

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

CONDICIONES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA DURANTE LA OCURRENCIA DE LLUVIAS INTENSAS EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO

José Luis Flores-Rojas¹

RESUMEN

La presente investigación analiza las condiciones de estabilidad atmosférica antes, durante y después de la ocurrencia de lluvias intensas sobre el observatorio de Huancayo durante el año 2018. En total, se identificaron 6 eventos mediante el análisis estadístico de cuantiles. Los resultados muestran que en horas previas a la máxima precipitación, la temperatura superficial y el nivel de inestabilidad atmosférica, en la mayoría de los casos, es ligeramente mayor comparada con la temperatura en condiciones medias normales sin precipitación. Durante la ocurrencia de la máxima precipitación, la temperatura superficial decae significativamente y la capa superficial alcanza condiciones de neutralidad. En horas posteriores, la temperatura superficial continúa siendo menor a la existente en condiciones normales y la atmósfera se torna notoriamente más estable que en condiciones sin precipitación.

Palabras clave: *Estabilidad atmosférica, precipitación intensa, balance de energía superficial.*

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú.

Citar como: Flores-Rojas, J. L. (2021). Condiciones de estabilidad atmosférica durante la ocurrencia de lluvias intensas en el observatorio de Huancayo. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.º 06, págs. 5-13.

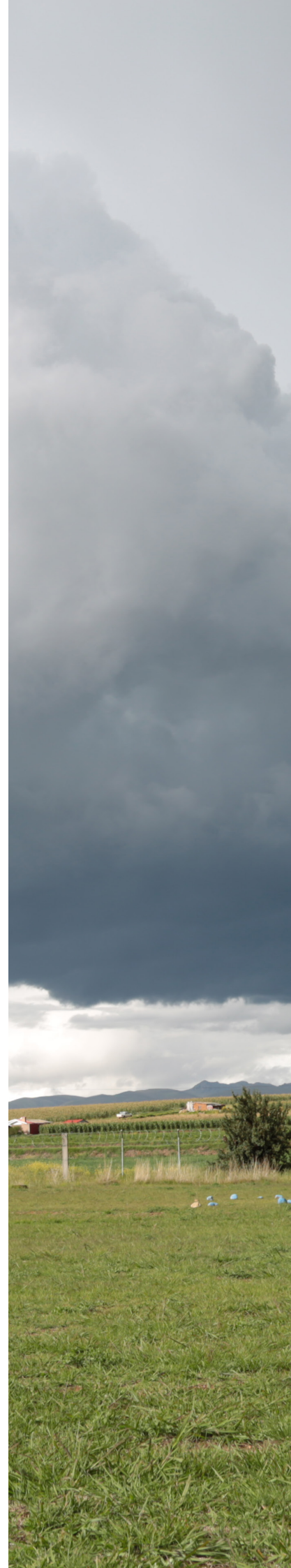
INTRODUCCIÓN

El balance de energía superficial (BES) es la distribución del total de energía radiativa disponible en flujos turbulentos disipativos de calor sensible, calor latente y calor transferido al suelo. El BES depende de la morfología, la temperatura y el contenido de humedad del terreno (Bateni et al., 2012). Los estudios del balance de energía superficial son muy importantes para entender la transferencia de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, dada su influencia sobre el clima y el ciclo hidrológico regional, así como también en el clima global.

El inicio de las tormentas, asociadas con la formación de nubes cumulonimbos, depende fuertemente del intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera. Se han encontrado tres condiciones favorables para la generación de tormentas: el alto contenido de humedad en los niveles más cercanos a la superficie, la inestabilidad atmosférica condicional y los mecanismos de convección térmica (Satyanarayana et al., 2014). El objetivo del presente trabajo es evaluar las condiciones térmicas y el nivel de inestabilidad de la capa límite superficial atmosférica, antes, durante y después de los eventos de precipitaciones intensas identificados en el Observatorio de Huancayo (OHY) durante el año 2018.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para el presente estudio se utilizaron las mediciones de temperatura y humedad relativa de los termohigrómetros de la marca Campbell (HMP60), que están instalados en una torre de gradiente de 30 m de altura (Figura 1a). Los datos medidos por estos sensores permiten evaluar las variaciones de la temperatura y los gradientes verticales de temperatura atmosférica antes, durante y después de los eventos de precipitación intensa. Dichos eventos fueron identificados mediante el análisis de los datos de precipitación obtenidos por un pluviómetro Campbell modelo TE525-L de 15.4 cm de diámetro en el colector y configurado para una resolución temporal de un minuto y una precisión igual a ~ 0.254 mm (Figura 1b).



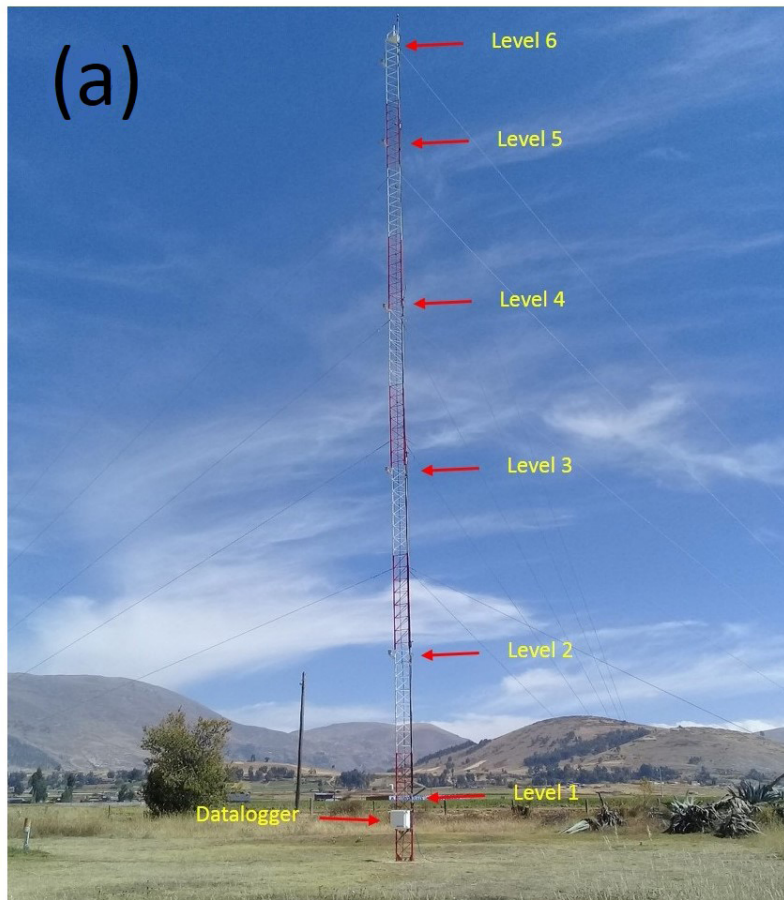


Figura 1. (a) Torre de gradiente de 30 m de altura con termohigrómetros marca Campbell HMP60 y anemómetros marca Campbell 03002 Wind Sentry. (b) Pluviómetro de balanza de la marca Campbell modelo TE525-L.

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN INTENSA

En el estudio se identificaron un total de 6 eventos de precipitaciones intensas sobre el OHY entre agosto y noviembre del 2018. El evento de precipitación más intenso fue registrado el día 15 de setiembre del 2018, el cual tuvo una duración de 3 horas con un máximo de intensidad de precipitación de 20.32 mm h^{-1} a las 17 hora local (HL). La Tabla 1 muestra la información de cada uno de los 6 eventos de precipitaciones intensas, asociados con circulaciones del este (CE) o del oeste (CO) en el nivel de 300 hPa, de acuerdo a los patrones de circulaciones atmosféricas que fueron identificados previamente (Flores et al., 2019; Flores et al., 2021). En general, se ha observado que los eventos de precipitación intensa ocurren principalmente entre las 16 y las 18 HL.

Tabla 1. Eventos de precipitación intensa identificados entre agosto y noviembre del 2018. Se indica la circulación asociada con cada uno de los eventos, la precipitación acumulada y la hora de máxima precipitación.

Evento	Circulación en 300 hPa	Duración (horas)	Hora de la máxima precipitación	Precipitación acumulada (mm)	Intensidad máxima de precipitación (mm h^{-1})
2018/08/01	CE1	4	17 HL	10.15	5.84
2018/08/03	CO1	2	17 HL	7.87	7.62
2018/09/15	CE2	3	16 HL	23.62	20.32
2018/09/24	CO2	3	17 HL	12.45	8.64
2018/11/15	CO3	4	18 HL	18.03	13.46
2018/11/21	CE3	2	18 HL	7.62	7.11

Para la identificación de los eventos de precipitación intensa se utilizó el análisis estadístico de los valores acumulados de precipitación horaria para todos los meses del año 2018 (Figura 2a). Se observa que los eventos seleccionados son valores atípicos del análisis de cuantiles, muy por encima del percentil 90 % para todos los meses. En la Figura 2a, se resaltan los eventos CE2 y CO3 que fueron dos de los más intensos ocurridos durante el 2018. Además, ambos eventos también exceden el percentil 90 de los valores climatológicos (1965-2020) de la precipitación acumulada diaria registrada en el OHY, aunque están por debajo del máximo climatológico registrado (Figura 2b).

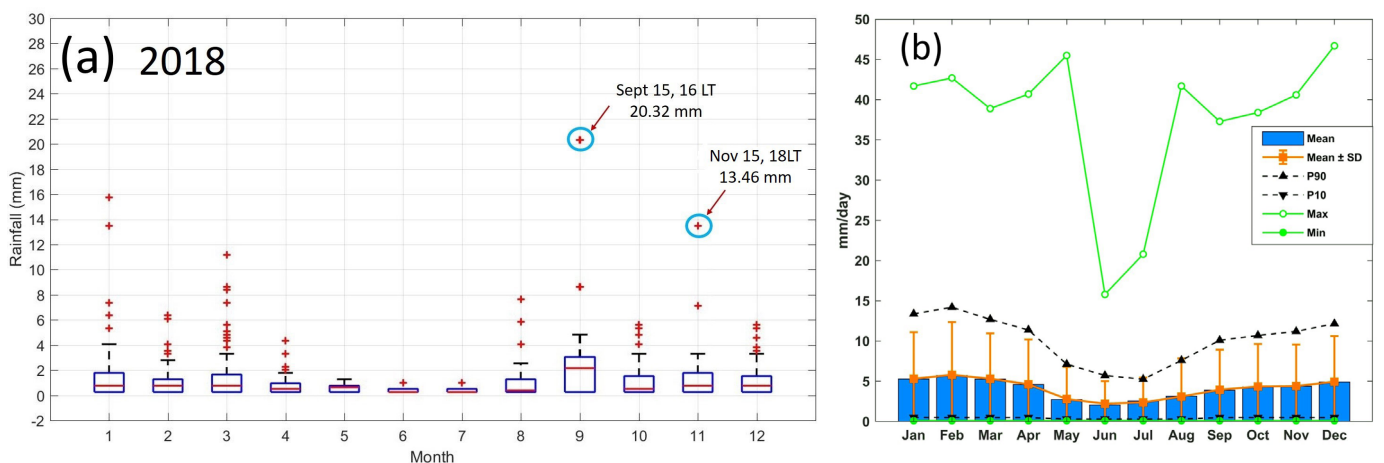


Figura 2. (a) Diagramas de caja incluyendo valores atípicos (extremos) de la precipitación acumulada horaria (mm) por mes durante el año 2018 en el OHY. (b) Valores medios con desviaciones estándar, percentil 90 % y valores máximos de la precipitación mensual con valores acumulados diarios (mm día^{-1}) entre los años 1965 y 2020 en el OHY.

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y DE LA INESTABILIDAD ATMOSFÉRICA DURANTE LOS EVENTOS DE PRECIPITACIÓN INTENSA

Dos horas antes de la ocurrencia de la precipitación más intensa (-2 h) la temperatura superficial media horaria es cercana a la temperatura media mensual en condiciones normales, aunque esto dependerá de la cobertura de nubes, la cual puede afectar la tasa de calentamiento de la capa límite superficial mediante la alteración de la divergencia de los flujos radiativos. Una hora antes de la precipitación más intensa (-1 h) se observa una ligera disminución de la temperatura comparada con la media mensual horaria en condiciones normales, debido probablemente a la presencia de una mayor cobertura de nubes con mayor desarrollo vertical y al comienzo de ligeras precipitaciones antes de la ocurrencia del máximo de precipitación (evento CE1), lo cual disminuye la irradiancia solar que llega a la superficie y, por lo tanto, la tasa de calentamiento de la atmósfera superficial.

Durante la hora de ocurrencia de la máxima precipitación (0 h) comienza a notarse el efecto del enfriamiento producido por la corriente descendente la que fue iniciada por la fuerza de arrastre inducida por los hidrometeoros que precipitan sobre la superficie (Wallace et al., 2006). En las horas posteriores a la ocurrencia de la máxima precipitación (+1 h, +2 h), el efecto de enfriamiento de la atmósfera superficial es más notorio comparado con la temperatura media mensual durante esas mismas horas, debido en gran parte al enfriamiento del aire causado por la evaporación del agua líquida depositada en la superficie (Tabla 2). La evaporación de agua líquida sobre la superficie también dependerá del contenido de humedad del suelo y de la estabilidad atmosférica de la capa límite superficial (Oke, 1987).

Tabla 2. Media horaria de la temperatura superficial a 2 m de altura para los eventos identificados, así como la media mensual horaria de la temperatura superficial a 2 m de altura en condiciones normales sin la presencia de precipitaciones.

Evento	Media horaria de la temperatura superficial (°C) a 2 m para los eventos del año 2018					Media mensual horaria de la temperatura superficial (°C) a 2 m durante el 2018				
	-2 h	-1 h	0 h	+1 h	+2 h	-2 h	-1 h	0 h	+1 h	+2 h
2018/08/01 (CE1)	18.28	15.66	8.96	7.92	7.50	17.96	17.08	15.78	13.98	12.03
2018/08/03 (CO1)	18.04	16.92	15.99	8.81	8.20	17.96	17.08	15.78	13.98	12.03
2018/09/15 (CE2)	19.77	19.60	17.44	10.95	7.64	19.31	19.62	19.21	18.03	15.95
2018/09/24 (CO2)	16.84	17.03	13.99	8.30	7.08	19.62	19.21	18.03	15.95	13.53
2018/11/15 (CO3)	19.50	18.22	17.05	11.13	10.11	19.67	18.46	16.05	14.08	12.86
2018/11/21 (CE3)	18.68	18.93	17.32	12.07	10.55	19.67	18.46	16.05	14.08	12.86

La Figura 3a muestra la serie temporal de la temperatura superficial (a 2 m y 24 m) para el evento del 15 de setiembre del 2018 (CE2). La serie temporal abarca desde el día 13 setiembre hasta el día 17 de setiembre. El círculo negro indica la hora de inicio de la precipitación intensa del día 15 de setiembre a las 16 HL y se observa un decaimiento brusco de la temperatura en la capa límite superficial, el cual es más intenso comparado con el decaimiento ocurrido en días previos.

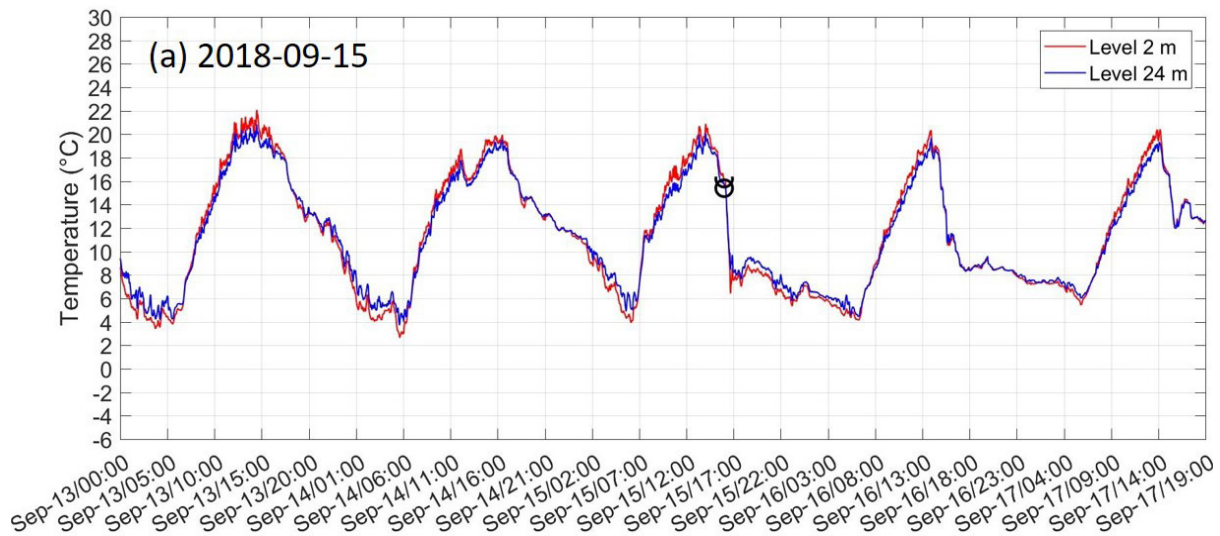


Figura 3. (a) Serie temporal de temperatura en superficie (°C) durante dos días previos y dos días posteriores al evento CE2 con intensidad máxima de precipitación a las 16 HL (20.32 mm h⁻¹). El círculo negro indica el inicio de la precipitación intensa.

Además, se observa que dos horas antes de la ocurrencia de la precipitación más intensa (−2 h) el gradiente vertical de la temperatura es ligeramente más negativo comparado con el gradiente medio mensual en condiciones normales, lo cual implica un mayor nivel de inestabilidad de la capa límite superficial como consecuencia de la convergencia del flujo de calor turbulento, el cual favorece los movimientos verticales ascendentes de las masas de aire.

Una hora antes de la precipitación más intensa (−1 h), comienza a notarse el efecto de la cobertura de nubes y el inicio de la precipitación a través de su impacto en la radiación solar y en la estabilidad atmosférica, respectivamente. El gradiente vertical de la temperatura es menos negativo y, por lo tanto, la atmósfera se torna menos inestable comparada con la inestabilidad en condiciones medias normales.

A medida que la precipitación alcanza su máxima intensidad el gradiente vertical de temperatura va tornándose menos negativo, y, por lo tanto, la atmósfera se vuelve menos inestable hasta alcanzar condiciones cercanas a la neutralidad ($9.8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$) o incluso condiciones de estabilidad con gradiente vertical positivo.

En las horas posteriores a la ocurrencia de la máxima precipitación (+1 h, +2 h) el gradiente vertical se torna positivo, lo cual indica la presencia de una capa límite superficial estable, más intensa que en condiciones medias normales. Esta estabilidad es causada por el enfriamiento de la temperatura superficial provocada por la corriente de aire frío descendente inducida por las precipitaciones y por la evaporación del agua depositada en la superficie (Oke, 1987).

Tabla 3. Media horaria de la temperatura superficial a 2 m de altura para los eventos identificados, así como la media mensual horaria de la temperatura superficial a 2 m de altura en condiciones normales sin la presencia de precipitaciones.

Evento	Media horaria del gradiente vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C m}^{-1}$) entre 2 y 6 m para los eventos del año 2018					Media mensual horaria del gradiente vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C m}^{-1}$) entre 2 y 6 m durante el 2018				
	-2 h	-1 h	0 h	+1 h	+2 h	-2 h	-1 h	0 h	+1 h	+2 h
2018/08/01 (CE1)	-0.19	-0.09	-0.01	+0.01	-0.01	-0.18	-0.16	-0.09	-0.02	+0.05
2018/08/03 (CO1)	-0.17	-0.11	-0.03	+0.19	+0.11	-0.18	-0.16	-0.09	-0.02	+0.05
2018/09/15 (CE2)	-0.22	-0.17	-0.14	+0.15	+0.13	-0.21	-0.19	-0.16	-0.11	-0.04
2018/09/24 (CO2)	-0.14	-0.12	-0.05	+0.002	-0.03	-0.19	-0.16	-0.11	-0.04	+0.04
2018/11/15 (CO3)	-0.14	-0.03	+0.005	+0.07	+0.05	-0.13	-0.08	0.0	+0.04	+0.07
2018/11/21 (CE3)	-0.13	-0.11	+0.02	+0.07	+0.07	-0.13	-0.08	0.0	+0.04	+0.07

La Figura 3b muestra los perfiles verticales de temperatura media horaria en horas previas y en horas posteriores a la hora de la máxima precipitación para el evento del 09 de setiembre del 2018 (CE2). Antes de la ocurrencia de la máxima precipitación (14 y 15 HL), los perfiles verticales de temperatura son similares a los que ocurren en condiciones medias normales sin precipitación. Sin embargo, durante la hora de la ocurrencia de la máxima precipitación (16 HL), el gradiente vertical de temperatura se atenúa significativamente comparado con el gradiente en condiciones medias normales, lo cual implica un decrecimiento de la inestabilidad atmosférica cercano a la condición de atmósfera neutra.

En horas posteriores a la ocurrencia de máxima precipitación (17 y 18 HL), el gradiente se torna positivo, indicando la presencia de una capa límite superficial altamente estable en comparación con la reducida inestabilidad existente en condiciones normales sin precipitación. Se observa también un decrecimiento importante, entre 4 y 6 $^{\circ}\text{C}$, de la temperatura media horaria superficial en horas posteriores a la hora de la máxima precipitación comparado con los valores medios horarios mensuales en condiciones normales.

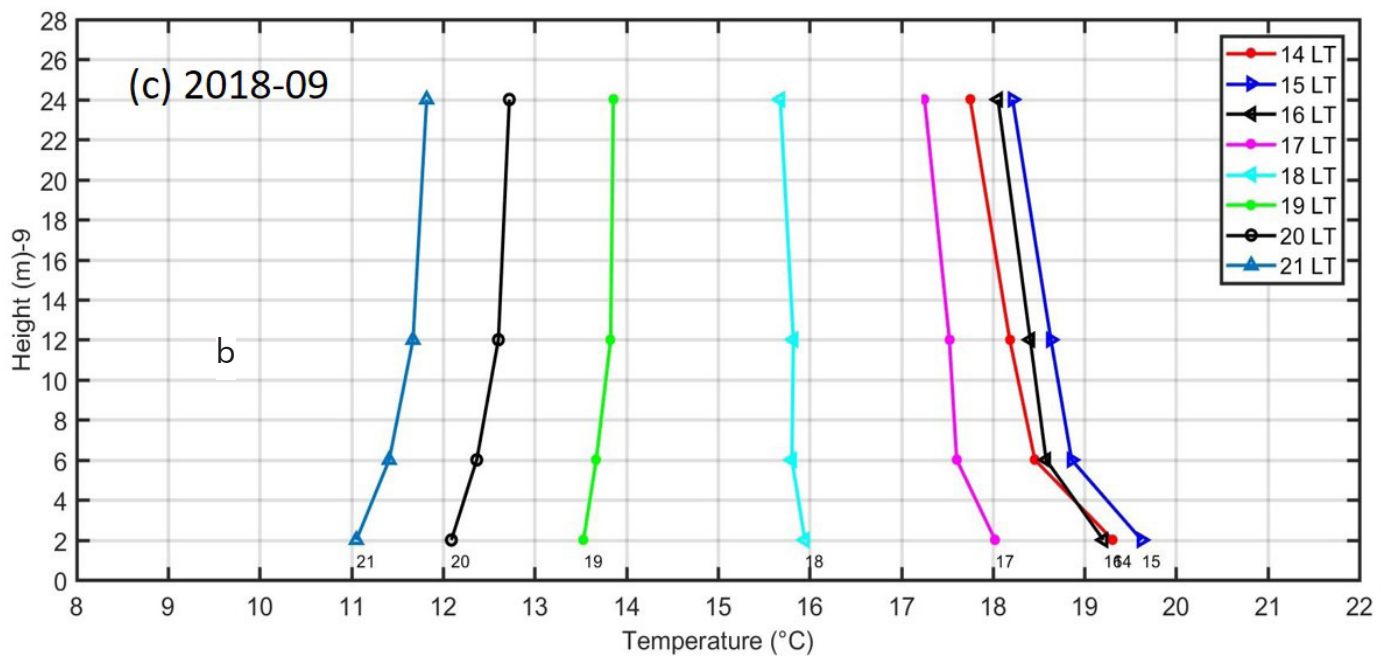
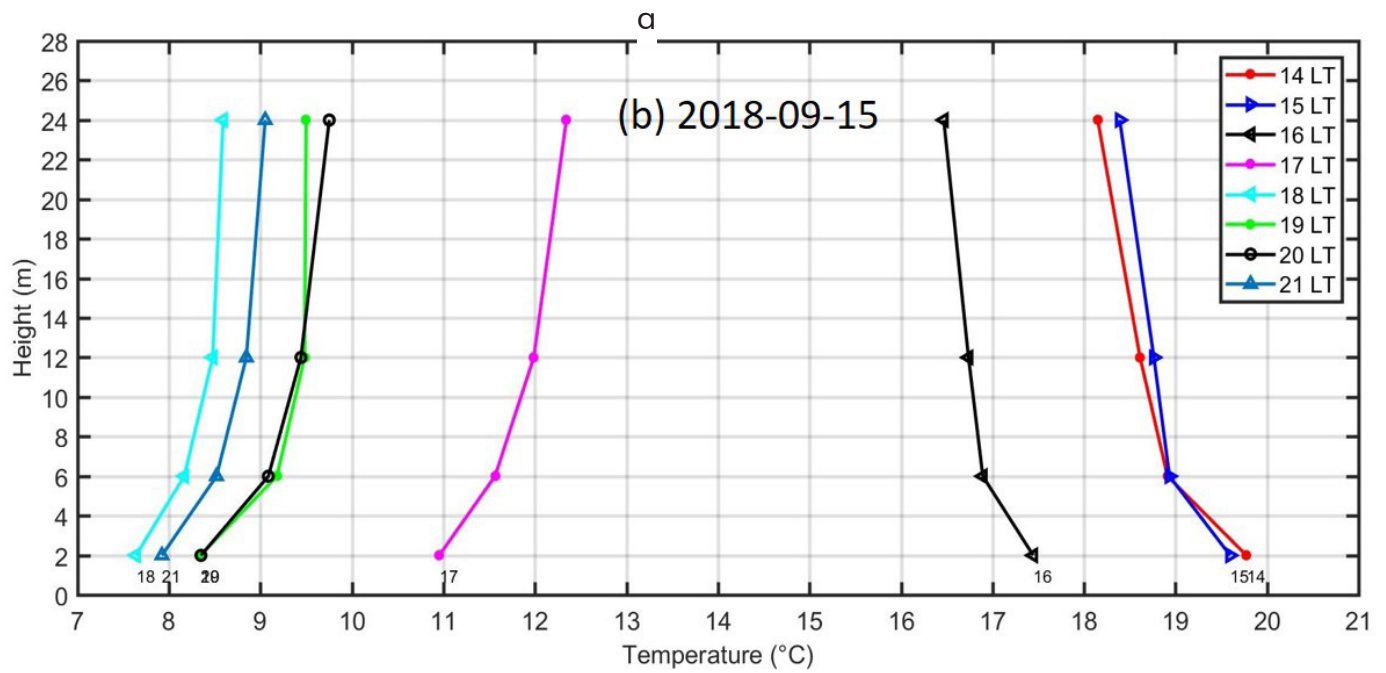


Figura 3. (a) Perfiles verticales de temperatura en horas previas y horas posteriores al evento CE2 con precipitación máxima a las 16 HL. (b) Medias mensuales horarias de los perfiles verticales de temperatura entre las 14 y 21 HL durante el mes de setiembre del 2018. Todos los valores fueron obtenidos sobre el OHY.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Con base en los resultados presentados, concluimos lo siguiente:

- La temperatura superficial y el nivel de inestabilidad atmosférica, en la mayoría de los casos, es ligeramente mayor en horas previas a la ocurrencia del evento de máxima precipitación comparada con la temperatura en condiciones medias normales sin precipitación.
- Cuando comienza la precipitación, la temperatura superficial y la inestabilidad atmosférica experimentan un decrecimiento comparado con el ciclo diurno en condiciones normales sin precipitación, alcanzando incluso condiciones de neutralidad. Estos decrecimientos se hacen más notorios en el momento en que la precipitación alcanza su máxima intensidad.
- En horas posteriores a la precipitación, la temperatura superficial continúa siendo menor a la temperatura en condiciones normales, y la atmósfera se torna notoriamente más estable que en condiciones sin precipitación.

REFERENCIAS

Flores, J. L., Moya-Alvarez, A., Kumar, S., Martínez, D., Villalobos, E., & Silva, Y. (2019). Analysis of Possible Triggering Mechanisms of Severe Thunderstorms in the Tropical Central Andes of Peru, Mantaro Valley. *Atmosphere*, 10 (6), 301. <https://doi.org/10.3390/atmos10060301>

Flores-Rojas, J. L., Moya-Álvarez, A. S., Valdivia-Prado, J. M., Piñas-Laura, M., Kumar, S., Karam, H. A., Silva, Y. (2021). On the dynamic mechanisms of intense rainfall events in the central Andes of Peru, Mantaro valley. *Atmospheric Research*, 248, 105188. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105188>

Wallace, J. and Hobbs, P. (2006). *Atmospheric Science. An Introductory Survey*. University of Washington. Second edition. Cap 8.

Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Taylor & Francis Group. Second edition. Cap 2.

Bateni, S.M. and Entekhabi, D. (2012). Relative efficiency of land surface energy balance components. *Water Resources Research*. 48 (W04510), 8. <https://doi.org/10.1029/2011WR011357>

Satyanarayana, A.N.V., Sultana, S. T. Narayana, R., S. and Kumar, S. (2014). Evaluation of atmospheric turbulence, energy exchanges and structure of convective cores during the occurrence of mesoscale convective systems using MST radar facility at Gadanki. *Atmospheric Research*. 143 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.016>.