

# **Detección de una tormenta severa ocurrida en Aguascalientes, para la aplicación en el pronóstico meteorológico mediante datos de GFS**

María Elena Bravo<sup>1\*</sup>, María Virginia Mezo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, Armada de México.

Calle Xicoténcatl s/n Fracc. Faros C.P. 91700, edificio Venustiano Carranza, Veracruz, México.

\*marielena.bravo.gasca@gmail.com

## **Resumen**

Se documenta una tormenta considerada como “severa”, detectada mediante los datos del modelo GFS, la cual fue registrada el 19 de junio de 2018, alrededor de las 19 hrs local, provocando daños importantes a la población de Aguascalientes, Ags., un lugar en su mayoría con clima seco y semiseco. Aquí las lluvias son escasas y se presentan especialmente durante el verano, ocasionando que la detección de ese tipo de tormentas convectivas sea una tarea compleja que requiere de conocimientos teóricos de las técnicas actuales de pronóstico disponibles y de las herramientas para la detección temprana de estos eventos. Estos pueden llegar a gestarse rápidamente poniendo en riesgo a la población y a sus actividades económicas en cuestión de minutos, como en el caso de la tormenta analizada en este trabajo.

Se emplea la información del modelo GFS con la salida de las 12Z, con el propósito de evaluar: el pronóstico de precipitación acumulada en 24 horas, el pronóstico de precipitación trihoraria, el viento, la humedad relativa, los valores de temperatura, temperatura potencial equivalente, así como la configuración de la convergencia, divergencia y ascensos ageostróficos en el transcurso del día del evento. Además, se analizaron los valores del contenido de agua precipitable mostrados en el modelo y se compararon con el valor mostrado en el sondeo de Guadalupe, Zacatecas, correspondiente a las 12Z. Para verificar el desempeño de la salida del modelo con respecto a la evolución de la tormenta, se emplearon imágenes satelitales del Servicio Meteorológico Nacional en canal infrarrojo, visible y vapor de agua, registros del CIMSS e información de los reportes METAR.

El resultado del análisis individual de las variables meteorológicas, para la detección de la tormenta severa en Aguascalientes mediante los datos del modelo GFS, representó una buena aproximación de las condiciones reales del evento, lo que permitió detectar a la tormenta severa registrada en la ciudad con antelación. Sin embargo, el pronóstico de la precipitación acumulada en tres horas fue menor a 20 mm, subestimando la precipitación de 56.2 mm registrada en menos de una hora, por lo que se demuestra la utilidad del análisis individual de las variables meteorológicas mediante el modelo, utilizando un método de pronóstico ordenado.

Palabras Claves: Tormenta severa, modelo GFS, pronóstico meteorológico.

## **Abstract**

A storm considered as “severe” is documented. It was detected by the data of the GFS model, registered on June 19, 2018 around 19:00 local time, causing significant damage to the population in Aguascalientes city. This area has a dry and semi-dry climate, where rains are scarce and occur especially during the summer, causing that the detection of this type of convective storms is a complex task, which requires theoretical knowledge, current forecasting techniques available and of the tools that reinforce the early detection of these events. They quickly develop, putting the population and their economic activities at risk in a matter of minutes, as in the case of the storm analyzed in this paper.

The information from the GFS model is used with the 12Z output, in order to evaluate the accumulated precipitation forecast in 24 hours, the tri-hour precipitation forecast, wind, relative humidity, temperature values, equivalent potential temperature, as well as the configuration of the convergence, divergence and ageostrophic ascents during the day of the event. In addition, the values of the precipitable water content shown in the model were analyzed and compared with the value shown in the Guadalupe sounding in Zacatecas, corresponding to 12Z. To verify the performance of the model output with respect to the evolution of the storm, satellite images were used in infrared, visible and water vapor channels, CIMSS records and information from METAR reports.

The result of the individual analysis of the meteorological variables for the detection of the severe storm in Aguascalientes, through the data of the GFS model, represented a good approximation to the real conditions of the event, which allowed to detect the severe storm registered in the city in advance. However, the forecast of accumulated precipitation in three hours was less than 20 mm, underestimating the 56.2 mm precipitation recorded in less than one hour, but demonstrating the usefulness of individual analysis of meteorological variables through the model, using an ordered forecasting method.

**Keywords:** Severe storm, GFS model, Weather forecasting.

## Introducción

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), una tormenta se refiere a una o más descargas repentinas de electricidad que se manifiestan a través de relámpagos y truenos, sin embargo, cuando a este tipo de fenómenos hidrometeorológicos se le asocian daños materiales importantes, muertes o ambos, se convierte en una tormenta severa (Prieto et al., 2010).

Actualmente existen varias definiciones acerca de lo que significa este término y que pueden considerarse como oficiales, entre las cuales destacan las del Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos (NWS, por sus siglas en inglés), el cual la define como aquella que es capaz de producir tornados, vientos de 25.7 m/s o más o granizo de un diámetro mínimo de 25 mm y la de la OMM, misma que la describe como aquella que es capaz de producir condiciones atmosféricas peligrosas que producen al menos uno de los siguientes eventos: vientos de 25 m/s o más, granizo de 25 mm de diámetro o más, lluvias de 50 mm o más por hora y la presencia de tornados o trombas marinas. Sin embargo, estas definiciones no deben ser aplicadas directamente en la determinación del pronóstico meteorológico

para todas las regiones que comprenden a la República Mexicana. Por el contrario, deben determinarse aquellas condiciones atmosféricas que, en combinación con las características fisiográficas de la zona, deriven en una tormenta susceptible de considerarse como una tormenta severa, (Mezo, 2020).

Actualmente, la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de México (CGSMN) como organismo oficial encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a nivel nacional, diariamente informa a la población mediante la emisión de avisos y boletines acerca de las condiciones del tiempo. Ellos ofrecen, entre muchos otros, los pronósticos de precipitación y que a lo largo de las horas y dependiendo de los sistemas que las producen, pueden llegar a convertirse en eventos que pongan en riesgo a la población y que azoten puntualmente a una zona específica, derivado en gran medida de las características locales, convirtiéndose de esta manera en una tormenta severa. Así pues, es recomendable la investigación continua a escala local para identificar el posible desarrollo de una tormenta severa y continuar proporcionando a la población información confiable, útil y oportuna, contribuyendo a una adecuada prevención y toma de decisiones.

La presente investigación considera lo anterior y toma en cuenta el análisis de las variables meteorológicas y su evolución del día 19 de junio de 2018, en la ciudad de Aguascalientes, Ags., así como las características orográficas de la misma. Su efecto combinado generó una precipitación de 65.4 mm acumulados y registrados en 24 horas que corresponden al 81.14 % del acumulado de la precipitación normal en el mes de junio, de acuerdo a la climatología de la CGSMN del periodo 1981-2010 de Aguascalientes (Figura 1). Esta tormenta, catalogada como severa, se presentó en horas de la tarde y noche, provocó cortes de energía eléctrica en la zona centro, inundaciones, afectaciones a personas, vehículos, árboles y contenedores de basura pesados arrastrados por la corriente del agua, así como anegaciones y encharcamientos importantes en varios puntos de la ciudad. Fué necesario habilitar albergues temporales y se mantuvo el monitoreo y desfogue de La Presa de los Gringos como medida preventiva.

Dicho evento, fue pronosticado asertivamente por el sistema de predicción global (GFS, por sus siglas en inglés) con un rango de entre 50-75 mm

acumulados en 24 horas (lluvia muy fuerte), sin embargo, el modelo a través de los acumulados trihorarios de precipitación, subestimó la lluvia registrada de 56.2 mm registrados en tan sólo una hora, pronosticando valores que no rebasaron los 20 mm de lluvia tres horas antes y tres horas después del evento. Por ello, el objetivo principal de este trabajo es evaluar la eficiencia de la aplicación del “Método del Embudo”, así como de la temperatura potencial equivalente en combinación con el contenido de agua precipitable, para la identificación del desarrollo de la tormenta en el tiempo, mediante los datos de la salida del modelo GFS, comparando los resultados con información real del evento registrado.

Para la realización de esta investigación, además de los datos del modelo GFS, se utilizaron para la evaluación de los resultados las imágenes satelitales en la banda de vapor de agua, infrarrojo y visible e información oficial de la CGSMN que incluye avisos emitidos y registros de lluvia correspondientes al día del evento, así como los sondeos de la estación 76526 correspondientes a la estación en Zacatecas.

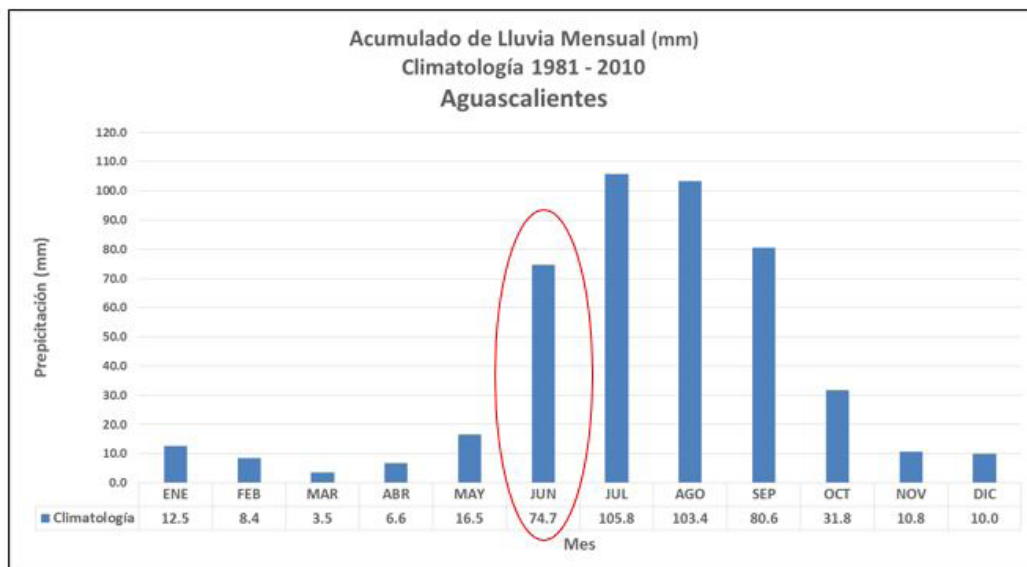


Figura 1. Precipitación normal para Aguascalientes. Latitud: 21°51'01" N y longitud: 102°17'27" W a 1890.8 msnm.

## Metodología

Este análisis se desarrolló para el municipio de Aguascalientes, Ags., entre 21° 37' y 22° 01' latitud norte y 101° 52' y 102° 35' longitud oeste. Se sabe que las lluvias que se registran en el municipio son escasas y se producen principalmente durante la época de verano. La precipitación total anual es de 465.1 mm y la temperatura media anual es de 18.4°C, (climatología 1981-2010 del SMN). Con respecto a la orografía de la zona de estudio, la superficie estatal forma parte de la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central y el Eje Neovolcánico, representando apenas el 0.3% del territorio nacional. La máxima elevación es la Sierra Fría con 3050 msnm y la altura a la que se encuentra la capital del Estado es de 1870 msnm, (INEGI, 2013).

Las imágenes satelitales del GOES-16 utilizadas para el análisis del evento contemplan a la ciudad, mismas que corresponden al canal infrarrojo, vapor de agua y a la banda visible en composición RGB ("color natural") del día 19 de junio de 2018, de las 6 horas hasta las 3 horas del día siguiente. Por otro lado, se utilizaron los datos del Sistema de Pronóstico Global (GFS, por sus siglas en inglés) para el día en cuestión, el cual es un modelo de pronóstico del tiempo generado por el Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés) y que es utilizado por pronosticadores operativos hasta con una ventana de 16 días en el futuro. Este conjunto de datos contiene docenas de variables atmosféricas y terrestres y se ejecuta cuatro veces al día (00z, 06z, 12z y 18z) con un alcance de 192 horas. La salida utilizada corresponde a las 12Z (debido a la asimilación de datos registrados por diversas fuentes de medición en tiempo real) de los días 18 y 19 de junio de 2018.

Así mismo, se revisó el conjunto de imágenes de convergencia, divergencia, cizalladura, vorticidad relativa en 850 hpa, viento en niveles bajos y viento en niveles medios y altos tomados del Instituto Cooperativo de Estudios Meteorológicos por Satélite (CIMSS, por sus siglas en inglés), las

cartas de superficie y niveles mandatorios del Servicio a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) y los reportes del informe de aeródromo meteorológico (METAR, por sus siglas en inglés) del Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos.

El método utilizado para el análisis de los datos es el Método del Embudo (Figura 2), que es el mismo que se recomienda para realizar pronóstico meteorológico operativo de una forma ordenada y respetando el contenido de una lista de control, de acuerdo a Mr. Mike Davison, Director del International Desks del Weather Prediction Center de la NOAA en E.U.A. Este método es una técnica de pronóstico que respeta los fundamentos científicos de la dinámica de la atmósfera, a través de un proceso sistematizado, considerando el análisis de la divergencia en altura, convergencia en niveles bajos, la estabilidad de la columna, los indicadores de tiempo severo, el tipo de convección esperada, el contenido de agua y el mecanismo de disparo de la convección (Rojas, 2020). La importancia de este método, radica en que en un centro de análisis y pronóstico, los meteorólogos operativos independientemente del nivel de su experiencia, puedan llegar a conclusiones similares, a través de un proceso común al evaluar las variables atmosféricas.

## Resultados

### Modelo GFS salida de las 12Z

Los cortes verticales generados a partir de los datos del modelo GFS, con la salida de las 12Z para la ciudad de Aguascalientes, mostraron el acoplamiento en la columna atmosférica de la dinámica que generó la circulación ascendente en la región de estudio. Se observó la señal bien definida a partir de las 17 hrs, sin embargo, la convergencia reflejada en nivel de superficie a 700 hpa, se mantuvo en fase con la divergencia reflejada hasta 150 hpa a las 19 hrs (Figura 3). La misma condición se vio reforzada por ascensos

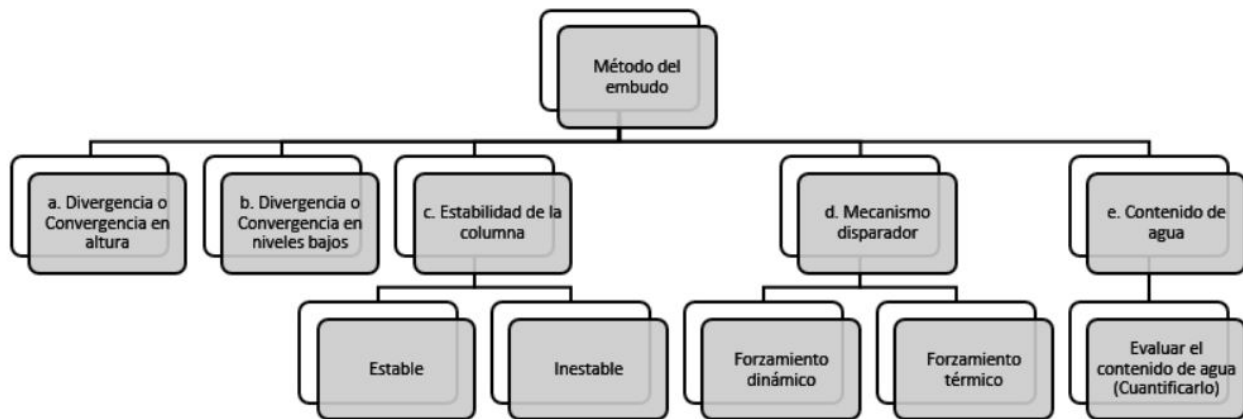


Figura 2. Representación del Método del Embudo.

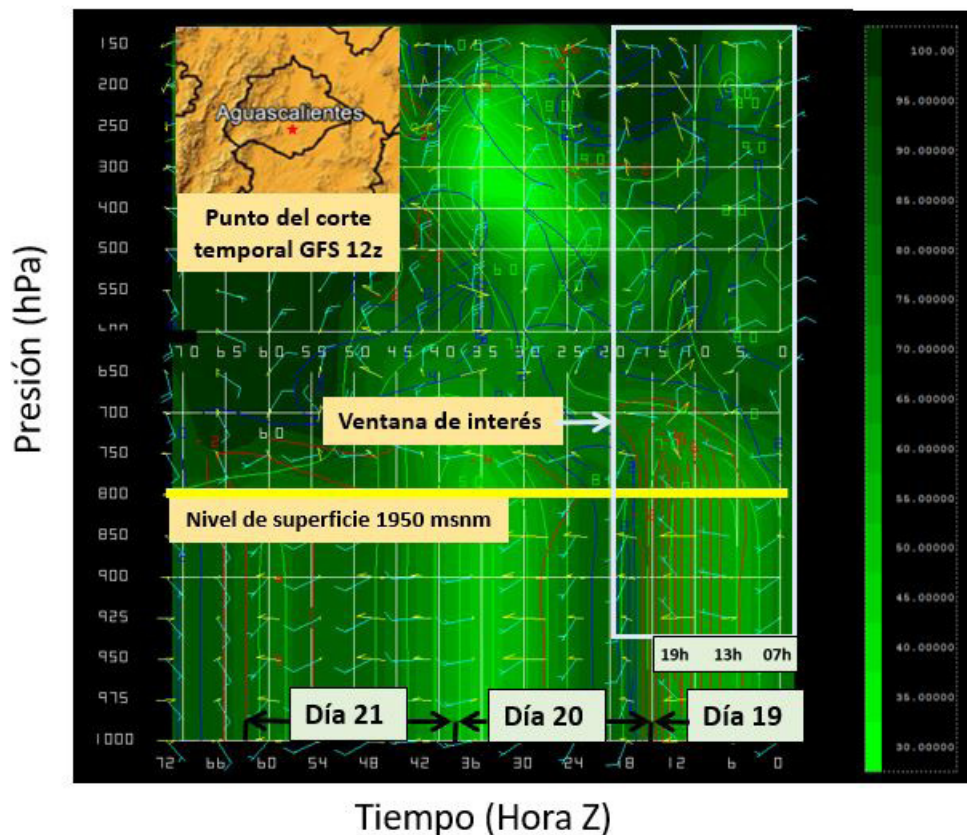


Figura 3. Corte vertical en Aguascalientes con datos del modelo numérico GFS. El gráfico muestra la configuración de la convergencia (rojo), divergencia (azul), dirección e intensidad del viento (barbas de viento), ascensos ageostróficos (flechas) y humedad relativa > 70% (verde) para las 36 hrs de pronóstico del modelo, correspondiente a las 19 hrs del día 19 de junio de 2018.

ageostróficos que evidenciaron fuertes ascensos verticales de aire observados hasta 150 hPa ( $\approx 14$  km), que incluso rebasaron la tropósfera, así como por un alto contenido de humedad relativa que incrementó de 80% en superficie hasta la saturación en niveles altos de la atmósfera. Los cortes indicaron, en el mismo horario, viento predominante del norte y noreste en la columna y mediante la temperatura potencial equivalente, inestabilidad que rebasó el nivel donde se ubicó la isoterma de  $-40^\circ$  ( $>250$  hPa), lo que mostró la condición necesaria para la generación de granizo (Figura 4).

Los sondeos virtuales de las 13 y 19 hrs (Figura 5) indicaron mediante el perfil de viento, el dominio de advección cálida en la columna,

con la presencia de advección fría en la capa de 400-450 hPa, condición que evidenció la inestabilidad durante el día. Además, se observó mediante la configuración de las líneas de temperatura y temperatura de punto de rocío del sondeo, que a partir de las 13 hrs estuvo presente inestabilidad extrema. Esta situación se vio reflejada desde niveles bajos hasta la tropopausa, e incluso la inestabilidad superó este nivel hasta la estratósfera baja a las 19 hrs. Por otro lado, el sondeo a esta hora mostró la presencia de la condición de saturación desde el nivel de condensación por ascenso, hasta el nivel de condensación libre y el movimiento de los sistemas de tormentas de acuerdo a las hodógrafas virtuales en Aguascalientes, que se mantuvo de Este a Oeste.

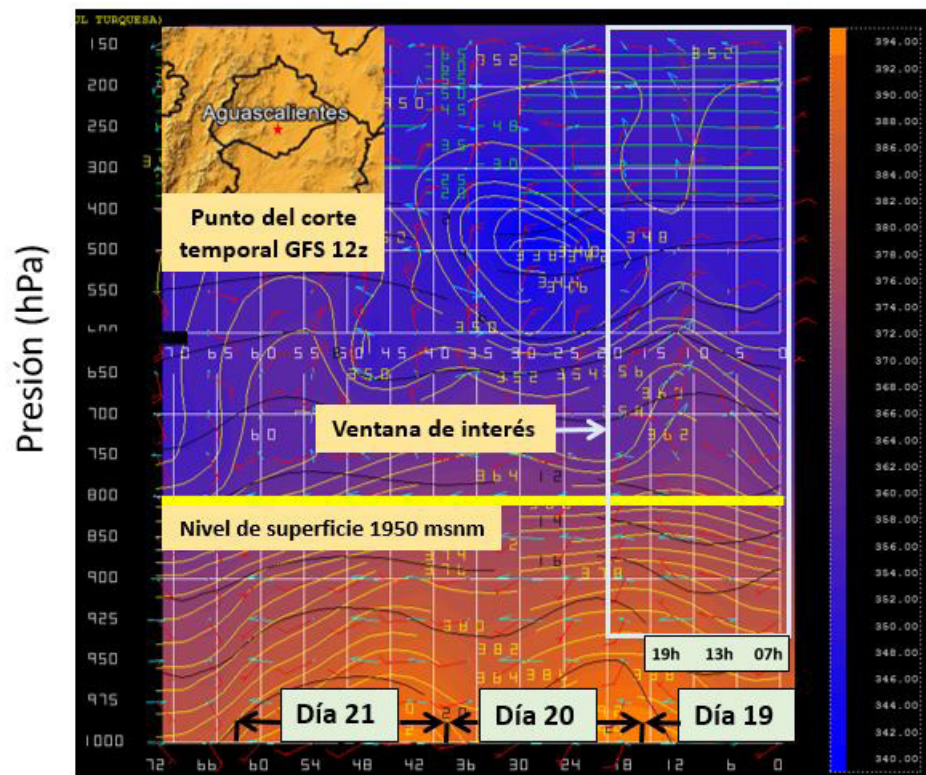


Figura 4. Corte vertical en Aguascalientes con datos del modelo numérico GFS. Grafico muestra la configuración de los ascensos ageostróficos (flechas), temperatura  $< -20^\circ$  (rojo), temperatura potencial equivalente (negro) y la razón de mezcla (verde) para las 36 hrs de pronóstico del modelo, correspondiente a las 19 hrs del día 19 de junio de 2018.

Los montos de lluvia pronosticados por el modelo sugiere que una estación de radiosondeo tiene

Para resaltar tales valores, se anexa a continuación el radiosondeo de la estación de Guadalupe, Zacatecas (Figura 7), que se localiza aproximadamente a 97 km de la ciudad de Aguascalientes y que es representativa de la zona de estudio de acuerdo con la OMM, ya que

El patrón sinóptico pronosticado por el GFS entre las 16 y 19 hrs en nivel de superficie, mostró mediante las líneas de flujo el aporte de humedad del Golfo de México hacia el Estado, debido a la amplia circulación de una baja presión que se localizó en el noreste del país, además

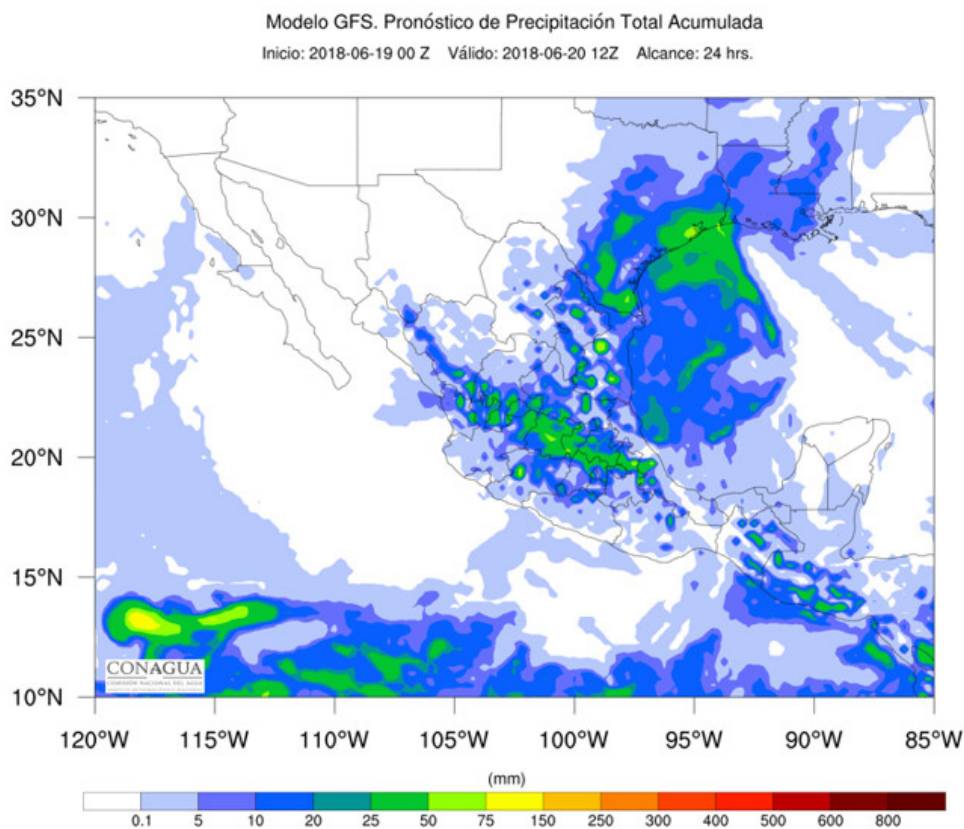


Figura 6. Pronóstico de precipitación total acumulada en 24hrs para el 19 de junio de 2018. Modelo GFS de las 12Z. Tomado del archivo de la CGSMN.

de la presencia de una vaguada desprendida de esta baja presión que favoreció el ascenso en superficie en Aguascalientes. En niveles medios, las líneas de flujo indicaron el reflejo de esta vaguada en superficie, reforzando el ascenso hasta niveles altos de la atmósfera, en donde el modelo pronosticó una amplia zona difluente generada por dos circulaciones anticiclónicas, la primera con centro en el norte de Baja California dominando la región noreste, centro norte y occidente de México y la segunda con centro en Florida, E.U.A. con influencia hasta el noreste de nuestro país.

### Discusión y conclusiones

Las cartas del CIMSS mostraron la presencia de una amplia zona de convergencia sobre la Sierra Madre Occidental durante el día que ocurrió

la tormenta, con valores máximos en la zona de estudio. El acoplamiento con la divergencia en altura tuvo lugar a partir de las cuatro de la tarde, intensificándose alrededor de las 19 hrs (Figura 8), al igual que los valores positivos de vorticidad relativa en 850 hpa, con un máximo a la misma hora. Además, los valores de cizalladura registrados a la hora de la ocurrencia de la tormenta severa oscilaron entre 15 y 20 km/h (Figura 9), mismos que fueron favorables de acuerdo a la simbología del CIMSS para el desarrollo de tormentas en el Estado.

El seguimiento de las imágenes satelitales indicaron que la línea de vaguada al inicio del día no se ubicó sobre la ciudad, permitiendo la ausencia de nubosidad y el calentamiento diurno en la región. La convección dio inicio a partir de las 17 hrs al este de Aguascalientes, cuando el

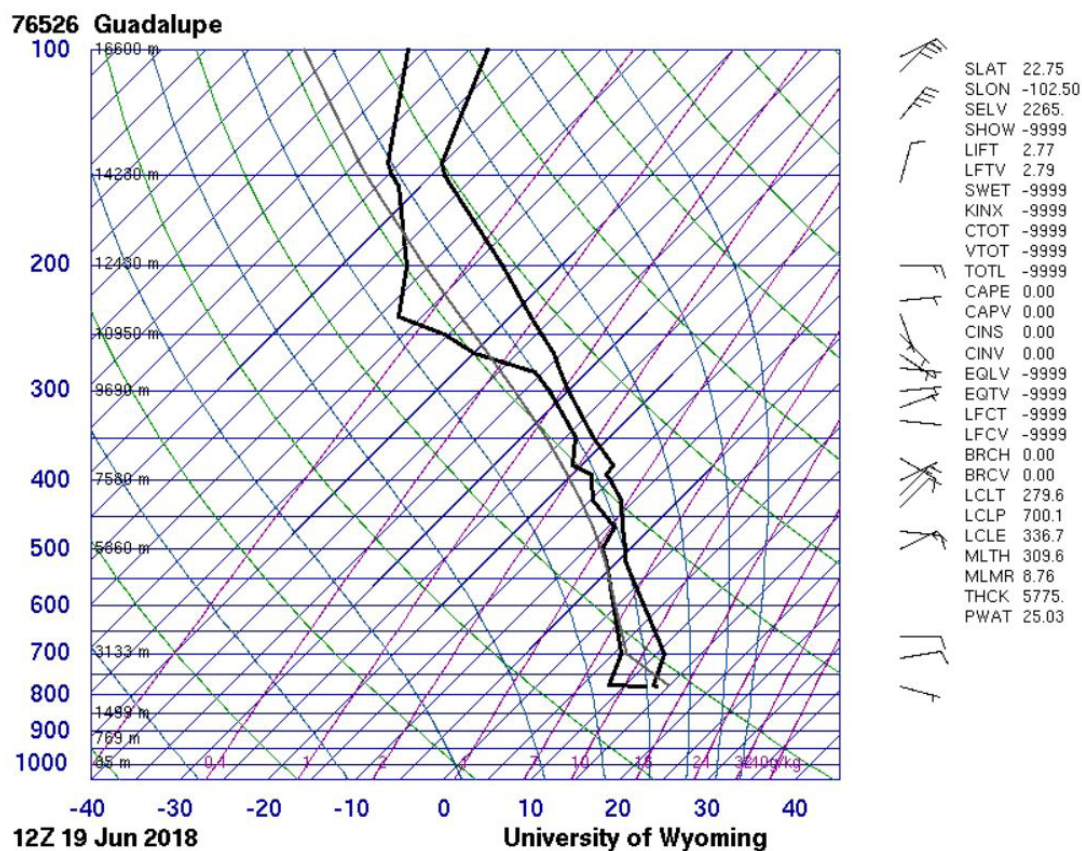


Figura 7. Sondeo de la estación en Guadalupe, Zacatecas de las 12Z (recuperado de <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

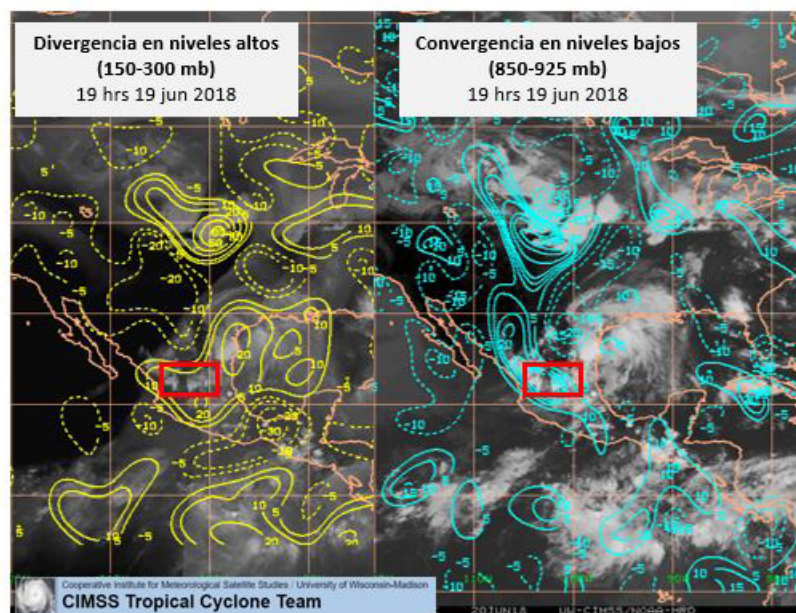


Figura 8. Cartas de divergencia en niveles altos y convergencia en niveles bajos. Tomadas del archivo del CIMSS.

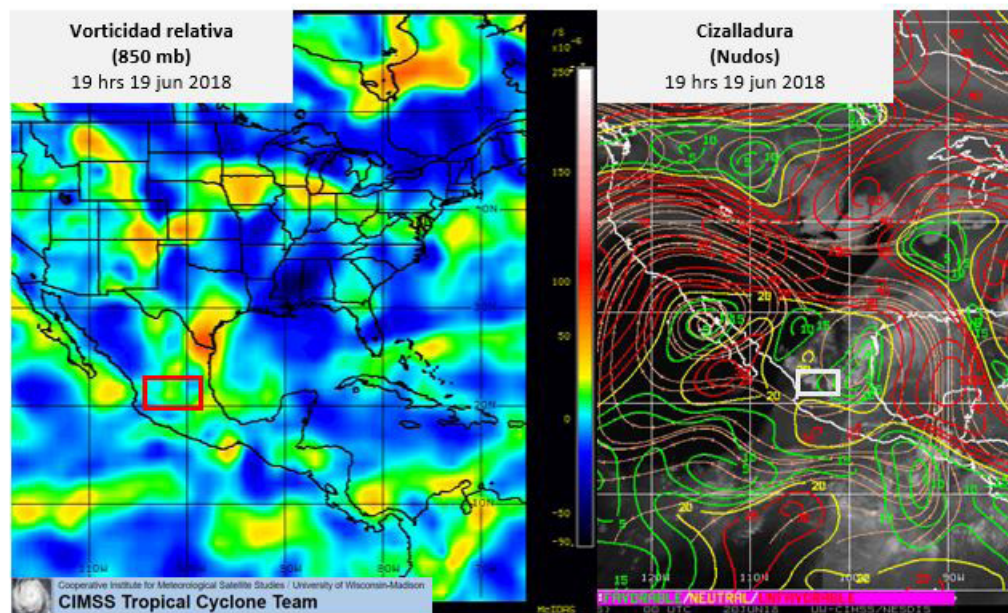


Figura 9. Cartas de vorticidad relativa en 850 mb y cizalladura. Tomadas del archivo del CIMSS.

lado derecho del eje de la vaguada se localizó sobre la zona de estudio, cubriendo al Estado completo en cuestión de minutos.

Una vez iniciado el sistema de tormentas, se observó que los densos núcleos convectivos, se intensificaron entre las 19 y las 20 hrs sobre la ciudad de Aguascalientes, rebasando los 18 km de altura (Figura 10). De acuerdo con información de los reportes METAR y a la red de rayos y tormentas en tiempo real, la formación de la tormenta severa de gran desarrollo vertical se acompañó de vientos de poco más de 30 km/h, fuerte actividad eléctrica y disminución de la visibilidad en menos de 900 m, sobre todo en el radio de alcance de la estación meteorológica del aeródromo y, aunque el territorio de Aguascalientes se considera relativamente poco accidentado, la incidencia del viento del Este sobre la región montañosa del Estado, favoreció la circulación local que generó el fuerte mecanismo de ascenso sobre la ciudad, principalmente a las 19 hrs como lo pronosticó el modelo.

Con respecto a los registros de lluvia (Figura 11), éstos indicaron una precipitación de 56.2 mm en tan solo una hora ( $\approx 19$ -20 hrs), alcanzando los 65.4 mm en el transcurso del resto de la noche del día 19 y madrugada del día 20, ya que se mantuvo convección llana en el Estado durante las horas posteriores al evento, situación que no resolvió favorablemente el modelo GFS, ya que los acumulados trihorarios pronosticados por el mismo de las 19 a las 22 hrs no rebasaron los 20 mm, pero sí se acercaron en el acumulado en 24 hrs.

De lo anterior, se concluye que la tormenta estuvo asociada a valores de agua precipitable por arriba de 30 mm, considerados como significativos para la evolución del evento y se establecen valores de algunos índices de estabilidad y valores de algunas variables que caracterizaron a la tormenta severa del 19 de junio para tomarlos en cuenta a futuro en el proceso del pronóstico local. Además, el análisis indicó que el desarrollo del sistema convectivo, fue sensible

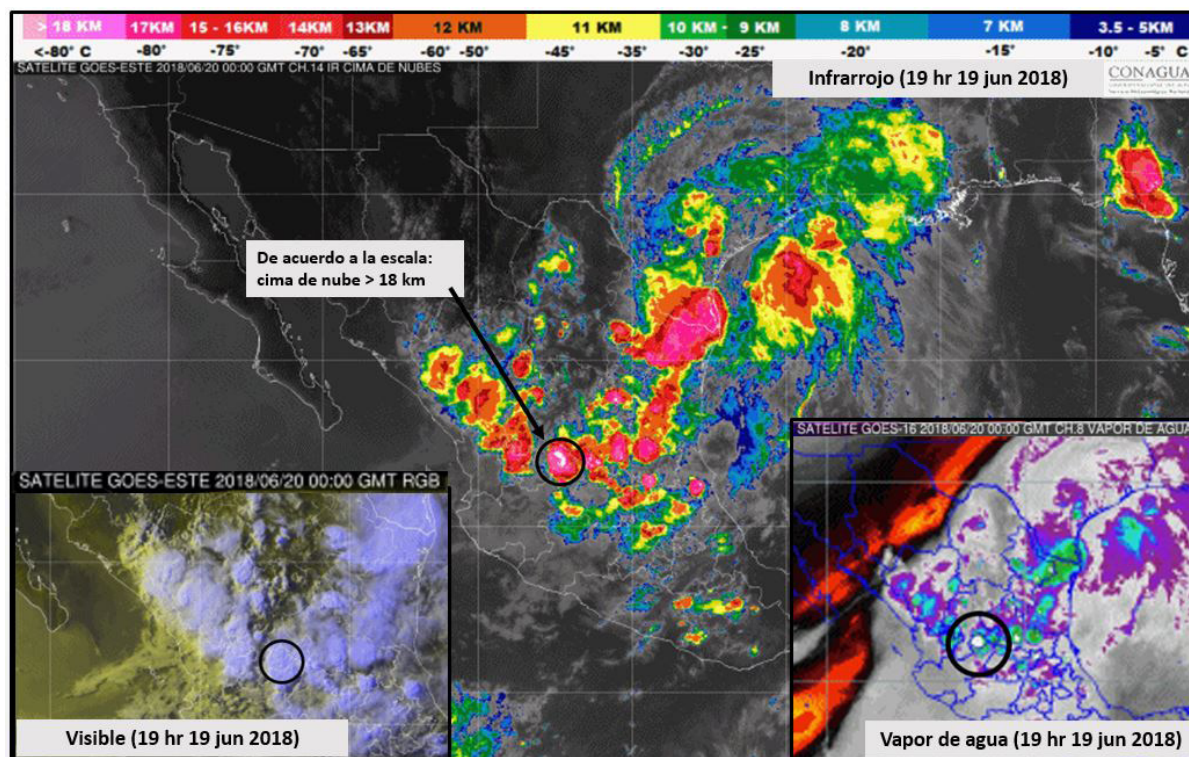


Figura 10. Imágenes satelitales en canal infrarrojo, visible (RGB) y vapor de agua para el 19 de junio de 2018, a las 19 hrs local (máximo detectado del evento). Tomado del archivo de la CGSMN.

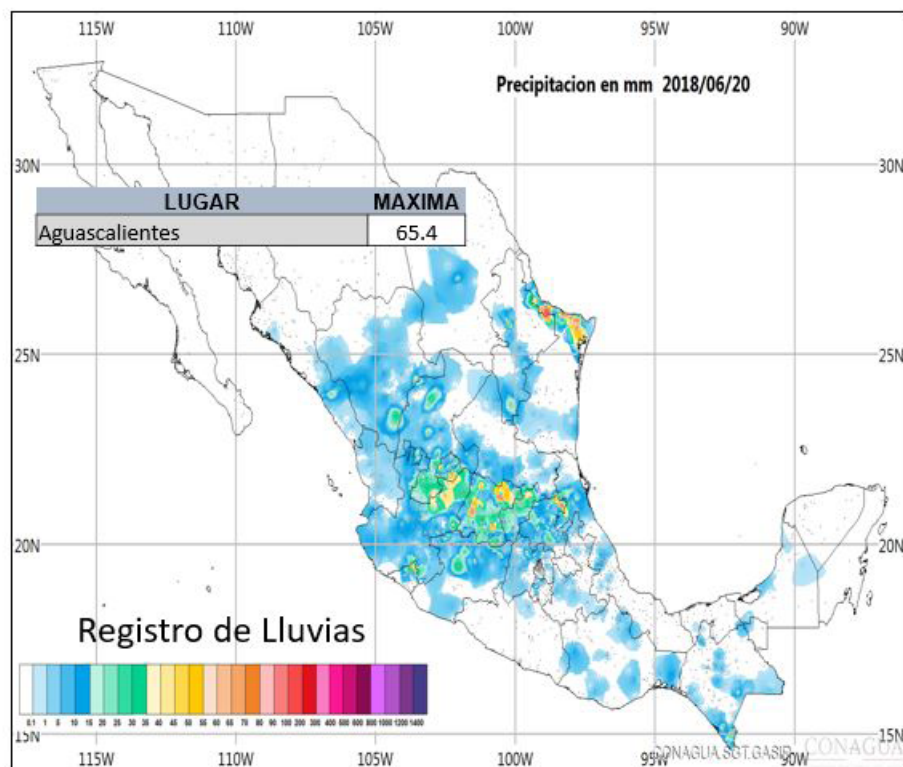


Figura 11. Registro de lluvias de las 08:00 hrs del 19 de junio a las 08:00 del 20 de junio de 2018. Tomado del archivo de la CGSMN.

a la circulación del flujo de viento continuo que incidió perpendicularmente sobre la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico, debido al patrón sinóptico que generó la convergencia en superficie necesaria para la inestabilidad potencial, su acoplamiento con la divergencia en altura y el calentamiento diurno.

Finalmente, se enfatiza que la aplicación del método del embudo en el análisis por variable para la detección de tormentas severas en Aguascalientes, mediante los datos del modelo GFS de las 12Z, representaron una buena aproximación de las condiciones reales del evento analizado. Se recomienda no sólo consultar el pronóstico de lluvia acumulada en 24 hrs, sino tomarlo en cuenta para localizar montos máximos de precipitación y realizar el análisis individual por variables con el fin de localizar temporalmente las señales más significativas y su ubicación de manera local. Si se pretende replicar el experimento hacia otras regiones, se debe tomar en consideración como uno de los primeros pasos en la caracterización de una tormenta, el ajustar los valores de los índices de estabilidad que se utilicen para la región de estudio, ya que en un principio, estos fueron creados para otras latitudes.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo económico otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), para realizar los estudios en la especialidad de Meteorología Marítima en el Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, de la Universidad Naval. Gracias a este apoyo los jóvenes estudiantes contribuyen al fortalecimiento de la ciencia en nuestro país. Asimismo, agradecen los comentarios acertados y las correcciones realizadas a este trabajo por el Dr. Cuauhtémoc Turrent Thompson, los cuales fueron muy valiosos y atinados.

### Referencias

- Aviation Weather Center, 2018. Reportes recuperados del informe de aeródromo meteorológico. <https://www.aviationweather.gov/metar>
- Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, 2018. Cartas recuperadas de convergencia, divergencia, cizalladura, vorticidad relativa, viento en niveles bajos y viento en niveles medios y altos. Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison (<https://tropic.ssec.wisc.edu/>)
- INEGI, 2013. Conociendo Aguascalientes. México, p. 4-10.
- Mezo, M.V., 2020. Análisis de la lluvia ocurrida en Aguascalientes el 19 de junio de 2018, para la aplicación en el pronóstico de tormentas severas en el Estado. Tesis de Especialidad. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México.
- National Centers for Environmental Information (NCEI) 2018. Datos recuperados del Global Forecast System (GFS). <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
- Prieto et al., 2010. Tormentas Severas. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Serie Fascículos, México, p. 3.
- Rojas, J. A., 2020. Evaluación de los índices de estabilidad atmosférica para la aplicación en el pronóstico de precipitación en la ciudad de Veracruz. Tesis de Especialidad. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México.
- Servicio a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano, 2018. Cartas de superficie y niveles obligados. Recuperados de: <http://capma.senear.gob.mx/capma/capma.html>

Servicio Meteorológico Nacional, 2018. Imágenes satelitales recuperadas en canal infrarrojo, visible y vapor de agua, registros de lluvia y mapas de pronóstico del modelo GFS, México.

Tropical Tidbits, 2018. Sondeo recuperado para Aguascalientes del 19 de junio de 2018 con datos del Global Forecast System (GFS). <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/models/>

University of Wyoming, 2018. Radiosondeo de la estación 76526 correspondiente a Guadalupe, Zacatecas. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Manuscrito recibido: 23 de octubre de 2020

Recepción del manuscrito corregido: 3 de marzo de 2021

Manuscrito aceptado: 26 de abril de 2021