar y sensores remotos para la estimación de lluvias en aplicaciones hidrológicas y mitigación de riesgos de inundación, comisión europea, dirección general xii, ciencia, investigación y desarrollo, Bruselas, Bélgica.

Glossary of meteorology, (1957) (American meteorological society, Boston).

Hamilton, M.G., Monsoons - an introduction, (*Weather*, June 1987, 186-193).

Hirose, M., y Nakamura, K., (2003) Spatio temporal variation of the vertical gradient of rainfall rate observed by the trmm pr, journal of climate, vol. 17.

Houze, R. Smull, B., Dodge, P., (1990) Mesoscale organization springtime rainstorms in Oklahoma, mon. wea. rev. vol. 118, pp. 613-654.

Inzunza B. J., (2003) Meteorología descriptiva y aplicaciones en Chile Cap. 6, nubes y precipitación. Universidad de Concepción, departamento de geofísica.

Lorente J. M. (1961), Meteorología ii; viento; presión ii; frente polar. Meteorología, Barcelona; American meteorological soc., compendium of meteorology, New York.

Maddox, R. (1980) an Objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data, monthly weather review, American meteorological society, vol. 108.

Monsalve S. G., (1999) Hidrología en la ingeniería, Alfaomega grupo editor, México, D.f.

Monsoon, (1991) Precipitating a controversy, the economic times of New Delhi (April 20, 1991).

Mooley, D. A., B. Parthasarathy, G. B. Pant, (1986), Journal of climate and applied meteorology 25, 633.

Nesbitt, S., Zipser, E., Cecil, D., (2000) a Census of precipitation features in the tropics using trmm: radar, ice scattering, and lightning observations, journal of climate, pp. 4087-4106.

Valdés, M. y Cortez, M. (2004) Mesoscale convective systems occurred in Northwestern México during Name.

Webster, Peter J., (1987) the Elementary Monsoon (Monsoons, Chapter 1, Fein & Stevens, Wiley, New York).

Whitaker R., Burroughs W. J., Crowder B., Robertson T., Vallier-Talbot E., (1998) Observar el Tiempo, Editorial planeta: Marzo de 1999, Argentina.

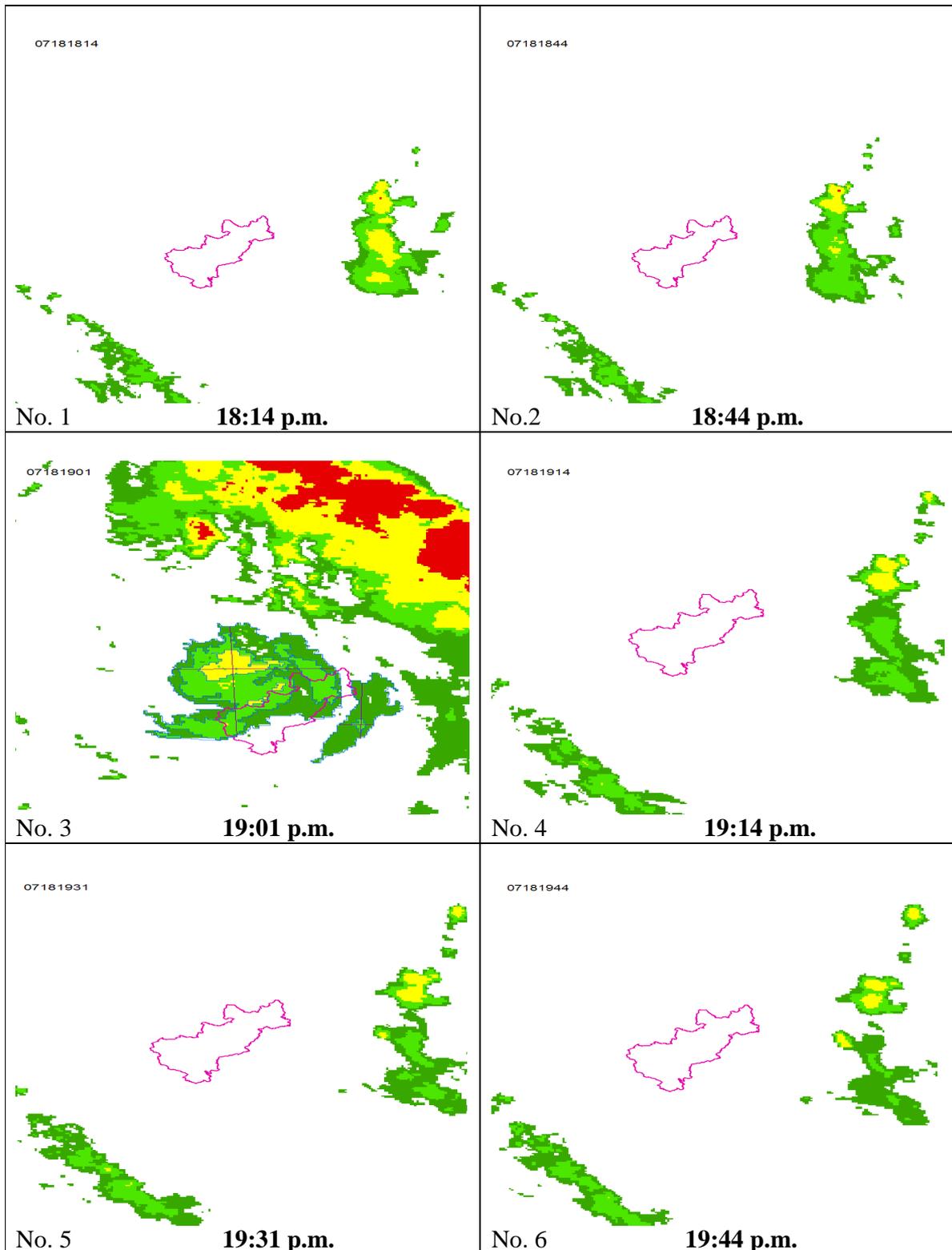
Wilcox, E., y Donner, L., (2007) The Frequency of extreme rain events in satellite rain-rate estimates and an atmospheric general circulation model, journal of climate, pp. 53-69.

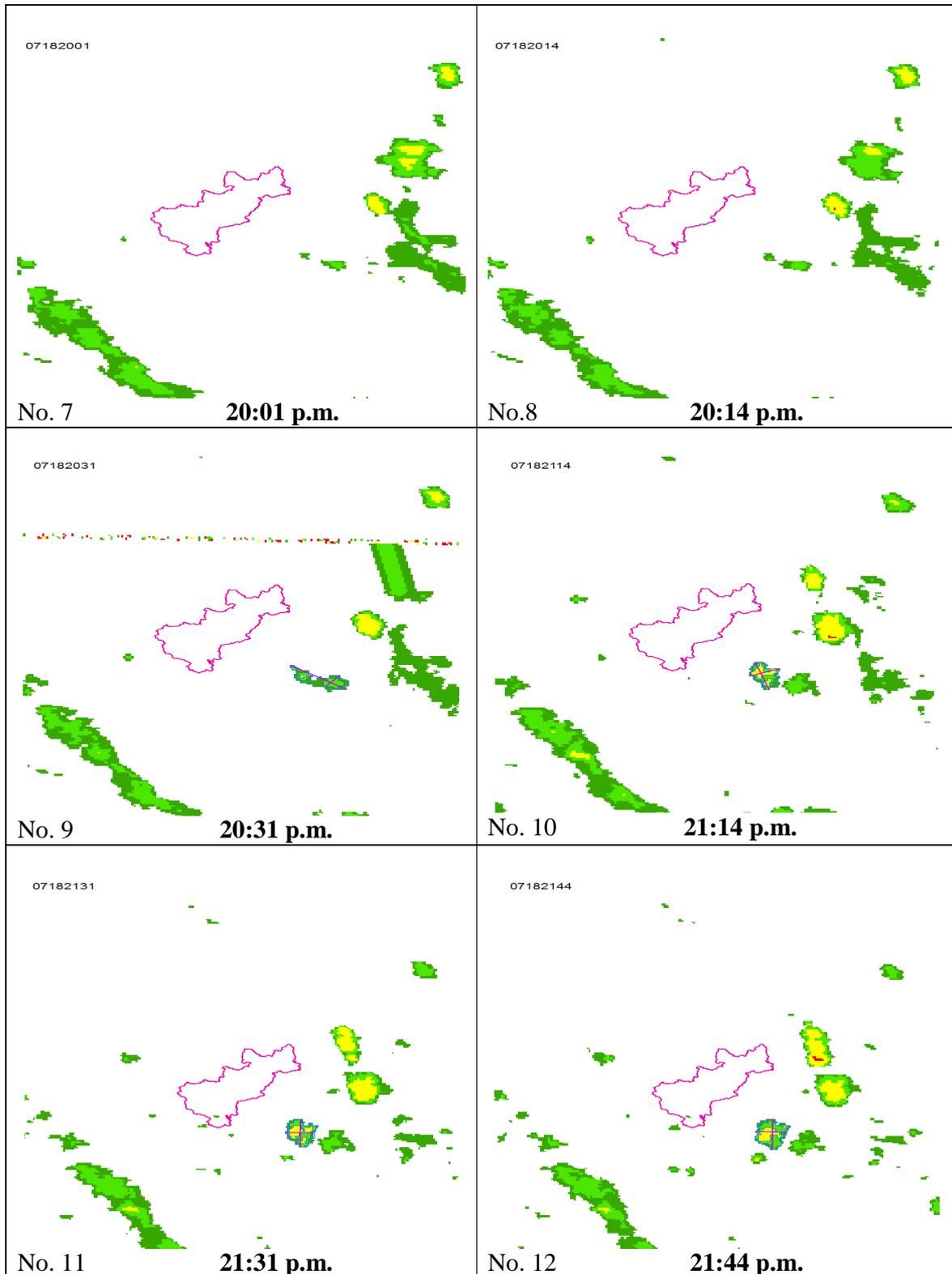
ANEXOS

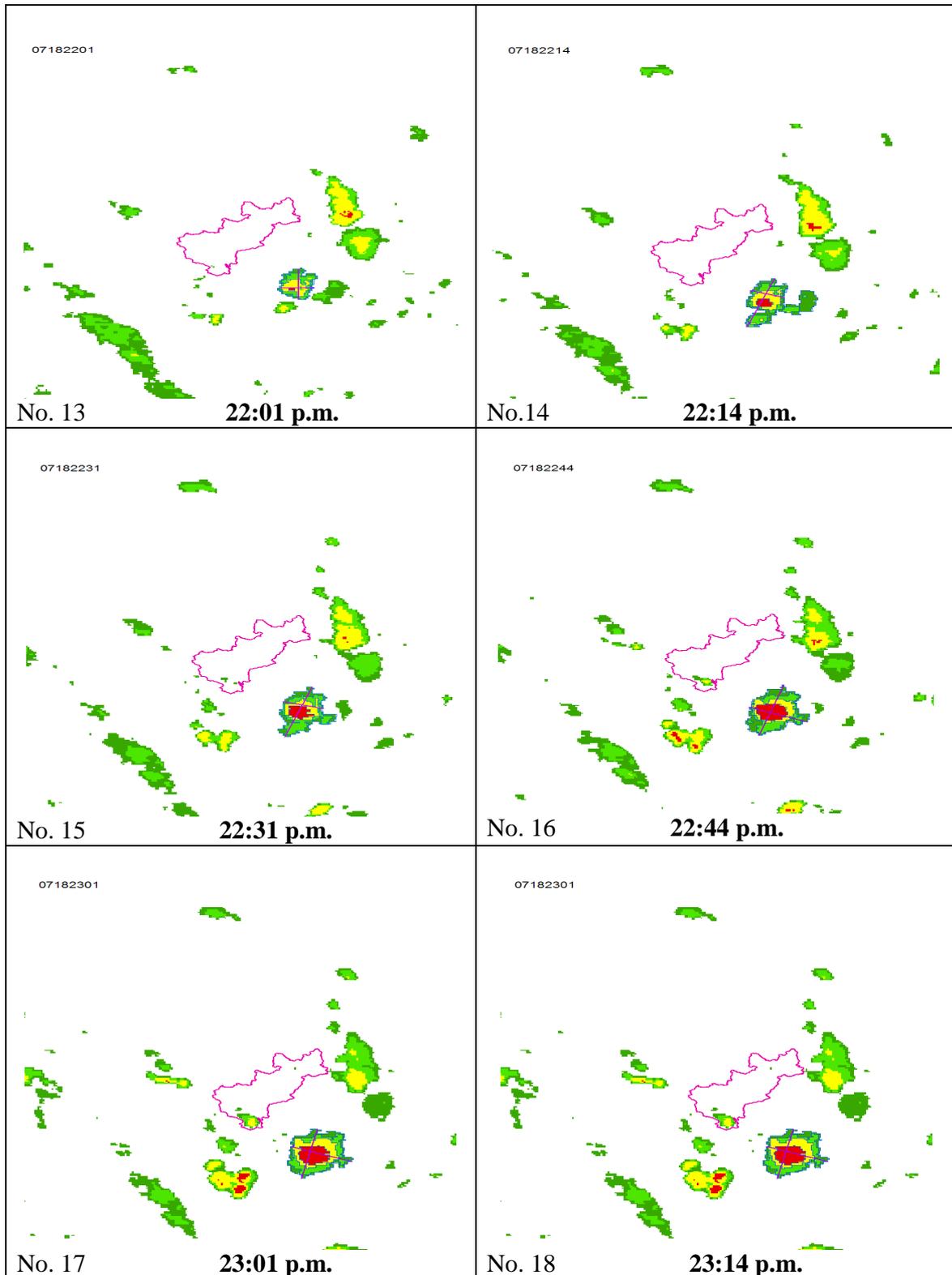
ANEXOS

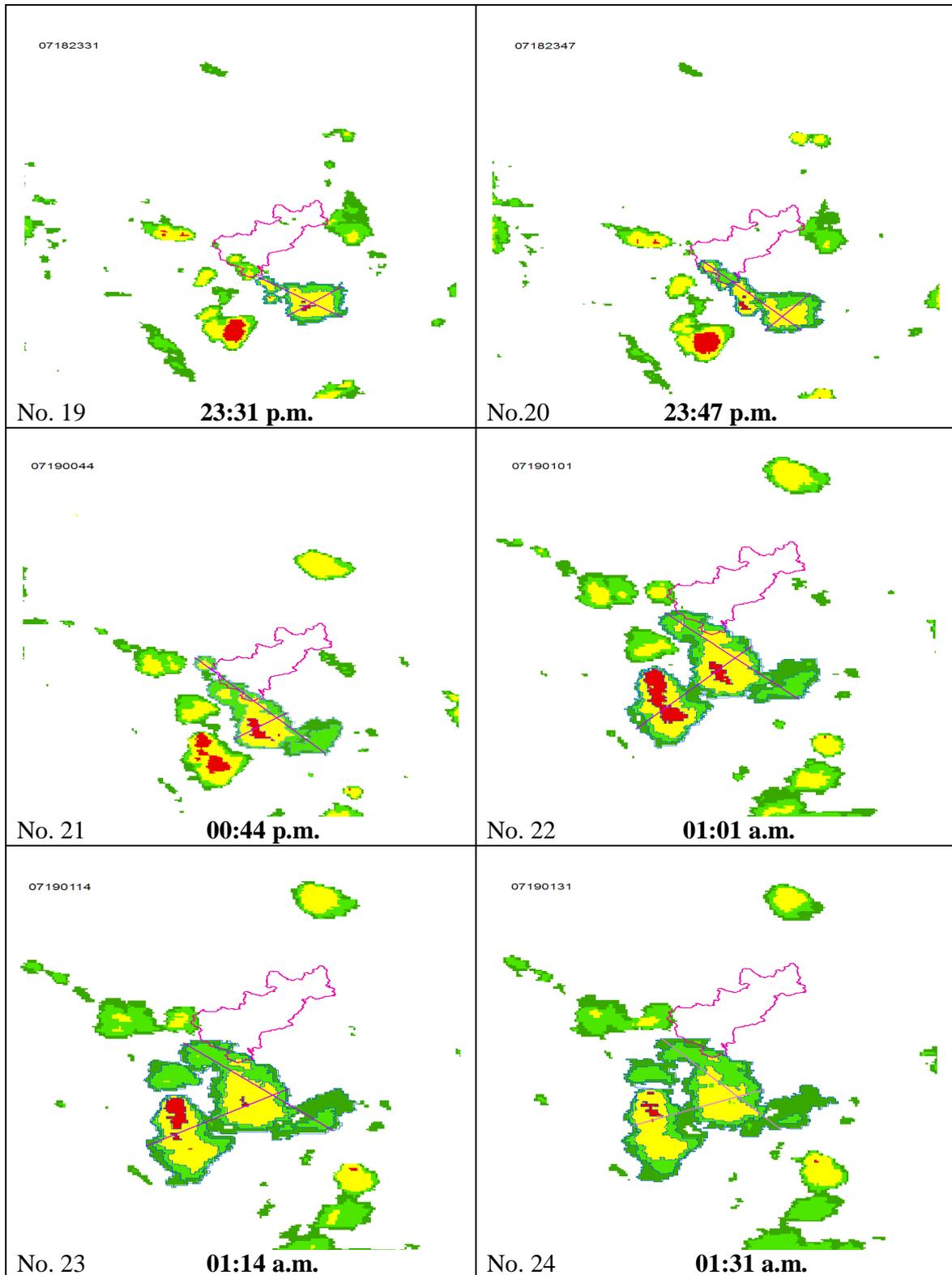
A.1 Tormentas típicas del estado de Querétaro

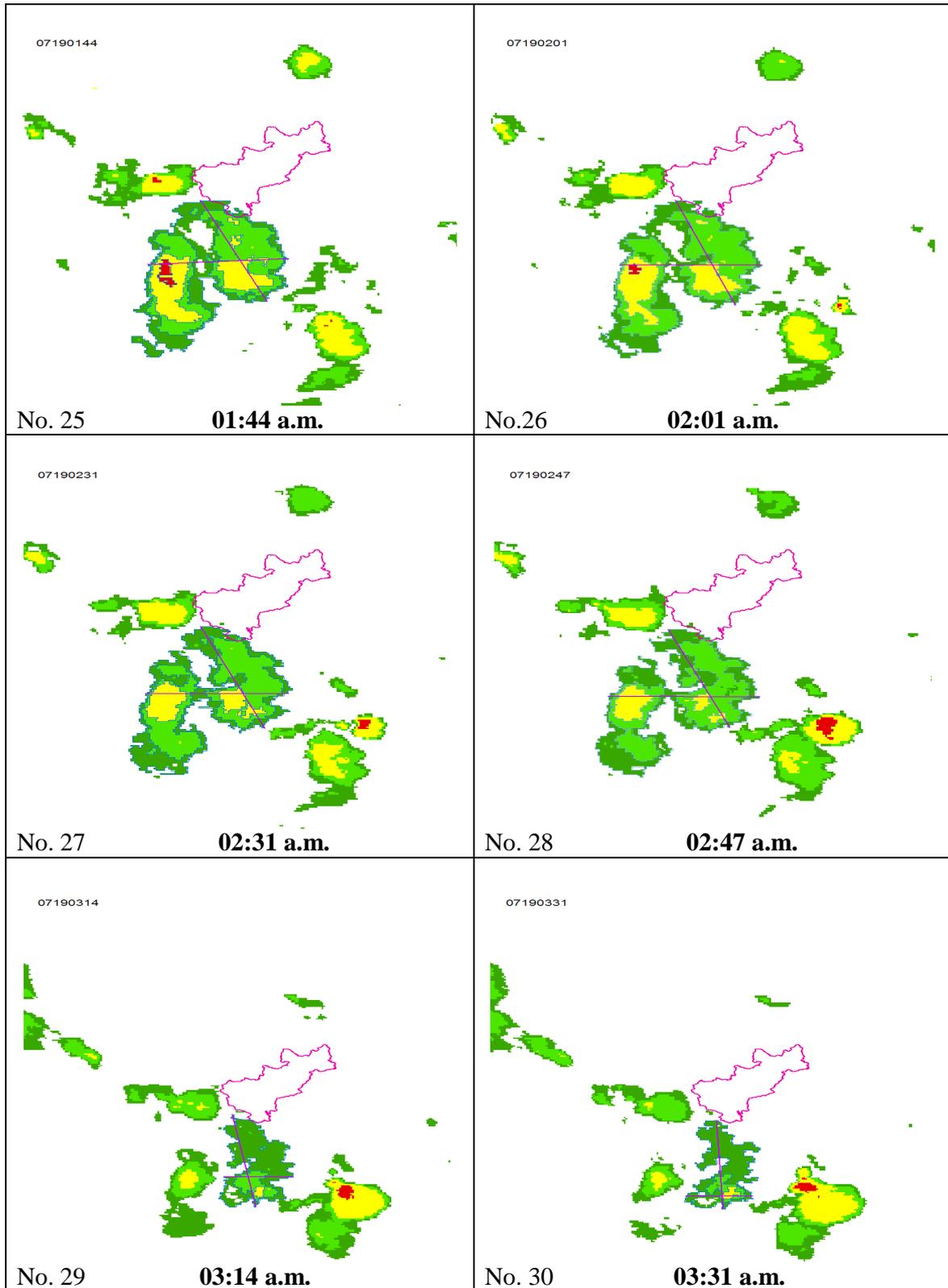
La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 18 de julio del 2005, ocurrido a las 23:01 p.m.











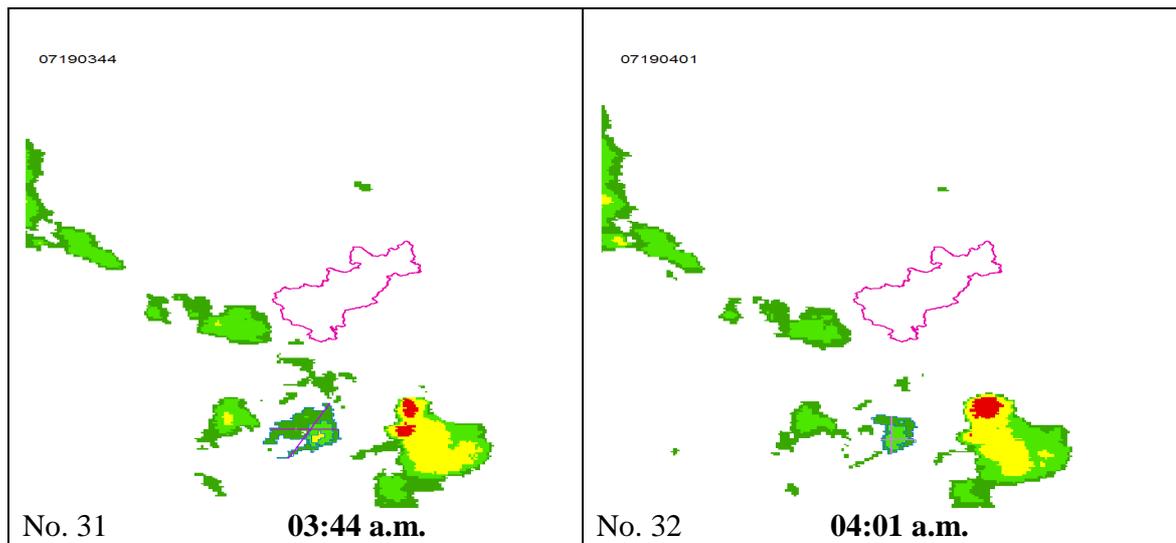


Figura 4.41 Imágenes analizadas de la tormenta del día 18 de julio del 2005, ocurrido a las 23:01 p.m.

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 60 minutos, donde tal sistema comienza a desarrollarse desde la parte sureste del país, ocurre como un pequeño sistema que va incrementando su cobertura de masa nubosa a consecuencia de la fusión de pequeños núcleos convectivos y de ésta manera se acerca a la zona de estudio, manteniendo en todo momento la misma trayectoria. El paso del sistema por la zona de estudio es muy corto, de aproximadamente 4 horas cubriendo solamente la parte sur del estado de Querétaro. Posteriormente al paso por el estado en un tiempo aproximado de una hora el sistema se aleja de la zona de estudio manteniendo su proceso de disipación, siguiendo una trayectoria de desvanecimiento al sur del país, como se observa en las últimas imágenes.

Características de la tormenta a la hora de la precipitación ocurrida a las 23:01 p.m. correspondientes a la imagen No. 17, (tabla A.1.1), donde se muestran las áreas de cobertura de la masa nubosa, en los diferentes rangos de temperaturas y la longitud desarrollada en sus dos ejes, tanto diagonal menor como mayor.

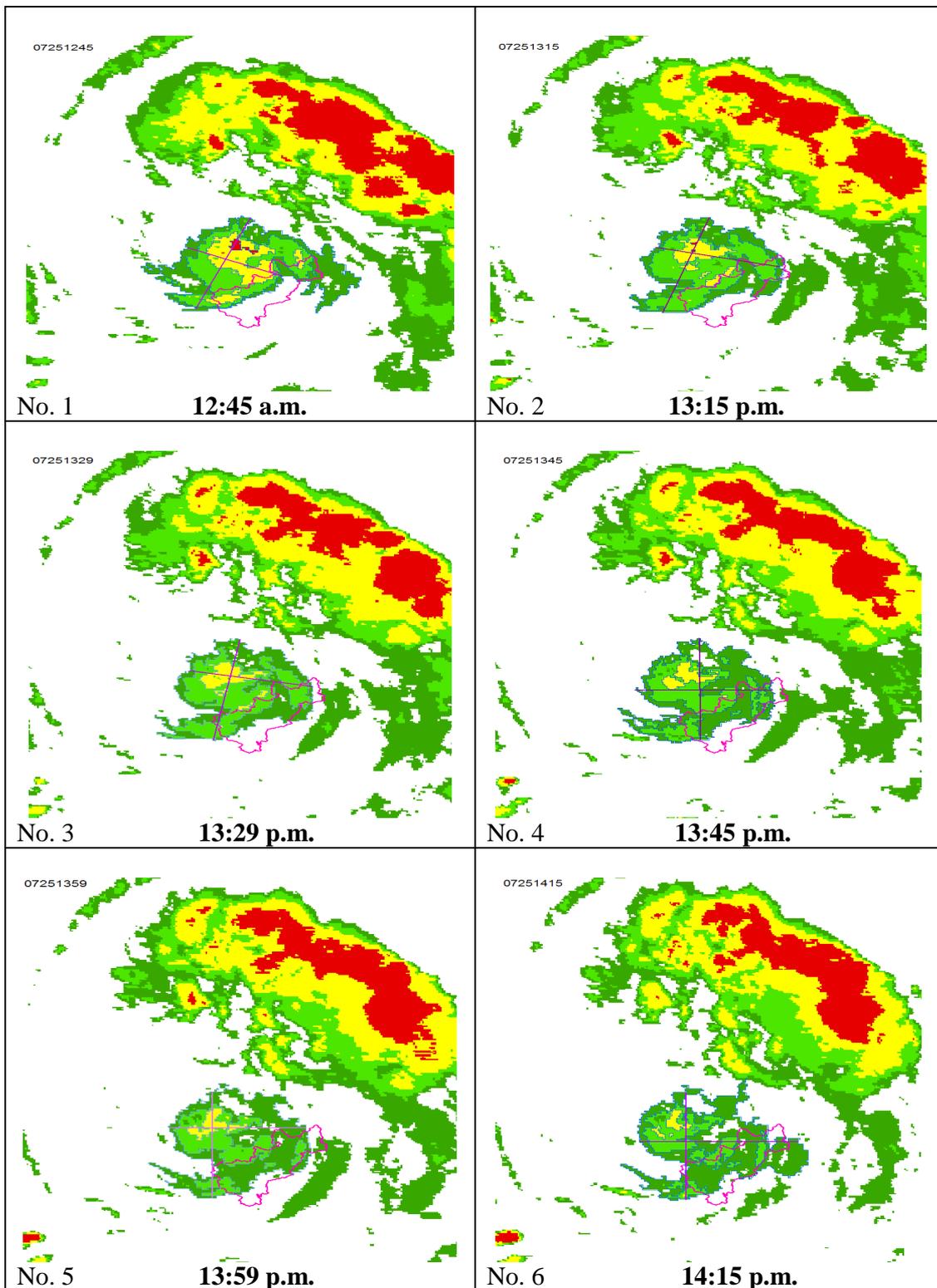
Tabla A.1.1 Características de cobertura al momento de la precipitación.

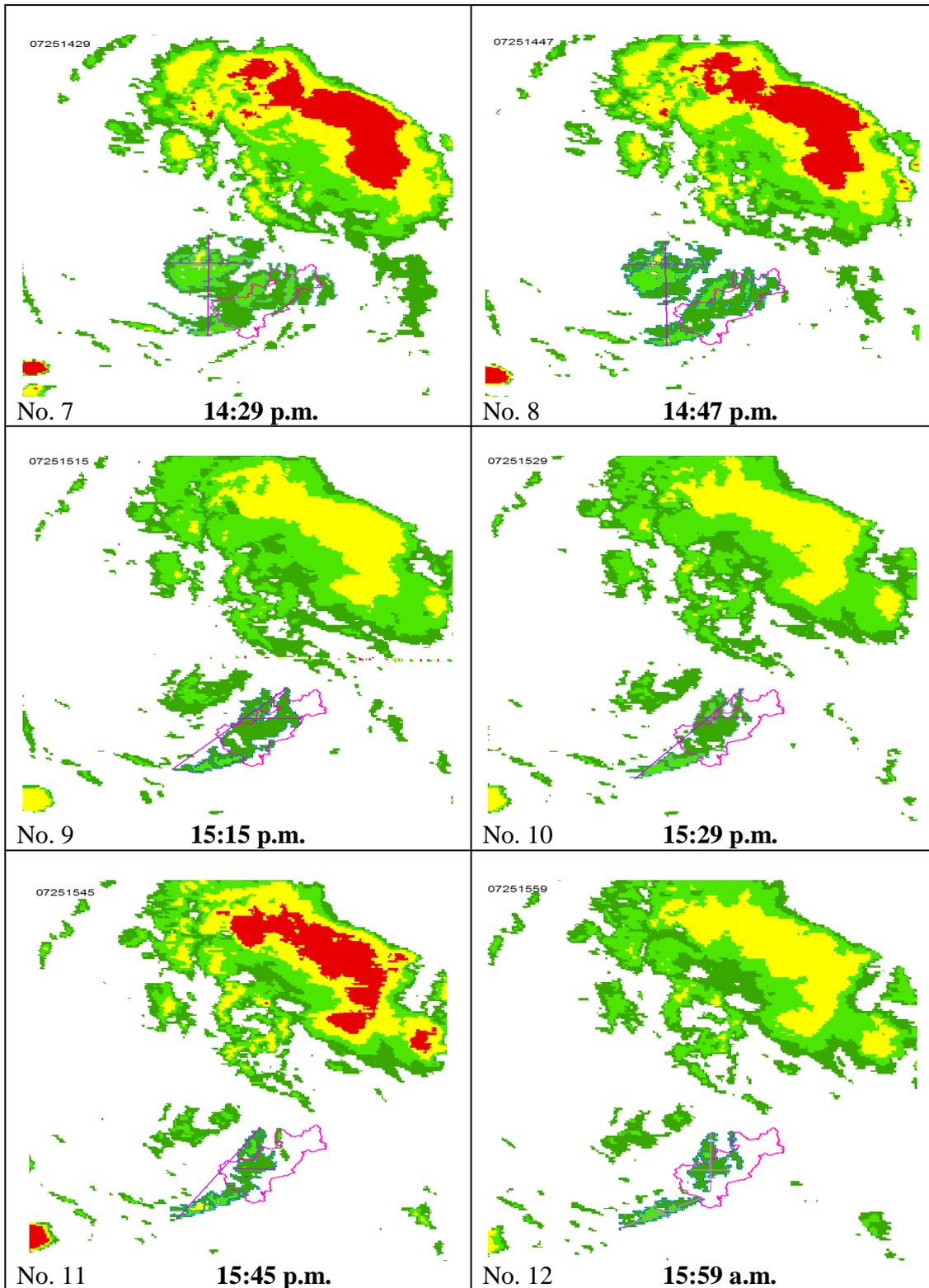
Nombre de tormenta	Área km ²	Hora
Rojo	1447.32	23:01
Amarillo	3258.67	23:01
Verde brillante	5044.19	23:01
Verde oscuro	6558.37	23:01

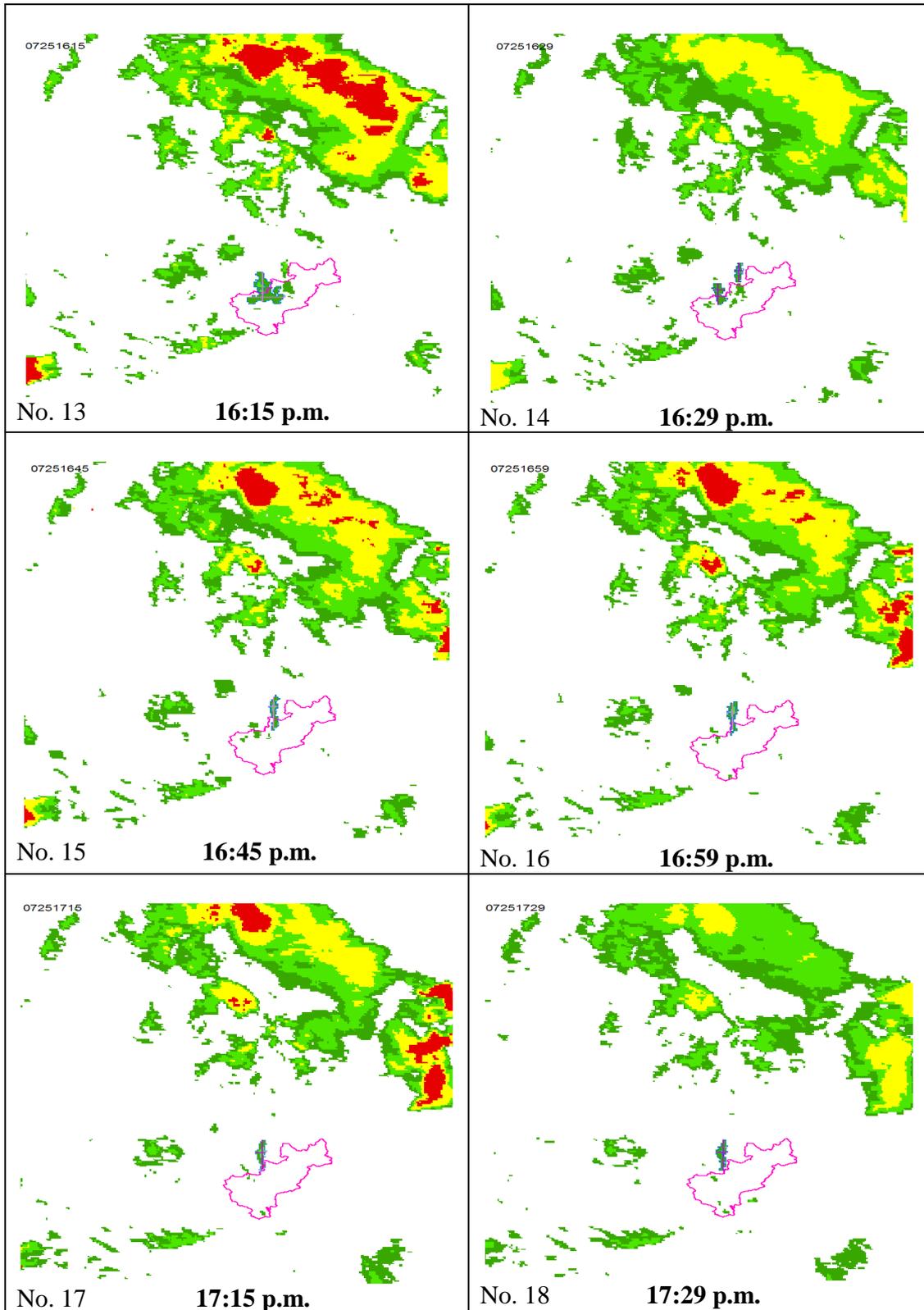
Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

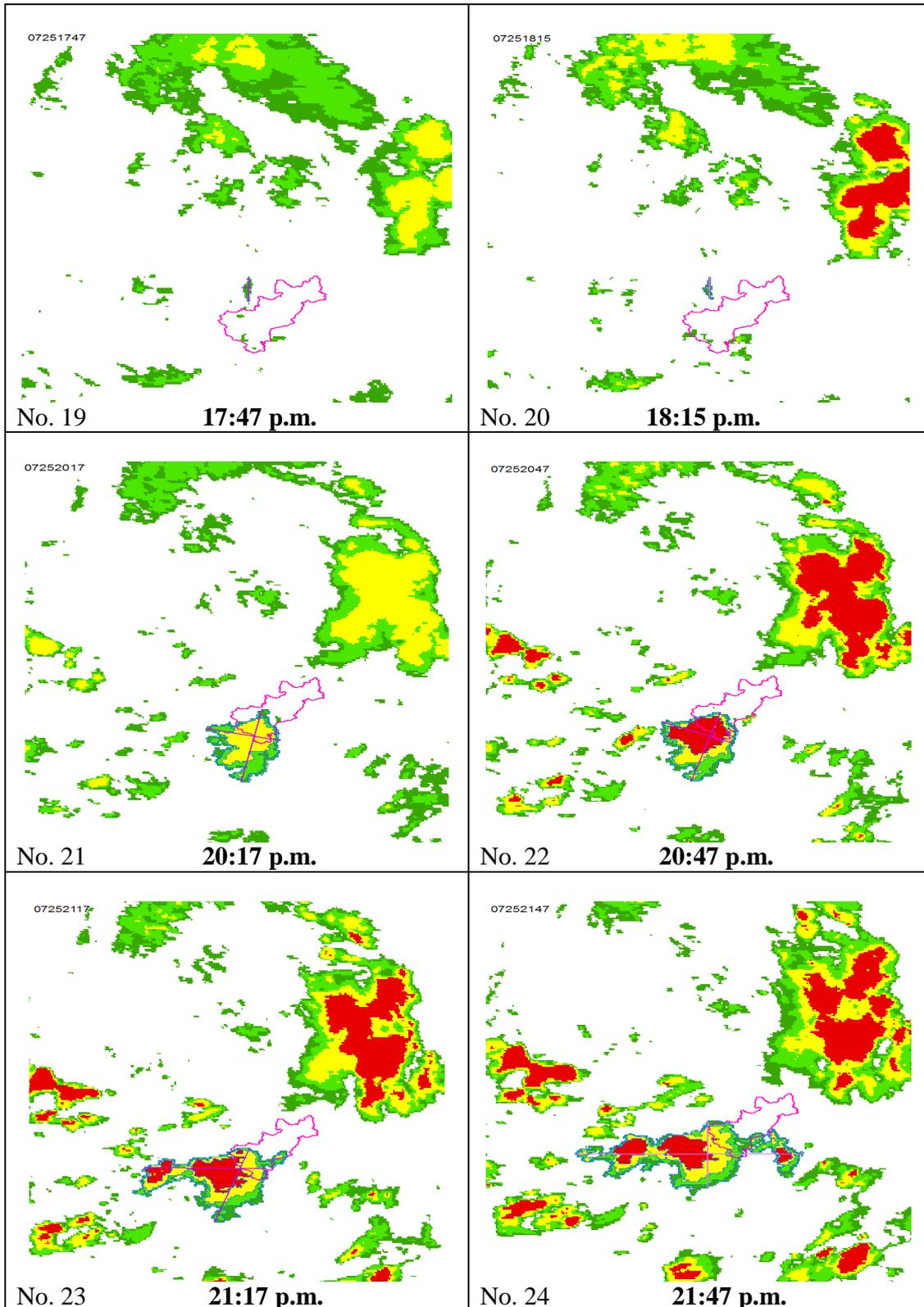
Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
112.685989	92.78	23:01

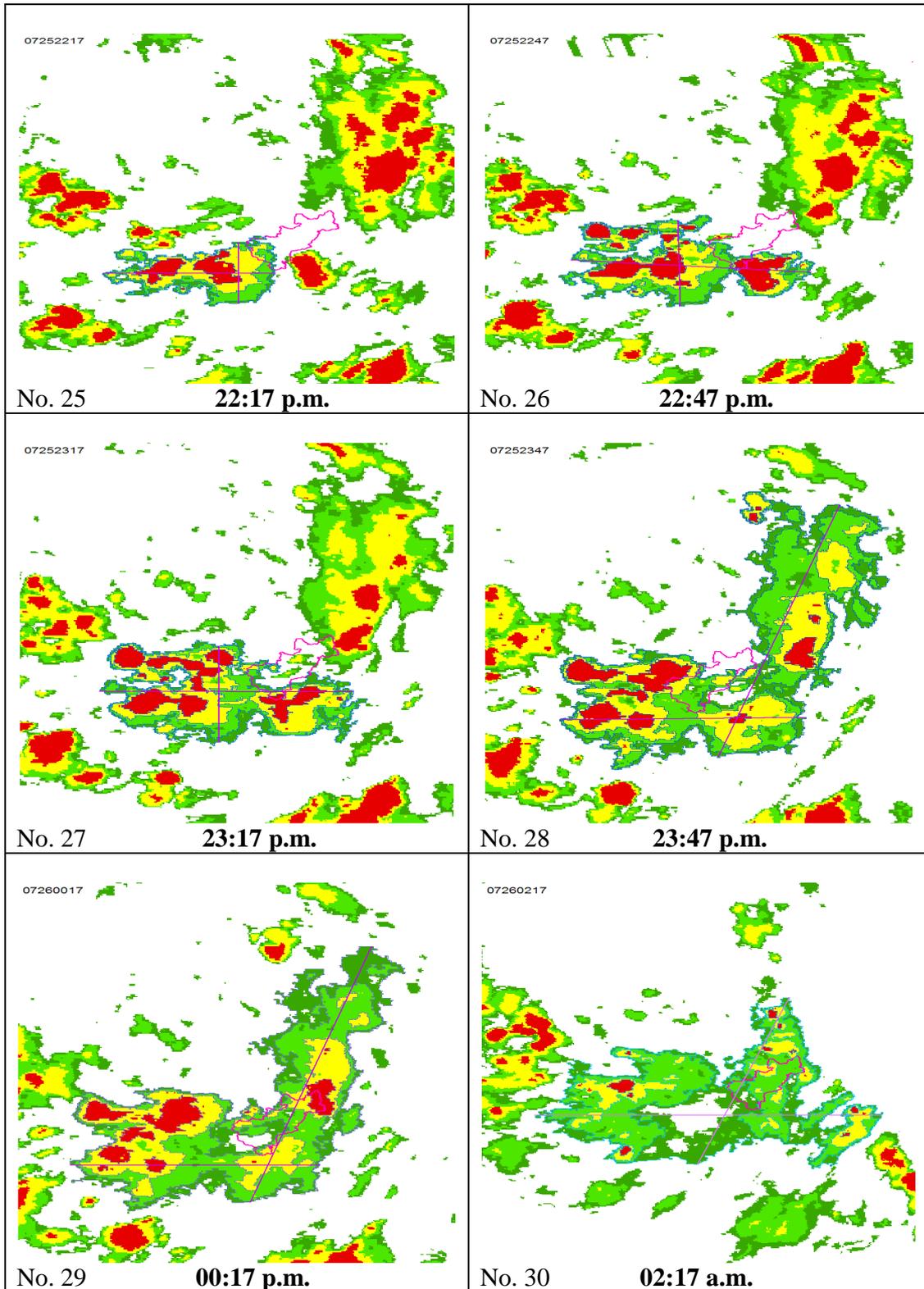
La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 25 de julio del 2005, ocurrido a las 20:17 p.m.











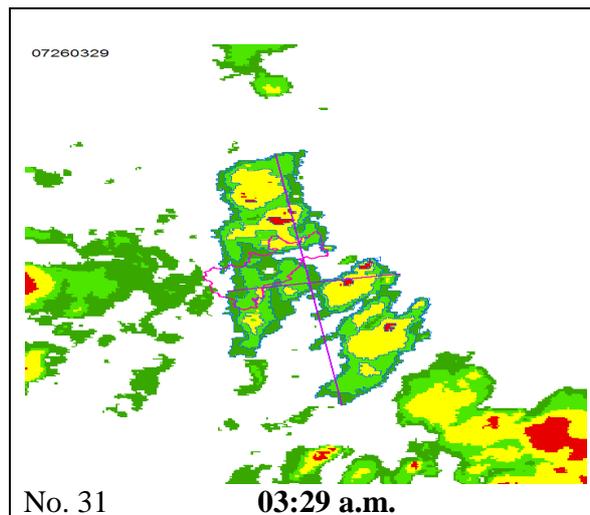


Figura 4.42 Imágenes analizadas de la tormenta del día 18 de julio del 2005, ocurrido a las 20:17 p.m.

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 60 minutos, el cual se desarrolla a partir de un sistema convectivo bastante grande y que se desprende de él, en un tiempo aproximado de 45 minutos. Surge desde la parte norte del país y se adentra rápidamente a la zona de estudio, mantiene su trayectoria en todo momento. Durante el paso del sistema por la zona de estudio cubre al estado en su totalidad por 3 horas aproximadamente. El sistema en ésta primera fase no presenta el fenómeno de fusión de núcleos convectivos, pero sí claramente el proceso de disipación del sistema, por el contrario a la hora 20:17 p.m. el sistema vuelve a retomar energía de la atmósfera ampliando su masa nubosa en gran medida por la fusión de núcleos convectivos y nuevamente vuelve a cubrir toda la zona del estado, produciéndose en este lapso de tiempo la precipitación del sistema como se observa en las imágenes. En el momento en que el sistema retoma energía éste se adentra a la zona de estudio por la parte suroeste del país, extendiéndose hacia la parte norte y oeste. El proceso de disipación en la segunda fase ya no es muy claro puesto que se requeriría mayor tiempo de análisis del sistema, por lo tanto la trayectoria que siguió el sistema convectivo ya no se encuentra definido.

Características de la tormenta a la hora de la precipitación ocurrida a las 20:17 p.m., correspondiente a la imagen No. 21, (tabla A.1.2), donde se muestran las áreas de cobertura de la masa nubosa en los diferentes rangos de temperatura y la longitud presentada por la tormenta en sus respectivos ejes.

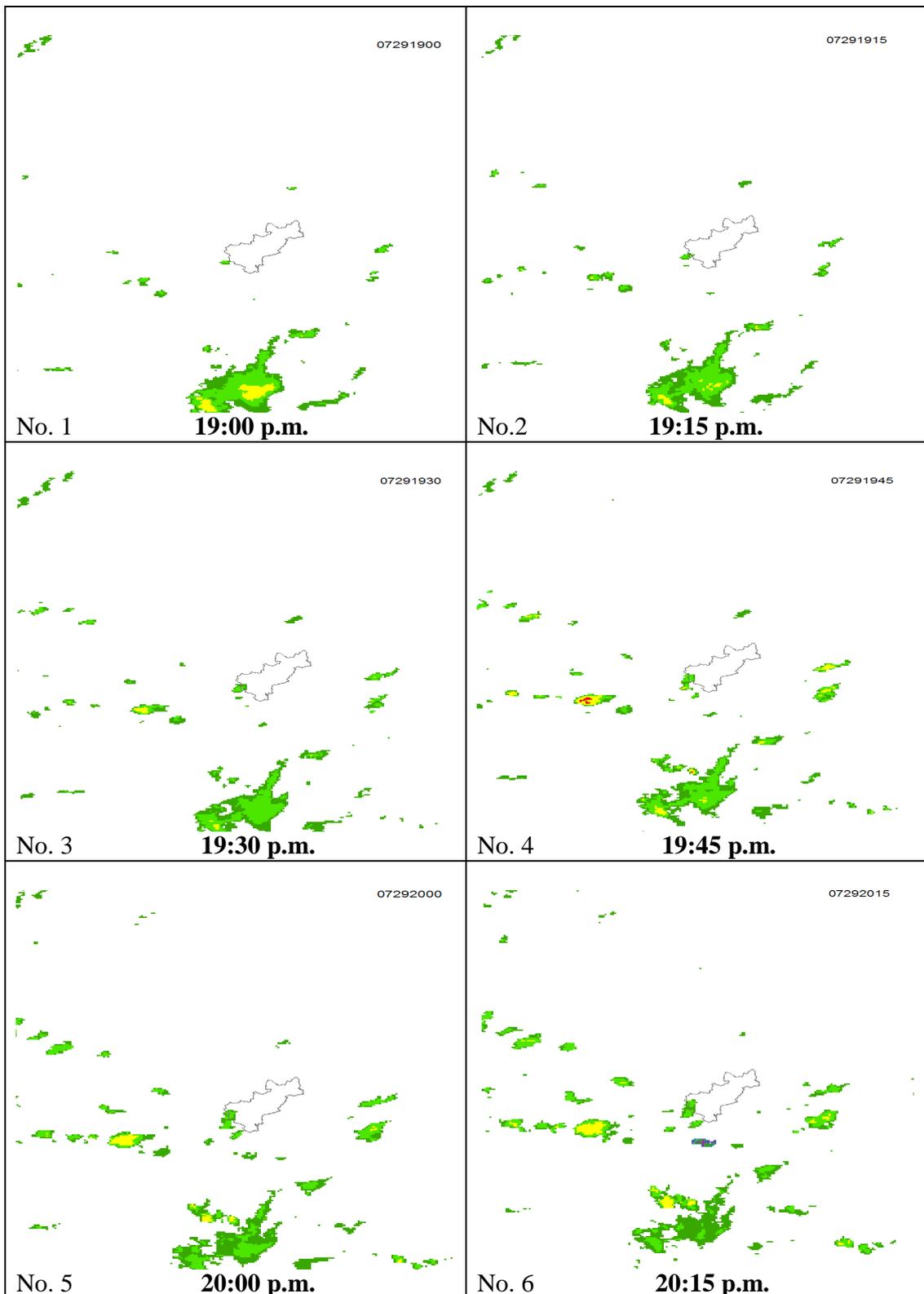
Tabla A.1.2 Características de la tormenta al momento de la precipitación.

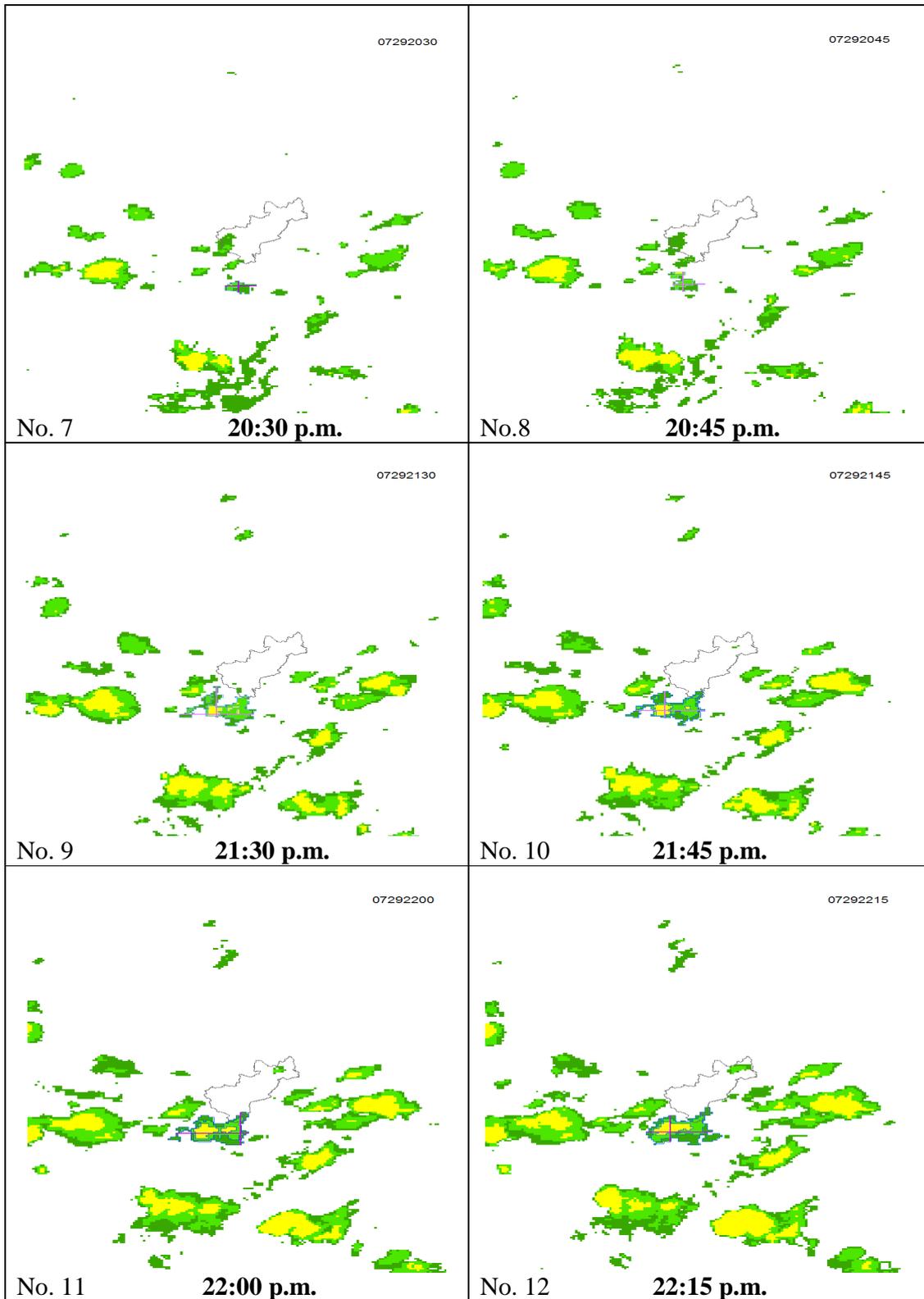
Nombre de tormenta	Área km ²	Hora
Rojo	0.00	20:17
Amarillo	7026.35	20:17
Verde brillante	12002.57	20:17
Verde oscuro	15231.48	20:17

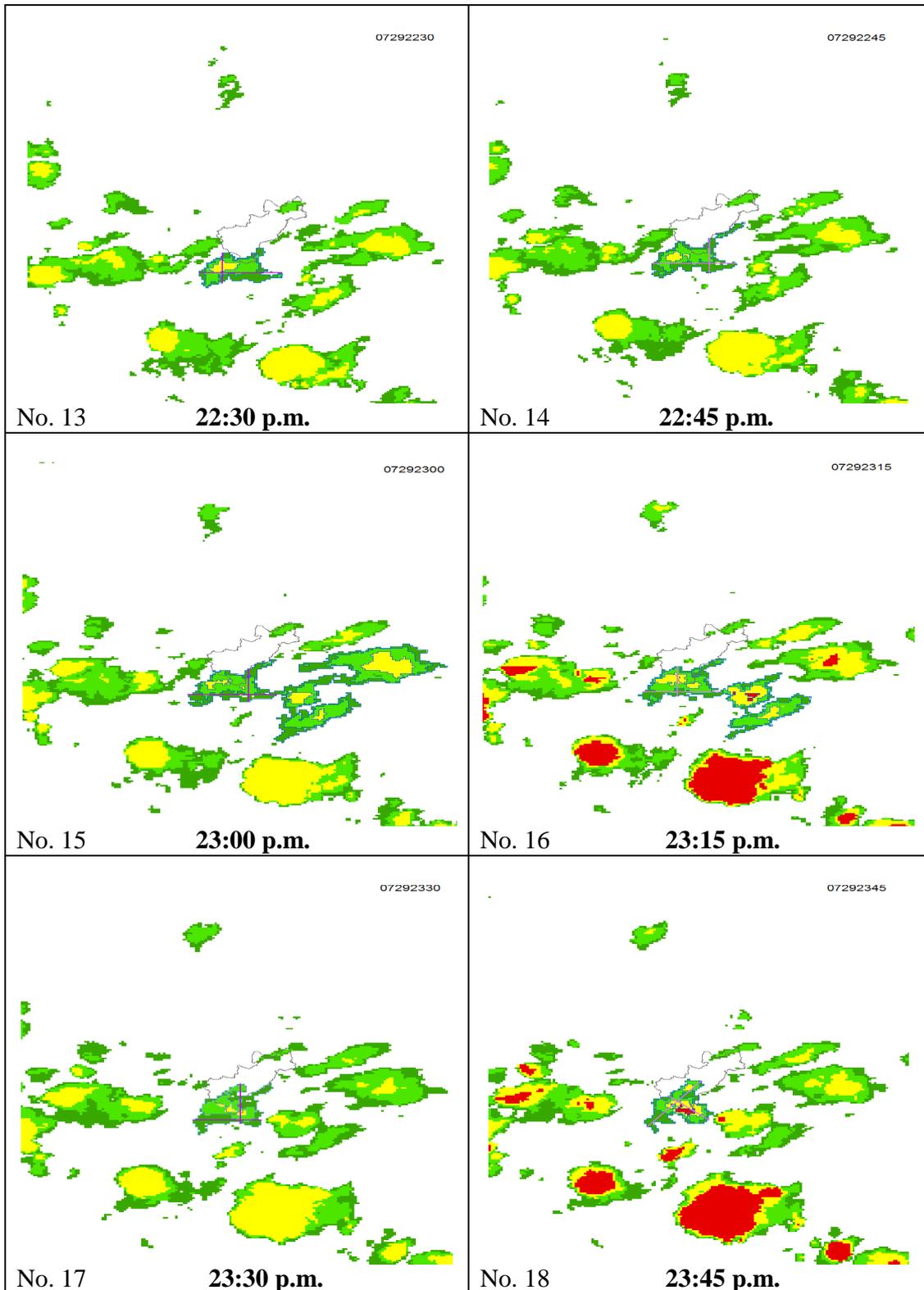
Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

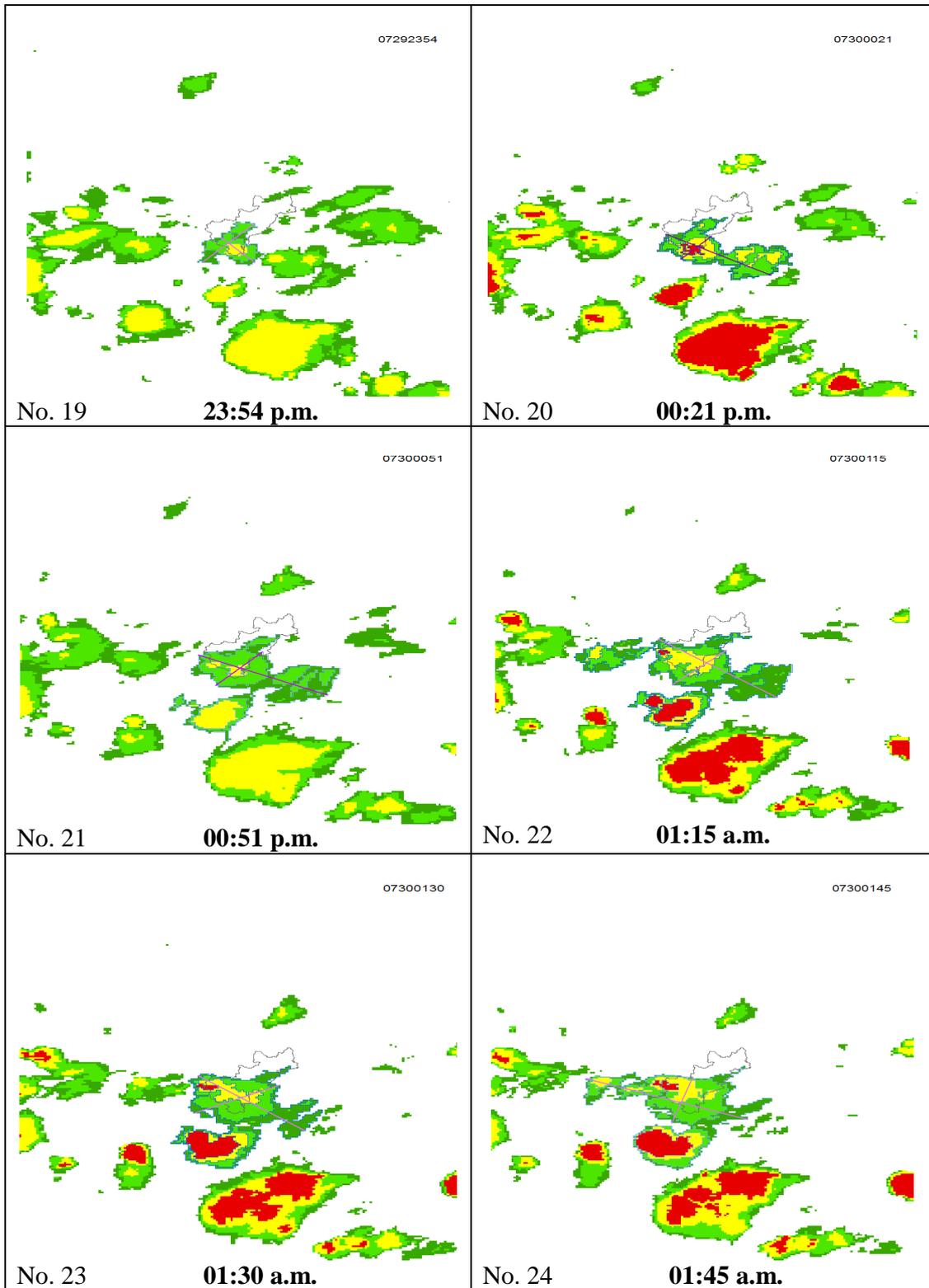
Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
205.543176	132.36	20:17

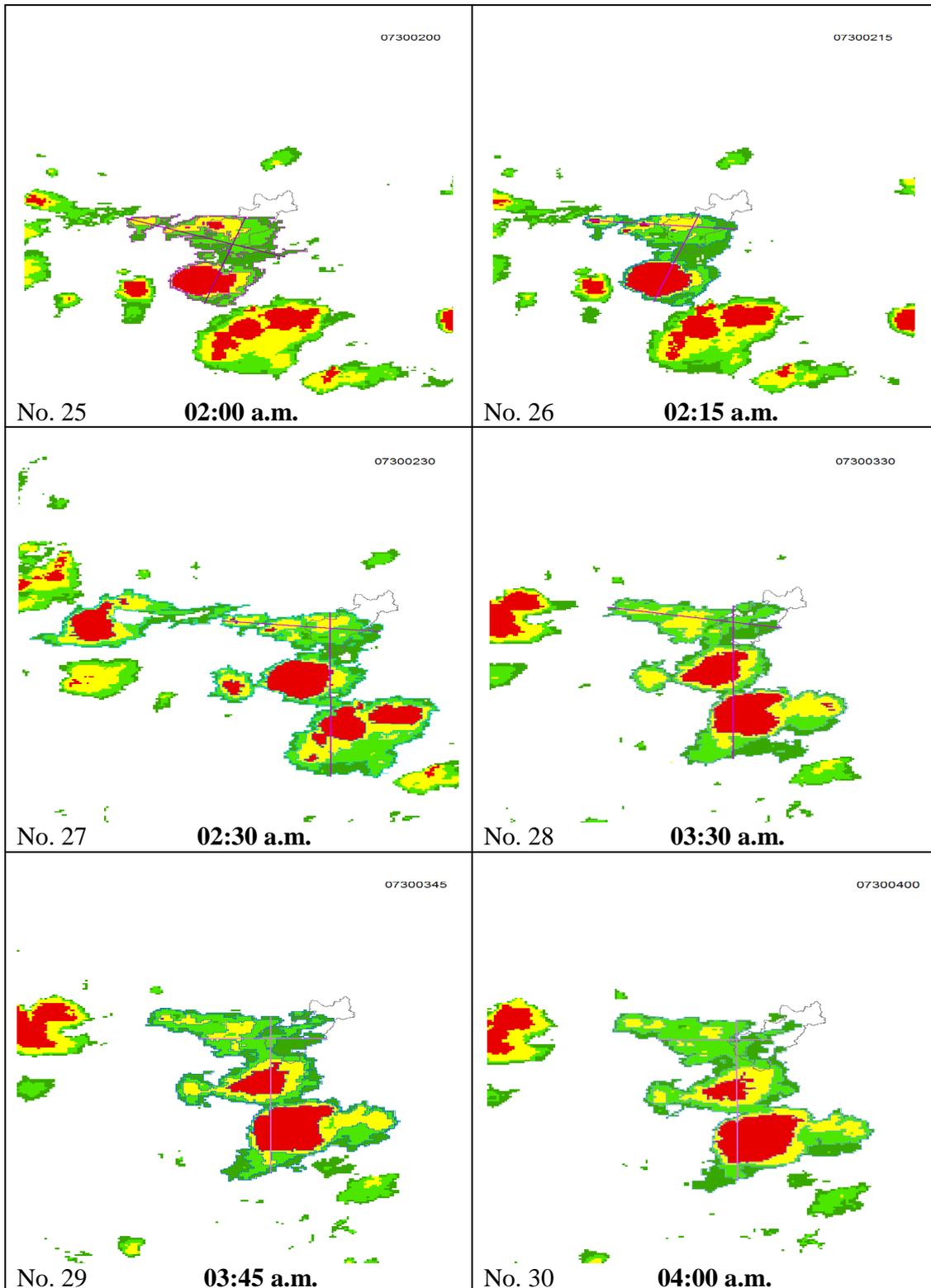
La duración típica de la tormenta es de 60 minutos, del día 30 de julio del 2006, ocurrido a las 01:15 a.m.











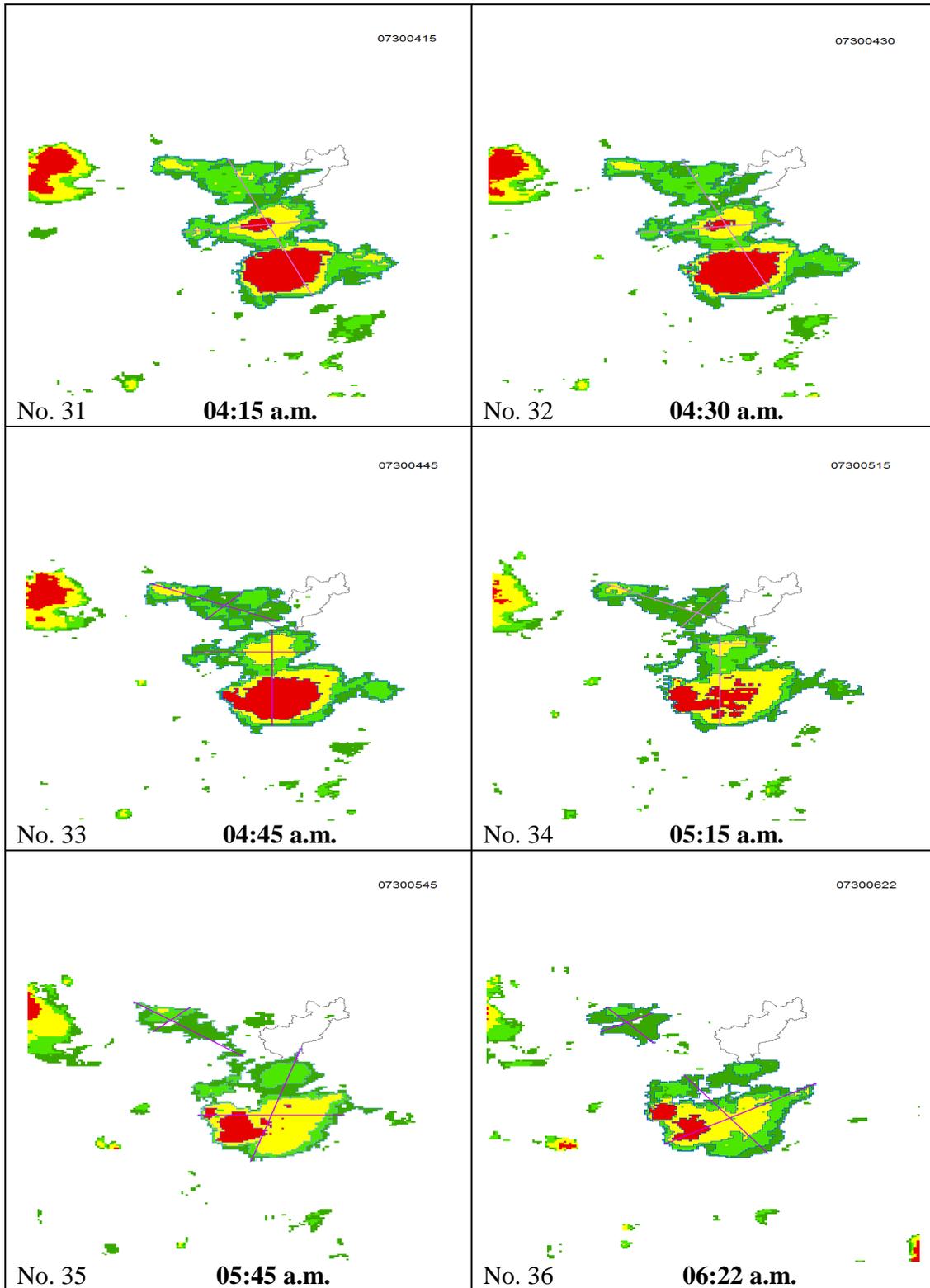


Figura 4.43 Imágenes analizadas de la tormenta del día 30 de julio del 2006, ocurrido a las 01:15 a.m.

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 60 minutos, el cual comienza a desarrollarse desde la parte sur del país, éste sistema se adentra a la zona de estudio manteniendo su trayectoria en todo momento. Desde la parte inicial de su formación el sistema presenta el fenómeno de fusión de núcleos convectivos, a partir de pequeños núcleos, conforme transcurre el tiempo se adhieren otros sistemas y por lo tanto núcleos convectivos más grandes, lo cual amplía en gran medida la cobertura de su masa nubosa cubriendo totalmente la zona del estado de Querétaro. Durante el proceso de fusión de núcleos convectivos ocurre la precipitación del sistema como se observa en la imagen No. 22. A partir de la hora 4:45 a.m. comienza el proceso de disipación del sistema, el cual se va alejando hacia la parte sur y oeste del país, mientras el sistema que afectó en gran medida al estado se desvanece hacia la parte sur.

Características de la tormenta a la hora de la precipitación ocurrida a la 01:15 a.m., correspondiente a la imagen No.22, (tabla A.1.3), donde se muestran la áreas de cobertura de la masa nubosa en los rangos de temperatura establecidos y a la longitud desarrollada por el sistema en sus dos ejes.

Tabla A.1.3 Características de la tormenta al momento de la precipitación.

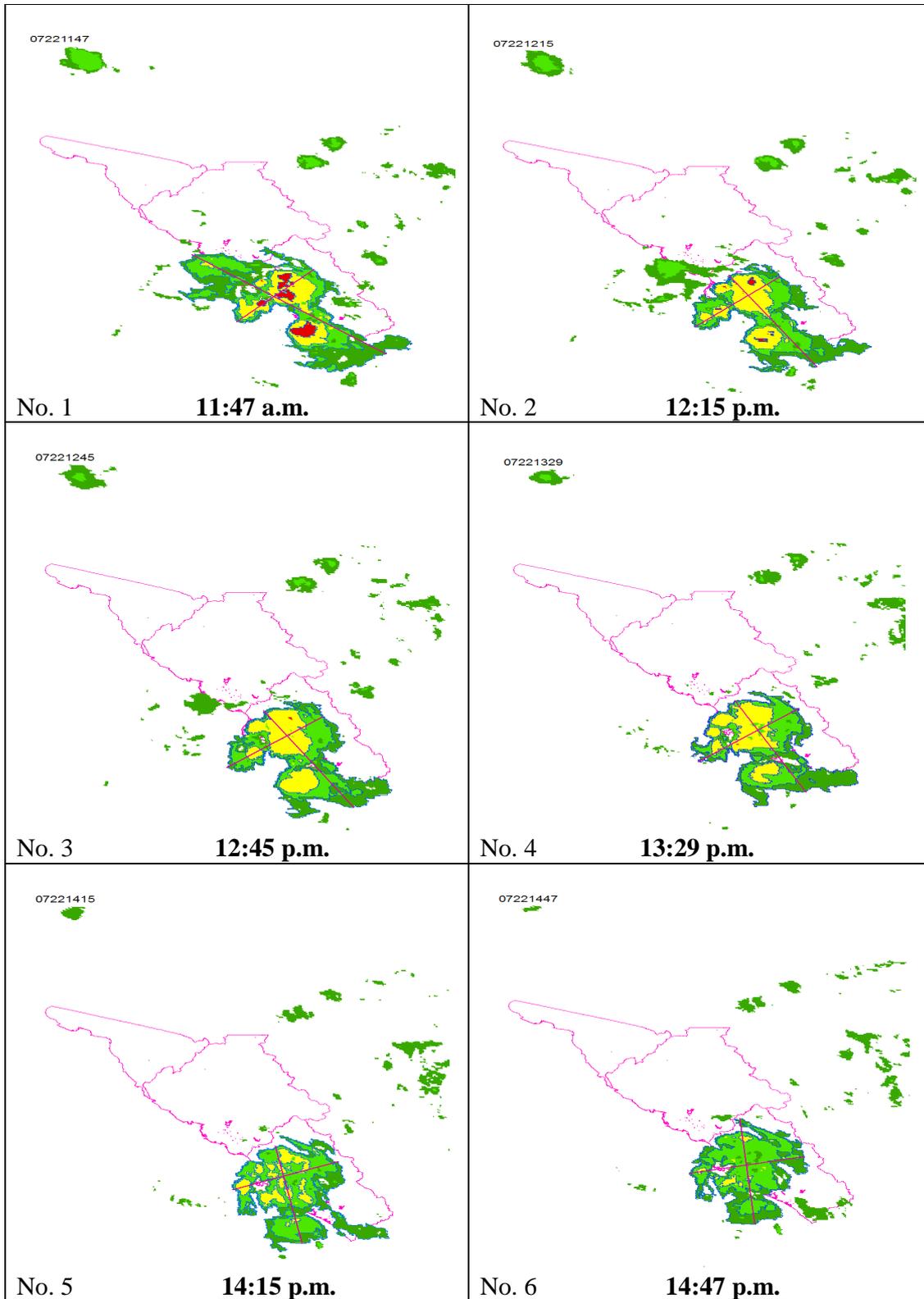
Nombre de tormenta	Área km2	Hora
Rojo	3934.21394182520	01:15
Amarillo	12338.68976461000	01:15
Verde brillante	25159.08038118310	01:15
Verde oscuro	43963.30141000000	01:15

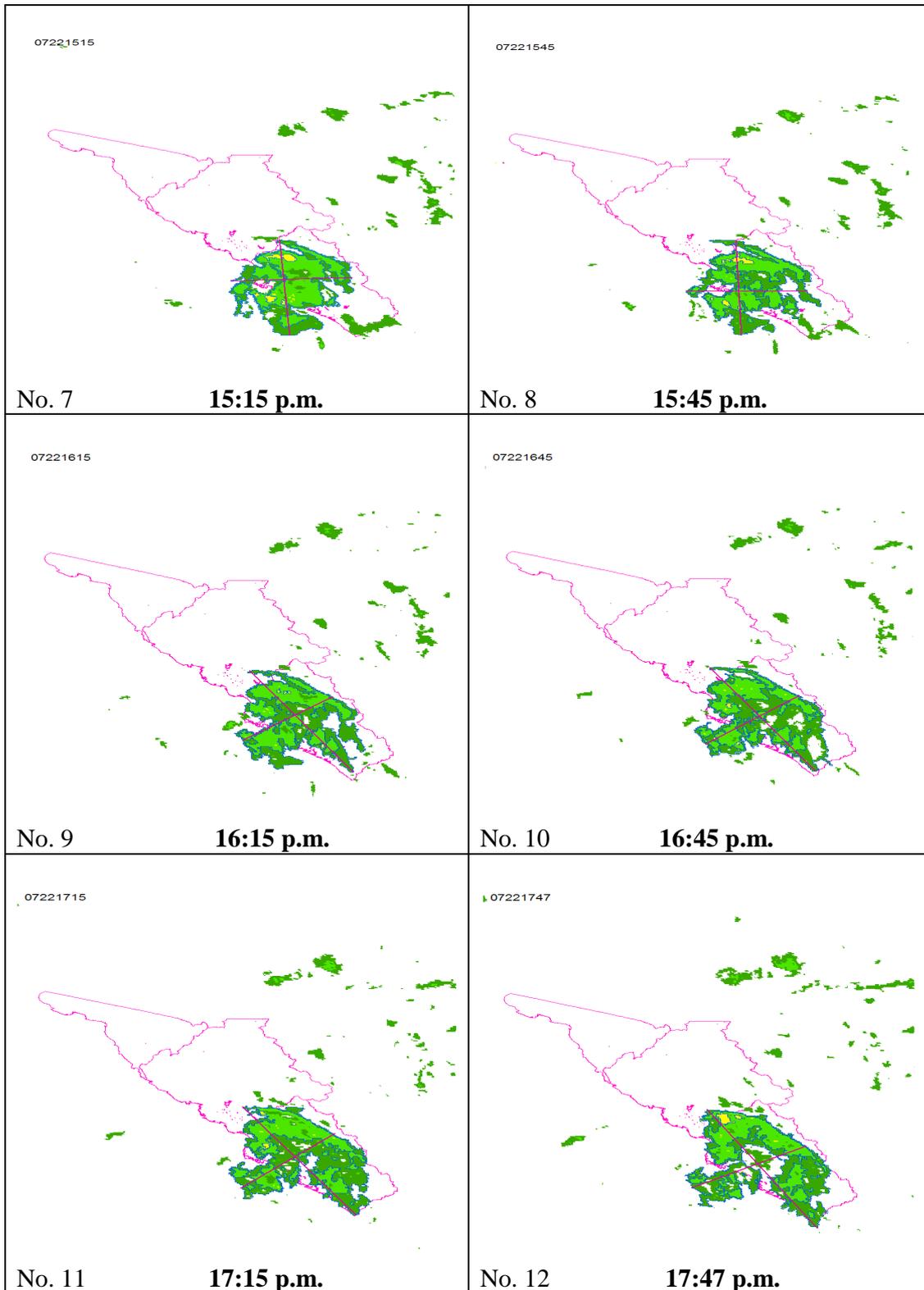
Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

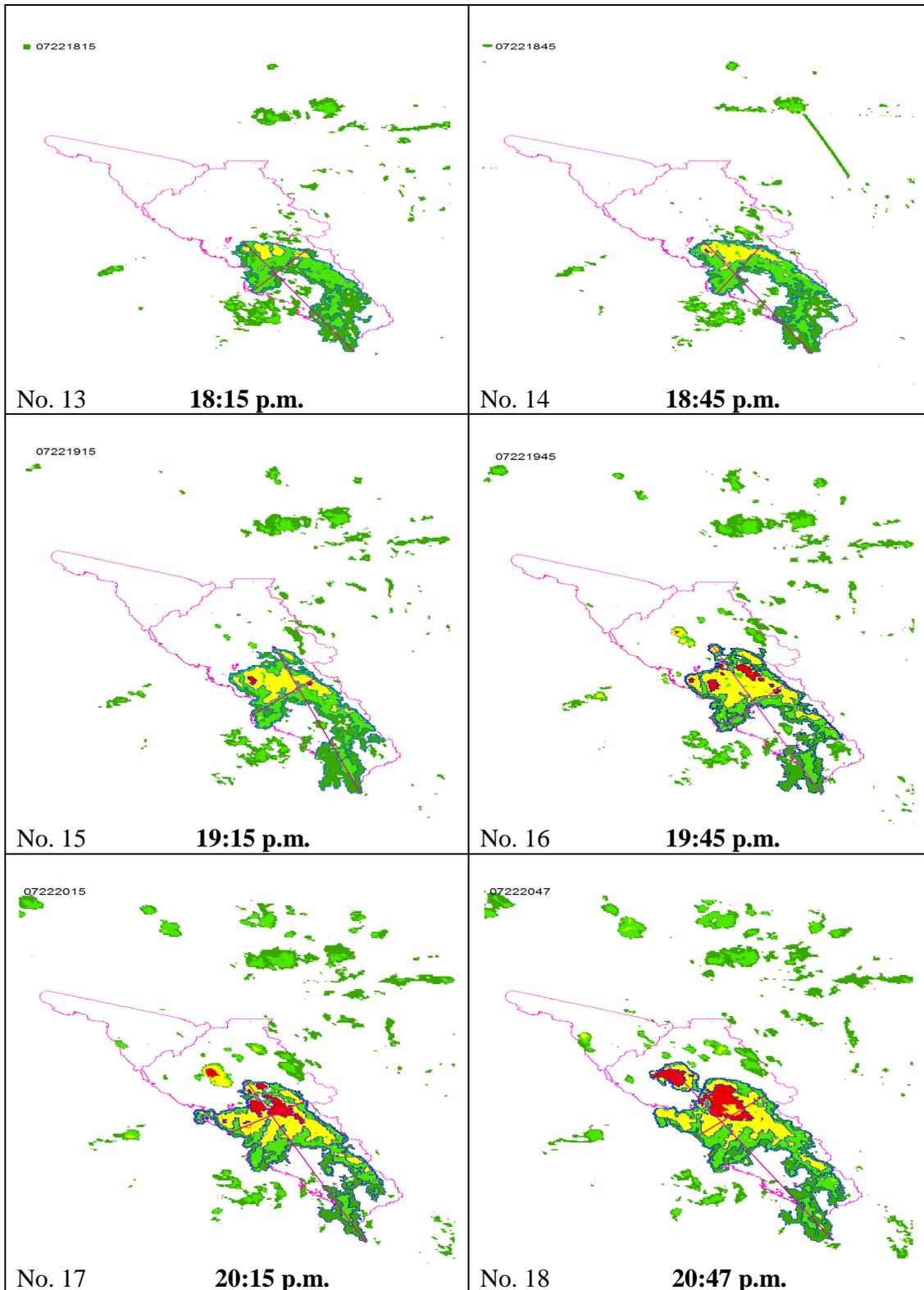
Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
273.947761	140.590875	01:15

A.2 Tormentas típicas del Noroeste.

La duración típica de la tormenta es de 50 minutos, del día 22 de julio del 2005, ocurrido a las 18:15 p.m.







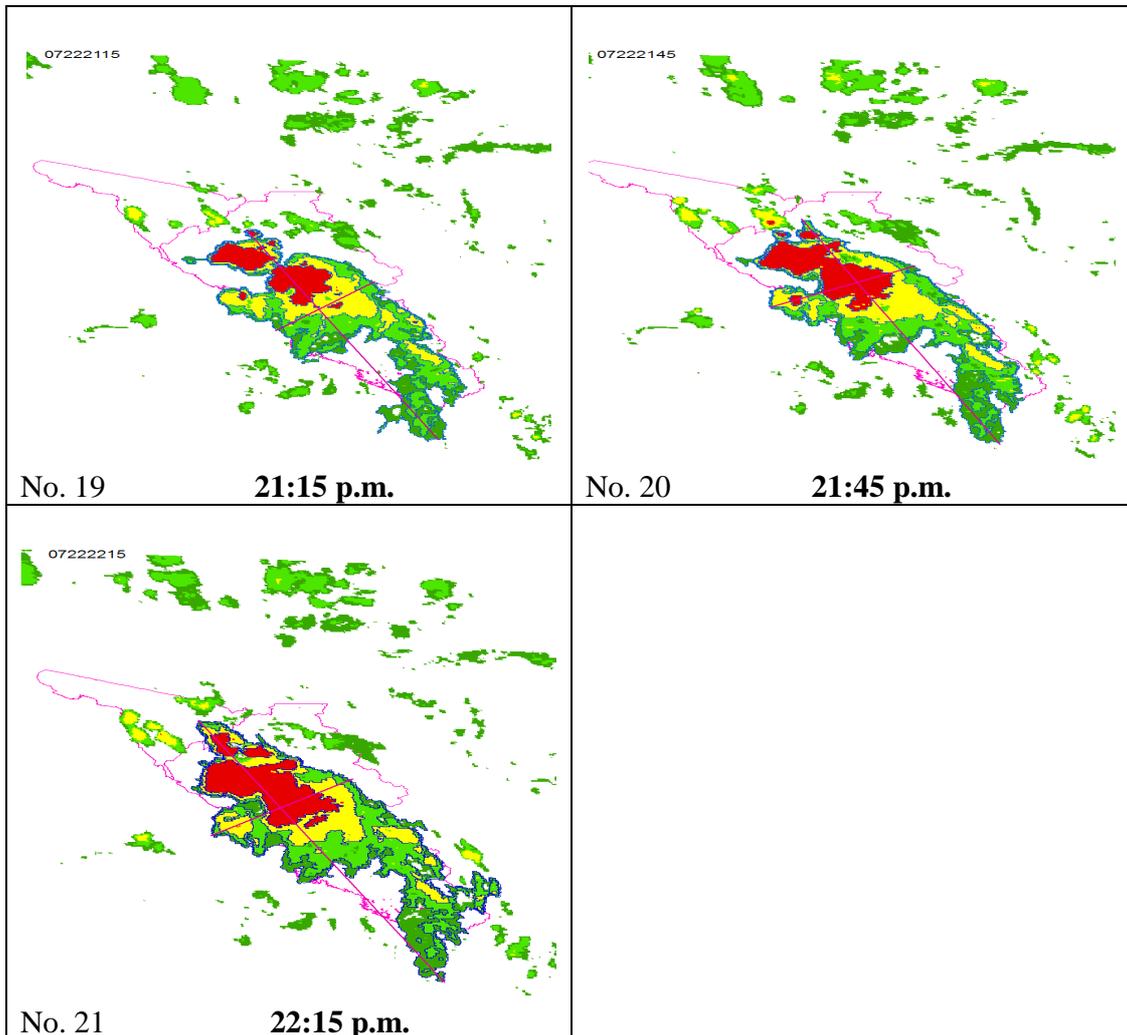


Figura 4.44 Imágenes analizadas de la tormenta del día 22 de julio del 2005, ocurrido a las 18:15 p.m.

El sistema convectivo analizado es una tormenta típica máxima con una duración de 50 minutos, el cual comienza a desarrollarse desde la parte sur del país y se empieza a concentrar rápidamente sobre la zona de estudio, el sistema mantiene su trayectoria y ubicación sobre la zona. En un tiempo aproximado de dos horas la cobertura de la masa nubosa se extiende sobre la $\frac{1}{2}$ de la zona de estudio. A partir de éste instante el sistema comienza a disiparse durante aproximadamente 5 horas. Por cuestiones atmosféricas, conforme transcurre el tiempo el sistema en vez de seguir disipándose retoma energía y se extiende en gran medida sobre los estados del noroeste como se observa en las imágenes, esto a consecuencia de la fusión de núcleos convectivos. El proceso de disipación del sistema como segunda fase ya no es claro por la cantidad de imágenes de satélite faltantes, por lo cual no tenemos definido la trayectoria de disipación de la segunda fase.

Características de la tormenta a la hora de la precipitación ocurrida a las 18:15 p.m., correspondiente a la imagen No.13, (tabla A.2.1), donde se muestran la áreas de cobertura de la masa nubosa para los rangos de temperatura determinados y la longitud presentada por la tormenta en su eje mayor y menor

Tabla A.2.1 Características de cobertura al momento de la precipitación.

Nombre de tormenta	Área km2	Hora
Rojo	186.45188029630	18:15
Amarillo	6141.15645903280	18:15
Verde brillante	40218.90984549400	18:15
Verde oscuro	78285.46415420000	18:15

Características de sus ejes mayor y menor al momento de la precipitación.

Diagonal mayor (km)	Diagonal menor (km)	Hora
619.417393	266.62385	18:15

A.3 COMPLEMENTO DE TABLAS DE MESES DE LLUVIA FALTANTES PARA LA (EMA) HUIMILPAN.

Tabla A.3.1 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE QUERÉTARO (EMA) HUIMILPAN																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	230
Junio-00	12	7	3	3	3	1	1	2	2				1			
Junio-01	14	1	4	4	1	2	1		1	1	2	1				
Junio-02	13	3	4	2	1	2										
Junio-03	2	1		1		1			1							
Junio-04	11	5	3	1	3	2	1		1				1	1	1	
Junio-05	1	1	1				1									
Junio-06	1	3	1		1	1		1		1		1				
Junio-07	7	2	3													1
Tormentas	61.00	23.00	19.00	11.00	9.00	9.00	4.00	3.00	5.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	7.62	2.87	2.71	2.20	1.80	1.50	1.00	1.50	1.25	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	8.89	6.09	9.14	3.31	18.30	23.11	8.88	30.99	7.11	11.18	11.66	17.00	16.75	34.80	10.91	5.75
Acum. Promedio	1.09	1.83	2.35	2.13	7.10	8.65	5.76	15.48	4.50	8.89	10.91	16.50	14.85	34.80	10.91	5.75
Desv. Acum	1.38	1.41	1.90	0.74	5.56	6.22	2.77	11.68	1.36	2.29	0.75	0.50	1.89	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.26	0.15	0.12	0.12	0.05	0.04	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
L mm	3.27	3.67	3.53	2.56	7.10	7.42	4.32	10.32	2.70	4.84	5.45	7.61	6.36	13.92	4.09	1.50

Tabla A.3.2 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE QUERÉTARO (EMA) HUIMILPAN																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150	160	170	200
Agosto-00	13	6	2	2	2	1		1	1							
Agosto-01	8	8	4	2	2	2	1	1	1						1	
Agosto-02	5	5	4	3	1							1			1	
Agosto-03	7	4	5	3	2			2	1		2		1			
Agosto-04	13	7	5	4	2	1	1		1	2						1
Agosto-05	6	7	4	1	2		2			1	1					
Agosto-06	14	7	4	3	1	2	1	1		2			1	1	1	
Agosto-07																
Tormentas	66.00	44.00	28.00	18.00	12.00	6.00	5.00	5.00	4.00	5.00	3.00	1.00	2.00	1.00	3.00	1.00
Promedio	9.42	6.28	4.00	2.57	1.71	1.50	1.25	1.25	1.00	1.66	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	5.34	11.68	20.83	17.77	17.52	22.34	35.06	11.19	6.84	23.35	14.73	7.10	18.01	52.07	21.35	13.18
Acum. Promedio	1.03	2.06	3.93	4.11	5.36	6.97	10.50	5.78	5.71	12.07	10.49	7.10	12.68	52.07	13.54	13.18
Desv. Acum	0.97	2.33	4.13	4.26	4.63	7.02	12.45	3.05	1.14	6.45	3.42	0.00	5.33	0.00	6.14	0.00
Probabilidad			0.29	0.18	0.12	0.062	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01
L mm	3.11	4.13	5.89	4.93	5.36	5.97	7.87	3.85	3.42	6.58	5.24	3.27	5.07	19.52	4.78	3.95

Tabla A.3.3 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE QUERÉTARO (EMA) HUIMILPAN																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	230
Septiembre-00	6	3	1	1			1			1						
Septiembre-01	14	5	3	4	2	2					2					
Septiembre-02	9	6	4	4	3		4	1	2	1				2	1	1
Septiembre-03	23	6	3	6	7	2	1	2	2	1	1	1				
Septiembre-04	9	8	3	1	1	2	2									
Septiembre-05	4	3	2	1		1		2								
Septiembre-06	9	4	2	3	2	2		1					1			
Septiembre-07																
Tormentas	74.00	35.00	18.00	20.00	15.00	9.00	8.00	6.00	4.00	3.00	3.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00
Promedio	10.57	5.00	2.57	2.85	3.00	1.80	2.00	1.50	2.00	1.00	1.50	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	4.31	8.89	16.25	9.39	27.68	37.34	36.33	15.50	8.87	3.79	13.73	28.71	18.28	18.02	14.48	25.62
Acum. Promedio	0.74	1.89	5.10	2.80	8.61	8.17	12.57	7.82	6.14	3.79	9.98	28.71	18.28	15.10	14.48	25.62
Desv. Acum	0.56	1.85	4.75	1.96	8.08	10.49	11.05	4.39	1.90	0.00	3.49	0.00	0.00	2.91	0.00	0.00
Probabilidad			0.19	0.21	0.16	0.09	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
L mm	2.23	3.78	7.65	3.37	8.61	7.00	9.42	5.21	3.6	2.06	4.99	13.25	7.83	6.042	5.43	6.68

Tabla A.3.4 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Huimilpan.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE QUERÉTARO (EMA) HUIMILPAN																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	180	200	240	320
Octubre-00	1	2	1						1		1					
Octubre-01	5	2	6	2	1			1								
Octubre-02	1	3			1				1							
Octubre-03	7	4	1	3	2			1	1	1		1	1			
Octubre-04	5	1		1												1
Octubre-05	7	4	4	2	1	1	1								1	
Octubre-06	3	5	3	2	4		1	1	1					1		
Octubre-07																
Tormentas	29.00	21.00	15.00	10.00	9.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	4.14	3.00	3.00	2.00	1.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	8.89	5.84	26.68	8.63	4.82	7.11	33.30	27.94	16.25	20.84	6.58	21.59	7.10	8.60	13.42	41.65
Acum. Promedio	1.05	2.01	4.09	2.91	2.92	7.11	20.33	12.35	10.97	20.84	6.58	21.59	7.10	8.60	13.42	41.65
Desv. Acum	1.55	1.19	6.31	2.21	1.02	0.00	12.96	11.05	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.29	0.19	0.17	0.01	0.03	0.05	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L mm	3.16	4.03	6.13	3.49	2.92	6.09	15.25	8.23	6.58	11.36	3.29	9.25	2.36	2.58	3.35	7.80

A.4 COMPLEMENTO DE TABLAS DE MESES DE LLUVIA FALTANTES PARA LA (EMA) CHINATÚ.

Tabla A.4.1 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Chinatú.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) CHINATÚ																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	200
Junio-1999	8	1	1	2	1	2	1		1			1	1			1
Junio-2000	7	11	9	6	2		1	2	2	1	1			1		
Junio-2001	1	1	3	4												
Junio-2002	4	1	2	1	1											
Junio-2003	5	1	3	2	1		1			1			1			
Junio-2004	13	3	2	1	3		1									
Junio-2005	1	1														
Junio-2006	12	10	3	4	2	1	1	1						2	1	
Junio-2007																
Tormentas	51.00	29.00	23.00	20.00	10.00	3.00	5.00	3.00	3.00	2.00	1.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00
Promedio	6.37	3.62	3.28	2.85	1.66	1.50	1.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00
Acum. Máxima	4.83	16.51	19.56	20.82	12.18	20.06	13.2	12.43	8.63	25.15	8.36	4.54	6.08	6.84	39.61	7.07
Acum. Promedio	0.99	2.99	3.80	4.21	4.71	8.71	6.79	6.42	6.51	15.62	8.36	4.54	5.83	6.42	39.61	7.07
Desv. Acum	0.89	3.34	4.49	4.47	3.36	8.07	3.63	4.26	2.01	9.53	0.00	0.00	0.25	0.43	0.00	0.00
Probabilidad			0.29	0.26	0.13	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01
L mm	2.99	5.98	5.70	5.05	4.71	7.46	5.09	4.28	3.90	8.52	4.18	2.09	2.49	2.56	14.85	2.12

Tabla A.4.2 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Chinatú.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) CHINATÚ																		
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	190	200
Agosto-1999	17	7	7	4	2	2	1	1	1		1				1			
Agosto-2000	20	7	2	3		1			1	1							1	
Agosto-2001	7	6	4		2	2			1			2						2
Agosto-2002	12	3	4	3	3	1		2	1									
Agosto-2003	17	3	7	2	1	1	1					1		1				
Agosto-2004																		
Agosto-2005	16	7	9	4	1					1			1					
Agosto-2006	8	12	4	5	3			2		1							1	
Agosto-2007																		
Tormentas	97.00	45.00	37.00	21.00	12.00	7.00	2.00	5.00	4.00	3.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
Promedio	13.85	6.42	5.28	3.50	2.00	1.40	1.00	1.67	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
Acum. Máxima	5.85	15.50	19.57	23.87	35.31	45.21	10.15	4.81	41.90	12.45	18.80	6.07	40.88	40.63	5.30	27.67	20.58	13.97
Acum. Promedio	1.42	2.62	5.41	3.92	9.16	16.68	8.50	3.74	14.52	11.24	18.80	5.05	40.88	40.63	5.30	27.67	20.58	12.69
Desv. Acum	1.22	2.58	4.46	4.99	9.49	16.83	1.65	0.79	15.90	1.18	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
Probabilidad			0.35	0.20	0.11	0.07	0.02	0.05	0.04	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
L mm	4.27	5.24	8.12	4.70	9.16	14.29	6.37	2.49	8.71	6.13	9.40	2.33	17.52	16.25	1.99	9.22	6.49	3.80

Tabla A.4.3 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Chinatú.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) CHINATÚ																	
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	140	150	180	190	210	220
Septiembre-1999	8	8	5	2	2						1	1					
Septiembre-2000	15	2	2	1	1	1	1						1				
Septiembre-2001																	
Septiembre-2002	12	2	3	4	1				1								1
Septiembre-2003	7	7	5	1	2	4	2	1		2			1	1			
Septiembre-2004	10	6	2	2		2				1					1	1	
Septiembre-2005	7	1			1	1	2	2		1							
Septiembre-2006	10	7	4	3	3	3			1		1	1					
Septiembre-2007																	
Tormentas	69.00	33.00	21.00	13.00	10.00	11.00	5.00	3.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	9.86	4.71	3.50	2.17	1.67	2.20	1.67	1.50	1.00	1.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	5.08	7.36	9.15	30.48	9.65	19.82	23.36	26.40	11.92	13.44	14.71	6.33	11.66	14.72	40.63	15.74	21.34
Acum. Promedio	1.03	2.33	2.87	7.73	4.69	5.92	11.78	19.88	7.34	8.49	9.24	6.32	11.03	14.72	40.63	15.74	21.34
Desv. Acum	0.93	2.10	2.44	9.39	2.92	5.45	6.92	4.70	4.58	4.23	5.47	0.01	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.26	0.16	0.13	0.14	0.06	0.04	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
L mm	3.08	4.67	4.30	9.28	4.69	5.08	8.83	13.25	4.40	4.63	4.26	2.71	4.41	4.91	12.83	4.49	5.82

Tabla A.4.4 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Chinatú.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) CHINATÚ															
Fecha	20	30	40	50	60	70	100	110	120	130	140	150	180	210	490
Octubre-1999	2			1											
Octubre-2000	4	1	4	1	2	1		2				1	1		
Octubre-2001	2		1												
Octubre-2002	3	1			1	1									
Octubre-2003	8	1	1												
Octubre-2004	8	2	4	1		1	1								1
Octubre-2005	1				1	1				1					
Octubre-2006	1	2	3	1		2	1		1	1	1			1	
Octubre-2007															
Tormentas	29.00	7.00	13.00	4.00	4.00	6.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	3.62	1.40	2.60	1.00	1.33	1.20	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	6.10	1.52	7.87	7.63	10.42	18.28	4.05	9.63	6.34	16.26	5.58	11.18	8.37	7.57	32.74
Acum. Promedio	0.83	1.08	2.29	3.68	5.96	7.14	3.40	7.72	6.34	12.57	5.58	11.18	8.37	7.57	32.74
Desv. Acum	1.02	0.26	1.77	2.35	2.79	5.52	0.64	1.90	0.00	3.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.32	0.10	0.10	0.15	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L mm	2.51	2.16	3.45	4.42	5.96	6.12	2.04	4.21	3.17	5.80	2.39	4.47	2.79	2.16	4.01

A.5 COMPLEMENTO DE TABLAS DE MESES DE LLUVIA FALTANTES PARA LA (EMA) URIQUE.

Tabla A.5.1 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Urique.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) URIQUE												
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130	150	200
Junio-1999		4			1							
Junio-2000	9	2	1	1	1	3		1				1
Junio-2001	13	7	2		3	2			2	1		
Junio-2002	4	1	1		1							
Junio-2003												
Junio-2004	1	3		1	1	1						
Junio-2005	1	1	2	1			1					
Junio-2006	8	3	8			3		2				
Junio-2007	5	3	3			1					1	
Tormentas	41.00	24.00	17.00	3.00	7.00	10.00	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	5.86	3.00	2.83	1.00	1.40	2.00	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	3.81	13.97	33.53	13.45	29.98	37.33	32.77	39.11	8.40	8.38	7.37	11.68
Acum. Promedio	0.99	2.84	7.52	6.35	13.06	8.55	32.77	15.57	7.37	8.38	7.37	11.68
Desv. Acum	0.91	3.25	9.18	5.02	10.69	10.35	0.00	16.66	1.03	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.37	0.06	0.15	0.22	0.02	0.06	0.04	0.02	0.02	0.02
L mm	2.99	5.68	11.29	7.62	13.06	7.33	24.57	10.38	3.68	3.86	2.94	3.50

Tabla A.5.2 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de julio. (EMA) Urique.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) URIQUE																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150	160	180	200
Julio-1999	12	7	5	4	3	3	3	1			2	2	1	1		2
Julio-2000	8	6	5	8	5	3	3	1			1					
Julio-2001	9	11	2	5	1	4		1			2	1		1	1	
Julio-2002	10	12	2	1			2			1	1					
Julio-2003																
Julio-2004																
Julio-2005	14	3	5	1	1	3					2		1			
Julio-2006																
Julio-2007	15	7	3	3	3	3			1							
Tormentas	68.00	46.00	22.00	22.00	13.00	16.00	8.00	3.00	1.00	1.00	8.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00
Promedio	11.33	7.67	3.67	3.67	2.60	3.20	2.67	1.00	1.00	1.00	1.60	1.50	1.00	1.00	1.00	2.00
Acum. Máxima	8.13	11.69	20.58	25.14	27.42	31.74	28.7	13.21	3.54	6.61	22.1	12.7	16.48	10.39	12.69	52.34
Acum. Promedio	1.38	2.11	4.48	8.96	12.34	8.19	12.13	9.73	3.54	6.61	11.04	10.15	11.91	8.23	12.69	37.08
Desv. Acum	1.39	2.08	5.18	7.22	8.09	7.42	9.18	3.88	0.00	0.00	6.61	3.07	4.56	2.16	0.00	15.25
Probabilidad			0.21	0.21	0.12	0.15	0.07	0.03	0.01	0.01	0.07	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
L mm	4.15	4.22	6.73	10.76	12.34	7.02	9.09	6.48	2.12	3.60	5.52	4.34	4.76	3.08	4.23	11.12

Tabla A.5.3 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Urique.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) URIQUE															
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	180	210	220
Agosto-1999	9	4	1	3	3	3	1	1	1	3	1				
Agosto-2000	8	4	2	1	1				1						
Agosto-2001	6	8	4	2	2			1		1			1	1	
Agosto-2002	5	7	2		2	1	1	2							
Agosto-2003															
Agosto-2004															
Agosto-2005	9	6	3	4	1	2	1			1		1			
Agosto-2006	14	7	4	5	3	5	1				1				1
Agosto-2007	6	5	1	1	1		2					1			
Tormentas	57.00	41.00	17.00	16.00	13.00	11.00	6.00	4.00	2.00	5.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	8.14	5.86	2.43	2.67	1.86	2.75	1.20	1.33	1.00	1.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	8.64	16.51	15.50	12.95	21.59	26.17	35.55	40.39	13.45	17.00	22.34	34.26	30.23	37.56	32.49
Acum. Promedio	1.45	3.63	3.37	4.88	6.83	9.60	17.73	12.94	8.74	9.64	12.80	22.09	30.23	37.56	32.49
Desv. Acum	1.64	3.74	3.57	3.41	5.62	7.06	13.03	15.85	4.70	5.57	9.54	12.16	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.21	0.19	0.16	0.14	0.07	0.05	0.02	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
L mm	4.36	7.26	5.05	5.86	6.83	8.23	13.30	8.63	5.25	5.26	6.40	10.19	10.07	10.73	8.86

Tabla A.5.4 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Urique.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) URIQUE																
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150	220	230	310
Septiembre-1999	2	4		2												
Septiembre-2000	1	3		1	1	1				1		2		1		
Septiembre-2001																
Septiembre-2002	3	3	2	1	1	1	1	1								1
Septiembre-2003	5	3	3			1										
Septiembre-2004	3	1		1	1		1	1		1						
Septiembre-2005	3				1	1					1					
Septiembre-2006	12	6	1		1	1			1				1			
Septiembre-2007	6	3	2	1	2	1				1				1	1	
Tormentas	35.00	23.00	8.00	6.00	7.00	6.00	2.00	2.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00
Promedio	4.37	3.28	2.00	1.20	1.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	9.65	10.16	5.07	15.75	32.76	48.01	45.96	36.56	8.37	13.97	12.46	13.45	14.45	51.82	11.67	43.91
Acum. Promedio	1.23	2.60	2.09	8.97	11.02	14.43	29.96	30.845	8.37	10.23	12.46	9.38	14.45	33.13	11.67	43.91
Desv. Acum	1.62	2.51	1.26	5.41	10.72	15.91	16.00	5.71	0.00	4.93	0.00	4.07	0.00	18.68	0.00	0.00
Probabilidad			0.19	0.14	0.16	0.14	0.04	0.04	0.02	0.07	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.02
L mm	3.71	5.20	3.13	10.76	11.02	12.37	22.47	20.56	5.02	5.58	6.23	4.02	5.78	9.04	3.04	8.49

Tabla A.5.5 Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Urique.

CONSOLIDADO DE TORMENTAS DE CHIHUAHUA (EMA) URIQUE																		
Fecha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	180	210	220	250	510
Octubre-1999		1																
Octubre-2000	10	9	5	3	4	2		2		1		1		1				
Octubre-2001																		
Octubre-2002	7		1															
Octubre-2003	2		1	2		1		1	1				1					
Octubre-2004	17	8	3	7	2			1		1	1				1	1	1	1
Octubre-2005		1	1			1												
Octubre-2006	1	5	6	1	1		1		2				1					
Octubre-2007					1													
Tormentas	37.00	24.00	17.00	13.00	8.00	4.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio	7.40	4.80	2.83	3.25	2.00	1.33	1.00	1.33	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acum. Máxima	8.89	4.57	24.13	6.61	16.00	18.29	2.78	6.59	4.57	16.00	4.81	15.98	15.00	43.43	17.77	16.24	12.70	37.82
Acum. Promedio	1.03	1.69	4.99	2.69	6.54	8.69	2.78	5.58	3.62	12.18	4.81	15.98	12.82	43.43	17.77	16.24	12.70	37.82
Desv. Acum	1.48	1.04	6.28	1.61	4.57	5.63	0.00	0.59	0.74	3.81	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad			0.28	0.21	0.13	0.06	0.01	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L mm	3.10	3.37	7.49	3.22	6.54	7.45	2.08	3.72	2.17	6.64	2.40	7.37	5.49	14.47	5.07	4.43	3.05	4.45

Tabla A.5.6 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de junio.

Día	Jun-04	Jun-04	Jun-04	Jun-04	Jun-05	Jun-05	Jun-05	Jun-05	Jun-06	Jun-06	Jun-06	Jun-06
1									00_40			
2												
3	02_60:05_60											
4												
5												
6												22_40:21_50
7										00_40		
8				03_40								06_50
9										02_60		
10												
11												
12												
13												
14												
15					23_90							
16							22_40					
17							03_40					
18					01_40							
19				19_40:23_40					21_40			
20				02_40:23_40					00_40			
21			02_50:05_50:01_60						23_40			
22			01_60	19_50					00_60			
23					03_40		04_40		23_90			
24												02_40:08_50
25									05_40:15_90		02_40:22_40:23_40	10_40:21_40:22_40
26												
27									23_40:21_60			07_50:20_50
28			22_40	03_40					00_60			08_40
29			03_40:04_50						03_40:04_40		22_40	
30											20_40	23_40
31												

Tabla A.5.7 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de agosto.

Día	Ago-04	Ago-04	Ago-04	Ago-04	Ago-05	Ago-05	Ago-05	Ago-05	Ago-06	Ago-06	Ago-06	Ago-06
1			04_40:00_60	09_40:07_50								
2					01_60		01_40	01_40				22_50
3				00_90					21_60		22_40:01_50	22_40:02_90
4							23_60		00_60		01_40	00_90
5							00_40:10_40	04_40				
6						20_40		22_50	04_50			19_60
7					03_90	18_40:19_40	03_40				00_60	02_60
8			01_50:02_50					17_40				
9				02_50:22_50		00_50	05_60		00_50		23_40	
10									06_50:04_60	19_40		
11				22_40		06_40:07_40		07_50	12_40:09_50			
12			22_60		02_50		08_60		23_60			
13						07_50:22_50	22_40:23_40:00_60					21_50
14			05_40:10_50:08_60		00_40			01_40	01_40	21_50		
15									04_50:02_60			
16			23_50				23_40				02_40	
17			21_40	22_50:07_60	02_40:08_40		04_40	02_60		01_50:08_50:20_60		
18						00_40	01_60	01_40			21_50:03_60	04_50
19						19_60	01_40	22_50			00_60	
20				08_40				19_60		22_40:01_60		
21							22_40		02_60			
22					05_60	21_40			00_40			
23			01_60	02_40:00_90					01_90		23_60	
24			00_40:01_60	00_60				00_50		03_60		01_40:19_50
25					23_60			01_40:04_40		00_40		01_40
26			01_50	22_90	04_50			02_40		22_40		
27						21_40		02_40:05_40:19_50				23_40
28					22_50				06_40:08_60	21_50	22_40:21_50	11_40:22_50:23_60
29					21_50						23_60	22_60
30						02_40:03_50			02_60		04_50	02_50:03_60:05_90
31										20_50		

Tabla A.5.8 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de septiembre.

Día	Sep-04	Sep-04	Sep-04	Sep-04	Sep-05	Sep-05	Sep-05	Sep-05	Sep-06	Sep-06	Sep-06	Sep-06
1		23_40	03_60:04_60									
2			22_50							02_60	03_60:23_60	21_40:00_50:22_90
3											00_40	12_40:01_50
4						05_90	11_40	06_40:07_40:21_50		00_40		
5			03_40:16_50		01_60		02_60	21_90		23_50:00_60		
6					01_60	19_60				02_60		23_50
7		22_50					01_60	00_90	00_40	20_50:11_60		09_60
8		01_50									12_60	
9						20_60				23_40		
10						23_90						
11										22_40		22_40
12						22_90				20_60		22_50
13	21_50		22_40									
14												
15						21_90		23_60				
16	01_60						23_40			18_40:16_60		
17		02_60		06_50:02_90					02_60:01_60			
18			23_60	21_40						22_50		
19		09_60	04_40:01_50	07_60								
20		22_40										
21												
22												
23				04_60								
24												
25			20_50									
26											00_40	
27												
28												
29												
30												
31												

Tabla A.5.9 Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de octubre.

Día	Oct-04	Oct-04	Oct-04	Oct-04	Oct-05	Oct-05	Oct-05	Oct-05	Oct-06	Oct-06	Oct-06	Oct-06
1									02_40			
2												
3		21_40				02_60		01_40		01_40		
4				00_40:21_60								
5												
6					01_60							
7					03_40	22_60	02_40					
8											01_60:15_60	
9		22_40										
10												00_40
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22			09_60									
23	04_50		16_40	05_40:07_60								
24	15_50:21_50:02_60	12_40	09_40:19_50:20_50:21_90	07_60					02_40:10_40:11_40:17_40:19_60	23_40	15_40:11_50:12_50	01_60
25	02_40:03_40:12_40:04_50:20_60		19_90	04_40						13_40:00_60:02_60		04_60
26	13_50:17_50:21_50		23_40						02_40:01_50			
27												
28												
29												
30			19_40:23_50									
31		19_40:12_60		07_40:22_40								

A.6 TABLAS DE COBERTURA NUBOSA PARA LOS DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA, SOBRE LAS TORMENTAS DE ESTUDIO DE QUERÉTARO.

Tabla A.6.1 Cobertura nubosa para el rango de temperatura > 90 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalo de tiempo de 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2	TORMENTA 3 Área de cobertura en km2	TORMENTA 4 Área de cobertura en km2
1	0.00	0.00	475.54	0.00
2	0.00	0.00	72.51	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	45.72	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	101.35	0.00	0.00	0.00
9	606.38	0.00	0.00	0.00
10	1015.78	0.00	0.00	0.00
11	1753.95	0.00	13.90	0.00
12	2058.34	0.00	0.00	0.00
13	4551.65	0.00	0.00	0.00
14	5286.30	0.00	0.00	328.20
15	5964.82	0.00	0.00	0.00
16	4287.71	43.46	0.00	445.05
17	5445.18	328.50	0.00	0.00
18	3787.13	725.77	0.00	808.90
19	4678.16	1365.69	0.00	0.00
20	3908.54	1447.32	0.00	3934.21
21	4684.94	662.90	0.00	4872.26
22	3079.44	179.02	6926.77	6051.13
23	3668.58	194.44	7940.35	7391.81
24	2093.31	773.47	8944.34	9132.17
25	2036.64	2788.91	7632.52	28001.33
26	1162.65	1203.98	17839.14	19156.40
27	983.36	354.75	18224.30	18244.40
28	1900.27	550.00	20050.61	16743.25
29	955.17	219.97	16690.04	16016.38
30	884.06	0.00	3939.65	15260.65
31	2257.47	0.00	1117.67	14309.13
32	4959.54	0.00	0.00	8985.97
33	9172.42	0.00	0.00	6057.41
34	7760.44	0.00	0.00	4482.11
35	2459.41	0.00	0.00	0.00
36	181.99	0.00	0.00	0.00
37	572.99	0.00	0.00	0.00

Tabla A.6.2 Cobertura nubosa para el rango de temperatura -70°C a - 90 °C, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2	TORMENTA 3 Área de cobertura en km2	TORMENTA 4 Área de cobertura en km2
1	0.00	0.00	8704.56	0.00
2	0.00	0.00	3952.56	0.00
3	0.00	0.00	3285.58	0.00
4	0.00	0.00	2274.47	0.00
5	46.29	0.00	1769.96	17.88
6	654.78	0.00	1137.97	53.99
7	942.70	0.00	575.86	709.85
8	3277.61	0.00	527.44	870.25
9	1410.31	0.00	0.00	1352.58
10	4408.50	0.00	0.00	1410.67
11	5318.69	3116.23	373.84	1014.36
12	5673.04	26.90	0.00	693.09
13	8242.52	517.71	0.00	5710.43
14	8942.22	582.38	0.00	4935.17
15	10266.94	587.43	0.00	553.75
16	11237.81	932.15	0.00	2198.09
17	15140.07	3148.35	0.00	1113.48
18	16698.88	0.00	0.00	5507.25
19	21205.70	2521.36	0.00	5641.09
20	21142.02	3258.67	0.00	12338.68
21	20924.97	3634.02	7026.35	10920.13
22	20017.99	4198.46	11437.91	13549.67
23	20385.84	5044.60	16783.31	14360.25
24	18221.71	6168.76	20281.61	15916.07
25	15845.85	11725.53	20242.59	53746.74
26	11938.83	10956.79	36963.17	40048.08
27	10076.43	9808.85	45692.44	38418.13
28	9662.89	7433.05	72471.13	34615.40
29	6575.01	5972.81	61405.75	31511.76
30	6378.09	4020.57	32236.15	29331.19
31	8822.39	2845.30	22328.75	30947.71
32	11048.14	294.01	0.00	26014.13
33	16712.95	419.20	0.00	24550.17
34	15157.94	180.28	0.00	18679.69
35	14616.83	0.00	0.00	0.00
36	16041.54	0.00	0.00	0.00
37	16487.38	0.00	0.00	0.00

Tabla A.6.3 Cobertura nubosa para el rango de temperatura -32°C a - 50 °C, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2	TORMENTA 3 Área de cobertura en km2	TORMENTA 4 Área de cobertura en km2
1	0.00	0.00	39614.26	0.00
2	0.00	0.00	33243.53	0.00
3	0.00	0.00	33497.16	0.00
4	0.00	0.00	33396.95	924.02
5	0.00	0.00	32236.88	1123.45
6	0.00	0.00	34824.33	1783.57
7	2664.61	0.00	30306.90	5381.33
8	3503.21	0.00	25471.18	5499.46
9	7168.25	0.00	11903.45	6166.72
10	8815.76	0.00	11002.63	6878.13
11	10557.19	40304.86	8289.26	7791.43
12	12699.42	1490.25	7918.31	9090.62
13	14879.11	1402.13	1890.26	37095.67
14	16542.76	1720.78	1021.30	21270.02
15	17916.98	2077.93	683.37	9419.48
16	19389.63	2501.01	651.54	8149.73
17	33611.29	5100.16	656.54	7871.82
18	38530.82	5152.74	641.28	18245.99
19	41084.84	6087.01	0.00	32753.93
20	42133.96	6558.37	365.43	43963.30
21	44356.41	7243.70	15231.48	34752.34
22	45999.06	8789.76	17904.10	38433.47
23	42164.02	12014.23	26810.04	39123.16
24	42038.96	17224.93	36962.70	40310.02
25	40269.61	26674.06	36287.99	114632.99
26	39051.57	31173.44	65826.34	88700.91
27	37819.75	32202.96	81028.33	86277.25
28	32188.24	30231.94	179771.59	83628.70
29	29149.50	30358.70	168587.55	80527.53
30	26576.45	28546.73	188892.45	78636.01
31	25466.88	27534.90	71990.79	75472.72
32	25080.48	13000.12	0.00	68191.70
33	23043.68	10758.37	0.00	64274.62
34	20754.77	4058.34	0.00	56203.80
35	22300.67	2101.13	0.00	0.00
36	23857.64	0.00	0.00	0.00
37	25591.38	0.00	0.00	0.00

Tabla A.6.4 Longitud de la diagonal menor para las tormentas de estudio de Querétaro.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Longitud del eje menor en km	TORMENTA 2 Longitud del eje menor en km	TORMENTA 3 Longitud del eje menor en km	TORMENTA 4 Longitud del eje menor en km
1	54.74	0.00	156.94	86.09
2	65.76	0.00	185.88	73.02
3	100.28	0.00	180.26	90.06
4	104.33	0.00	199.48	72.39
5	103.92	183.30	188.96	81.53
6	111.08	29.27	233.36	99.83
7	114.59	40.89	130.67	96.50
8	125.00	38.41	126.81	86.77
9	134.36	42.80	92.58	109.22
10	116.72	45.99	81.62	98.91
11	130.85	48.24	64.34	93.86
12	130.61	58.06	64.32	87.17
13	194.71	87.56	35.86	124.89
14	194.32	92.78	132.36	140.59
15	201.55	89.25	143.69	166.97
16	183.12	105.76	219.78	132.08
17	181.67	108.63	190.21	259.01
18	186.13	96.09	190.35	264.67
19	177.84	210.08	264.56	278.32
20	164.34	193.95	270.96	312.04
21	152.47	169.11	431.24	217.48
22	140.79	163.73	427.86	189.84
23	133.54	165.37	594.92	259.45
24	95.61	168.59	224.64	261.81
25	102.71	179.87	0.00	206.82
26	137.74	97.96	0.00	106.65
27	146.20	92.93	0.00	131.64
28	128.82	75.96	0.00	151.85
29	137.37	38.73	0.00	262.81
30	140.34	0.00	0.00	95.46
31	157.76	0.00	0.00	255.33
32	0.00	0.00	0.00	102.62

A.7 TABLAS DE COBERTURA NUBOSA PARA LOS DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA, SOBRE LAS TORMENTAS DE ESTUDIO DEL NOROESTE.

Tabla A.7.1 Cobertura nubosa para el rango de temperatura > 90 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2
1	6016.80	0.00
2	26557.14	0.00
3	43347.35	7085.16
4	50280.51	1106.44
5	58917.60	0.00
6	57176.27	0.00
7	68511.96	0.00
8	70594.53	0.00
9	66941.67	0.00
10	77885.22	0.00
11	59345.83	0.00
12	51728.21	0.00
13	53628.13	0.00
14	80292.46	0.00
15	92191.55	186.45
16	90863.14	0.00
17	101174.88	743.18
18	101448.52	4481.87
19	98623.06	7104.66
20	100201.87	16083.61
21	91963.71	24209.43
22	0.00	35124.47
23	0.00	39053.60

Tabla A.7.2 Cobertura nubosa para el rango de temperatura -70°C a - 90 °C, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.

Intervalos de tiempo a cada 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2
1	56845.86	0.00
2	99660.15	0.00
3	123380.52	33999.96
4	139516.84	30804.28
5	141420.44	32536.22
6	138721.14	30806.24
7	136732.26	16608.74
8	131099.08	3156.49
9	138752.98	2857.95
10	161285.77	2192.11
11	121685.67	290.24
12	124956.33	394.18
13	118237.13	611.80
14	146312.56	1559.31
15	153303.81	6141.15
16	149843.19	12629.92
17	157475.08	20074.93
18	170891.26	34275.78
19	173476.65	38330.53
20	158215.48	54083.32
21	151844.79	64852.56
22	0.00	78969.90
23	0.00	84413.81

Tabla A.7.3 Cobertura nubosa para el rango de temperatura -32°C a - 50 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.

Intervalos de tiempo de 15 minutos	TORMENTA 1 Área de cobertura en km2	TORMENTA 2 Área de cobertura en km2
1	145968.54	0.00
2	209565.44	0.00
3	253624.06	135115.18
4	269599.30	99822.03
5	286818.96	104931.73
6	299590.57	106557.12
7	215001.78	96174.12
8	218934.47	88147.73
9	229001.11	87865.40
10	299793.50	81595.06
11	215315.90	84062.24
12	201936.73	93969.97
13	206725.22	97035.44
14	294322.53	94876.74
15	274375.96	78285.46
16	272074.60	84263.02
17	281348.44	91843.31
18	327360.69	95901.76
19	328263.98	106111.80
20	313625.07	133495.34
21	301919.93	154661.09
22	0.00	168511.20
23	0.00	194368.77

Tabla A.7.4 Longitud de la diagonal menor para las tormentas de estudio del Noroeste.

Intervalos de tiempo de 15 minutos	TORMENTA 1 Longitud del eje menor en km	TORMENTA 2 Longitud del eje menor en km
1	455.85	0.00
2	529.00	0.00
3	631.64	326.53
4	568.52	352.57
5	640.61	350.11
6	641.47	370.46
7	448.14	312.26
8	477.04	330.12
9	508.89	336.01
10	637.48	341.56
11	463.41	316.35
12	456.34	338.86
13	500.55	352.22
14	596.05	360.00
15	485.84	266.62
16	683.67	271.60
17	702.43	246.26
18	853.05	238.72
19	439.30	259.74
20	461.66	265.55
21	500.00	284.58
22	0.00	344.97
23	0.00	355.03

A.8 RELACIÓN DE FIGURAS UTILIZADAS.

No	DESCRIPCIÓN
Figura 2.1	Tamaño relativo (diámetro) de los núcleos de condensación, gotas de nube y gotas de lluvia. (Inzunza, 2003).
Figura 2.2	Nube Cirrus.
Figura 2.3	Nube Stratus.
Figura 2.4	Nube Cúmulos.
Figura 2.5	Modelo de evolución de una tormenta ordinaria de acuerdo a Byers-Braham. Byers-Braham, (1949) y Arellano (2008)).
Figura 2.6	Formación de Lluvias orográficas (Lorente, 1961).
Figura 2.7	Formación de Frentes (Monsalve, 1999).
Figura 3.1	Formación de Ciclones y Anticiclones (Lorente, 1961).
Figura 4.3	Identificación de polígonos, diagonales y temperaturas.
Figura 4.4	Localización de Querétaro (INEGI, 2000).
Figura 4.5	Regiones Hidrológicas (INEGI, 2000).
Figura 4.6	Tipos de Climas. (INEGI, 2000).
Figura 4.7	Localización de la EMA para la región de estudio de Querétaro.
Figura 4.8	Hietograma promedio de la tormenta para 50 minutos de duración de julio, EMA Huimilpan.
Figura 4.9	Hietograma promedio de la tormenta para 60 minutos de duración de julio, EMA Huimilpan.
Figura 4.10	Imágenes analizadas de la tormenta del día 8 de julio del 2005 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.11	Coberturas nubosas de la tormenta del día 8 de julio del 2005 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.12	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 8 de julio del 2005 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.13	Coberturas nubosas de la tormenta del día 18 de julio del 2005 ocurrido a las 23:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.14	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 18 de julio del 2005 ocurrido a las 23:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.15	Coberturas nubosas de la tormenta del día 30 de julio del 2006 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.16	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 30 de julio del 2006 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.17	Coberturas nubosas de la tormenta del día 25 de julio del 2005 ocurrido a las 19:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.18	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 25 de julio del 2005 ocurrido a las 19:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.19	Coberturas nubosas de las tormentas de estudio de Querétaro en los diferentes rangos de temperaturas de brillo.
Figura 4.20	Gráfica de las diagonales mayores y menores de las tormentas de estudio de Querétaro.
Figura 4.21	Curvas de estadísticos para las coberturas nubosas en cada rango de temperatura de las tormentas de estudio de Querétaro.
Figura 4.22	Gráfica de estadísticos de las diagonales mayores y menores de las tormentas de estudio de Querétaro.
Figura 4.23	Mapa Geológico Sinaloa, 2000. (INEGI).
Figura 4.24	Mapa Climático Sinaloa, 2000. (INEGI).
Figura 4.25	Mapa de Cuerpos de Agua Sinaloa, 2000. (INEGI).
Figura 4.26	Mapa de Vegetación Sinaloa, 2000. (INEGI).
Figura 4.27	Mapa Climático Sonora, 2000. (INEGI).
Figura 4.28	Mapa de Cuerpos de Agua Sonora, 2000. (INEGI).
Figura 4.29	Localización de las EMAS para la región de estudio del noroeste.
Figura 4.31	Hietograma promedio de la tormenta para 50 minutos de duración de julio, EMA Chinatú.
Figura 4.32	Imágenes analizadas de la tormenta del día 22 de julio del 2004 ocurrido a las 5:00 a.m. con duración de 50 minutos.
Figura 4.33	Coberturas nubosas de la tormenta del día 22 de julio del 2004 ocurrido a las 5:00 a.m. con duración de 50 minutos.
Figura 4.34	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 22 de julio del 2004 ocurrido a las 5:00 a.m. con duración de 50 minutos.
Figura 4.35	Coberturas nubosas de la tormenta del día 22 de julio del 2005 ocurrido a las 18:00 p.m. con duración de 50 minutos.
Figura 4.36	Gráfica de diagonales de la tormenta del día 22 de julio del 2005 ocurrido a las 18:00 p.m. con duración de 50 minutos.
Figura 4.37	Coberturas nubosas de las tormentas de estudio del Noroeste en los diferentes rangos de temperaturas de brillo.
Figura 4.38	Gráfica de las diagonales mayores y menores de las tormentas de estudio del Noroeste.
Figura 4.39	Curvas de estadísticos para las coberturas nubosas en cada rango de temperatura de las tormentas de estudio del Noroeste.
Figura 4.40	Gráfica de estadísticos de las diagonales mayores y menores de las tormentas de estudio del Noroeste.
Figura 4.41	Imágenes analizadas de la tormenta del día 18 de julio del 2005 ocurrido a las 23:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.42	Imágenes analizadas de la tormenta del día 30 de julio del 2006 ocurrido a la 1:00 a.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.43	Imágenes analizadas de la tormenta del día 25 de julio del 2005 ocurrido a las 19:00 p.m. con duración de 60 minutos.
Figura 4.44	Imágenes analizadas de la tormenta del día 22 de julio del 2005 ocurrido a las 18:00 p.m. con duración de 50 minutos.

A.9 RELACIÓN DE TABLAS UTILIZADAS.

No	DESCRIPCIÓN
Tabla 2.1	Géneros de nubes.
Tabla 2.2	Clasificación de Nubes. (<i>Inzunza, 2003</i>)
Tabla 3.1	Escalas meteorológicas (Adaptado de Orlanski, 1975)
Tabla 4.2.1	Distribución de uso de suelo en Querétaro.
Tabla 4.2.2	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de julio. (EMA) Huimilpan
Tabla 4.2.3	Clasificación de tormentas con duraciones de estudio para el mes de julio. (EMA) Huimilpan
Tabla 4.2.4	Lista de tormentas con duración de 50 minutos.
Tabla 4.2.4.1	Lista de tormentas con duración de 60 minutos
Tabla 4.2.5	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de julio.
Tabla 4.2.6	Características de cobertura al momento de la precipitación.
Tabla 4.2.7	Cobertura nubosa para el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla 4.2.8	Longitudes de las diagonales mayores para las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla 4.2.9	Estadísticos de coberturas nubosas en el rango de temperaturas - 50 °C a - 70 °C, para las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla 4.2.10	Clasificación de tormentas con duraciones de estudio para el mes de julio. (EMA) Chinatú
Tabla 4.2.11	Lista de tormentas con duración de 50 minutos.
Tabla 4.2.12	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de julio.
Tabla 4.2.13	Características de cobertura al momento de la precipitación.
Tabla 4.2.14	Cobertura nubosa para el rango de temperatura - 50 °c a - 70 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.
Tabla 4.2.15	Longitudes de las diagonales mayores para las tormentas de estudio del Noroeste.
Tabla 4.2.16	Estadísticos de coberturas nubosas en el rango de temperaturas - 50 °C a - 70 °C, para las tormentas de estudio.
Tabla A.1.1	Características de cobertura al momento de la precipitación.
Tabla A.1.2	Características de la tormenta al momento de la precipitación.
Tabla A.1.3	Características de la tormenta al momento de la precipitación.
Tabla A.2.1	Características de cobertura al momento de la precipitación.
Tabla A.3.1	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Huimilpan
Tabla A.3.2	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Huimilpan
Tabla A.3.3	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Huimilpan
Tabla A.3.4	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Huimilpan
Tabla A.4.1	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Chinatú.
Tabla A.4.2	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Chinatú.
Tabla A.4.3	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Chinatú.
Tabla A.4.4	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Chinatú.
Tabla A.5.1	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de junio. (EMA) Urique.
Tabla A.5.2	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de julio. (EMA) Urique.
Tabla A.5.3	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de agosto. (EMA) Urique.
Tabla A.5.4	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de septiembre. (EMA) Urique.
Tabla A.5.5	Clasificación de tormentas para diferentes duraciones del mes de octubre. (EMA) Urique.
Tabla A.5.6	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de junio.
Tabla A.5.7	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de agosto.
Tabla A.5.8	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de septiembre.
Tabla A.5.9	Organización de las duraciones de las tormentas típicas máximas del mes de octubre.
Tabla A.6.1	Cobertura nubosa para el rango de temperatura > 90 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla A.6.2	Cobertura nubosa para el rango de temperatura -70°c a - 90 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla A.6.3	Cobertura nubosa para el rango de temperatura -32°c a - 50 °c, sobre las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla A.6.4	Longitudes de las diagonales menores para las tormentas de estudio de Querétaro.
Tabla A.7.1	Cobertura nubosa para el rango de temperatura > 90 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.
Tabla A.7.2	Cobertura nubosa para el rango de temperatura -70°c a - 90 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.
Tabla A.7.3	Cobertura nubosa para el rango de temperatura -32°c a - 50 °c, sobre las tormentas de estudio del Noroeste.
Tabla A.7.4	Longitudes de las diagonales menores para las tormentas de estudio del Noroeste.