



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Condiciones de
estabilidad atmosférica
durante la ocurrencia
de lluvias intensas en
el observatorio Huancayo

Pág. 5

Influencia de El
Niño-Oscilación del
Sur (ENOS) en la
variación de la capa de
ozono en la región
andina central del Perú

Pág. 14

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 21

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 22



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Vol. 8 n.º 06 Junio 2021

CRÉDITOS

Gabriel Quijandría Acosta

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Ivonne Montes Torres

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: nubes convectivas vistas desde el Observatorio de Huancayo

Foto: IGP

El boletín científico “El Niño” es generado en el marco del Programa Presupuestal n.º 068 “Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

Lima, agosto de 2022

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"- PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de avances de investigación. El primero, titulado "Condiciones de estabilidad atmosférica durante la ocurrencia de lluvias intensas en el observatorio de Huancayo", presenta el análisis de las condiciones de estabilidad atmosférica asociadas a la ocurrencia de lluvias intensas sobre el observatorio de Huancayo durante el año 2018.



EDITORIAL

El segundo artículo, titulado “Influencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la variación de la capa de ozono en la región andina central del Perú”, presenta, a través de nueva instrumentación en tierra instalada en el observatorio de Huancayo del IGP y sensores satelitales, la evaluación de las capacidades y limitaciones que poseen estos equipos en la determinación del efecto ENOS sobre la capa de ozono.

En este boletín se presenta también, el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. El informe indica que en la actualidad el valor del índice de El Niño costero presenta una condición climática neutra. Por otro lado, en el Pacífico central también se muestran condiciones neutras. El promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de junio de 2021, indica condiciones climáticas dentro del rango neutral frente a la costa peruana hasta diciembre de 2021. En el Pacífico central, los modelos indican condiciones neutras en junio y julio, pasando a condiciones frías moderadas de agosto a diciembre de 2021. Esto podría configurarse en un evento La Niña.

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta “No Activo” debido a que las temperaturas del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantendrían dentro de su rango normal hasta septiembre del 2021. Respecto a las temperaturas del aire a nivel costero, se espera que se mantengan en el rango normal al menos hasta septiembre de 2021. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.



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.

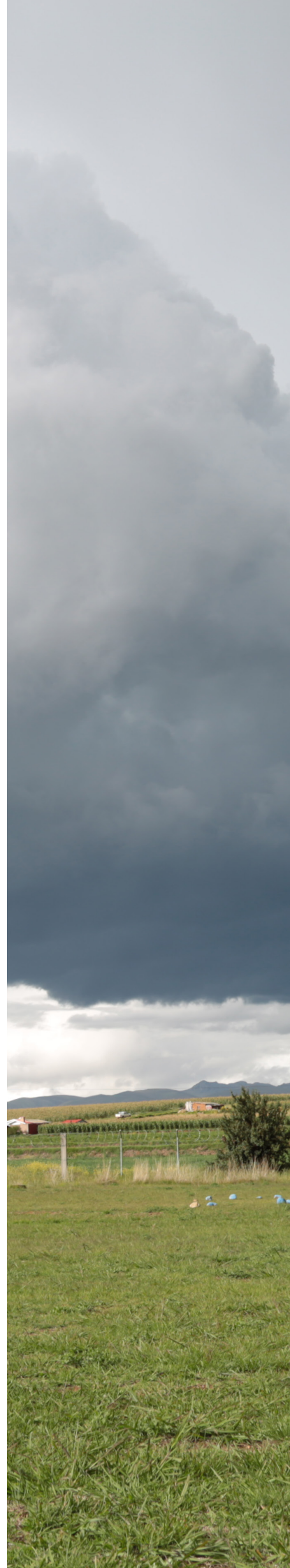
INTRODUCCIÓN

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).



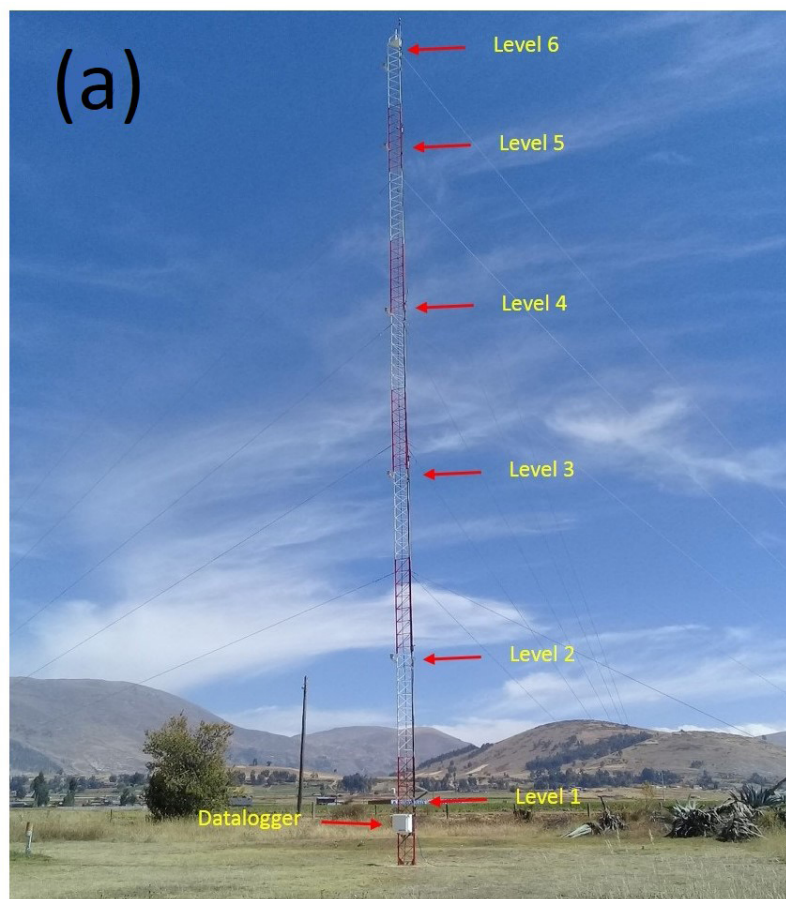


Figura 1. (a) Torre de gradiente de 30 m de altura con termohigrómetros marca Campbell HMP60 y anemómetros marca Campbell 03002 Wind Sentry. (b) Pluviómetro de balanza de la marca Campbell modelo TE525-L.

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).

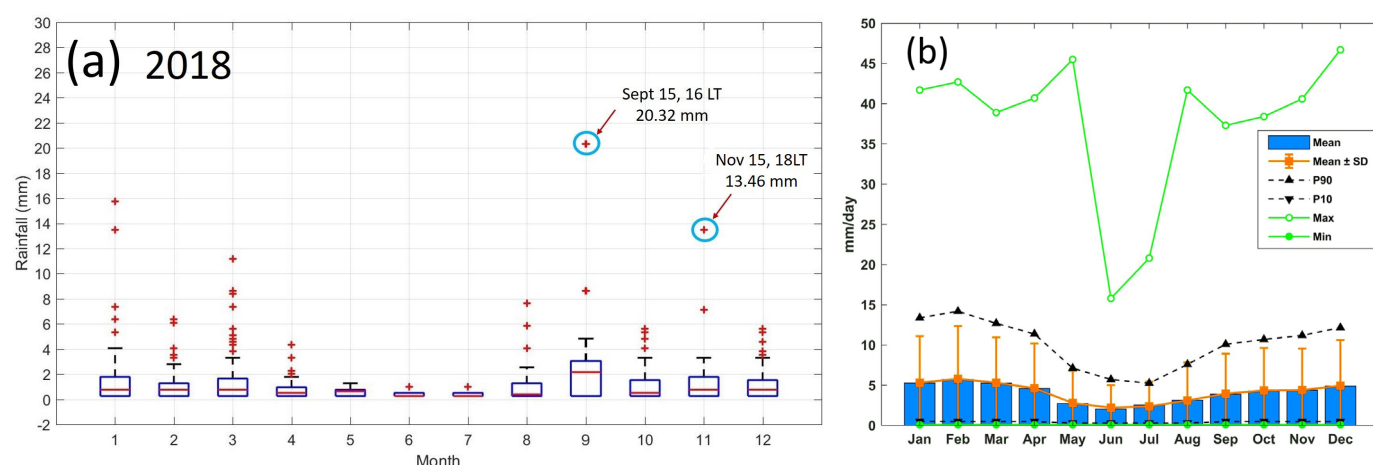


Figura 2. (a) Diagramas de caja incluyendo valores atípicos (extremos) de la precipitación acumulada horaria (mm) por mes durante el año 2018 en el OHY. (b) Valores medios con desviaciones estándar, percentil 90 % y valores máximos de la precipitación mensual con valores acumulados diarios (mm día⁻¹)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

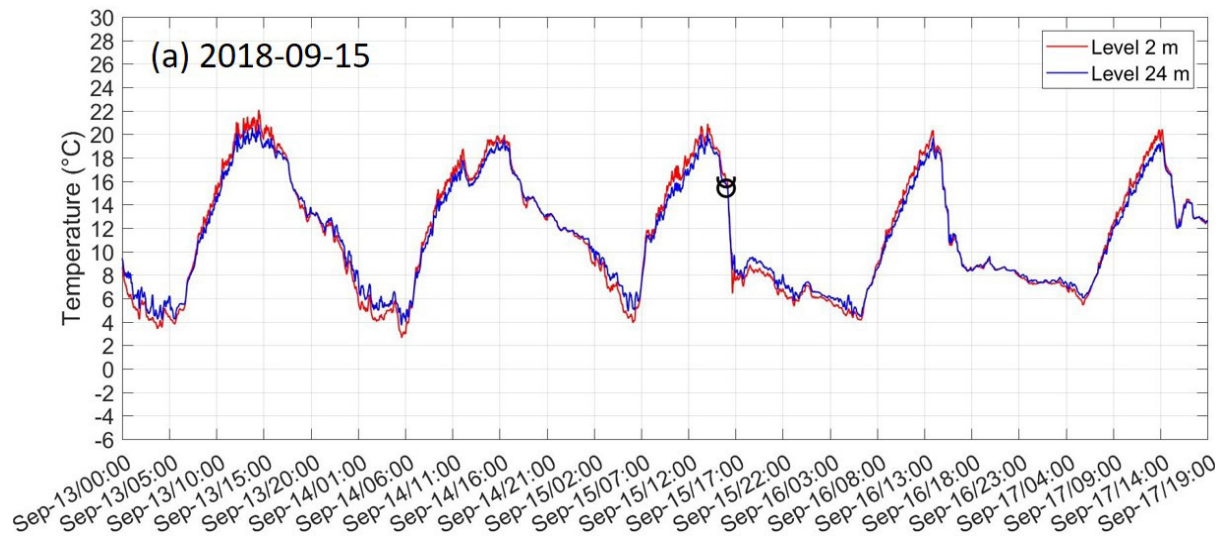


Figura 3. (a) Serie temporal de temperatura en superficie ($^{\circ}\text{C}$) durante dos días previos y dos días posteriores al evento CE2 con intensidad máxima de precipitación a las 16 HL (20.32 mm h^{-1}). El círculo negro indica el inicio de la precipitación intensa.

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 ($+1 \text{ h}$, $+2 \text{ h}$) 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.

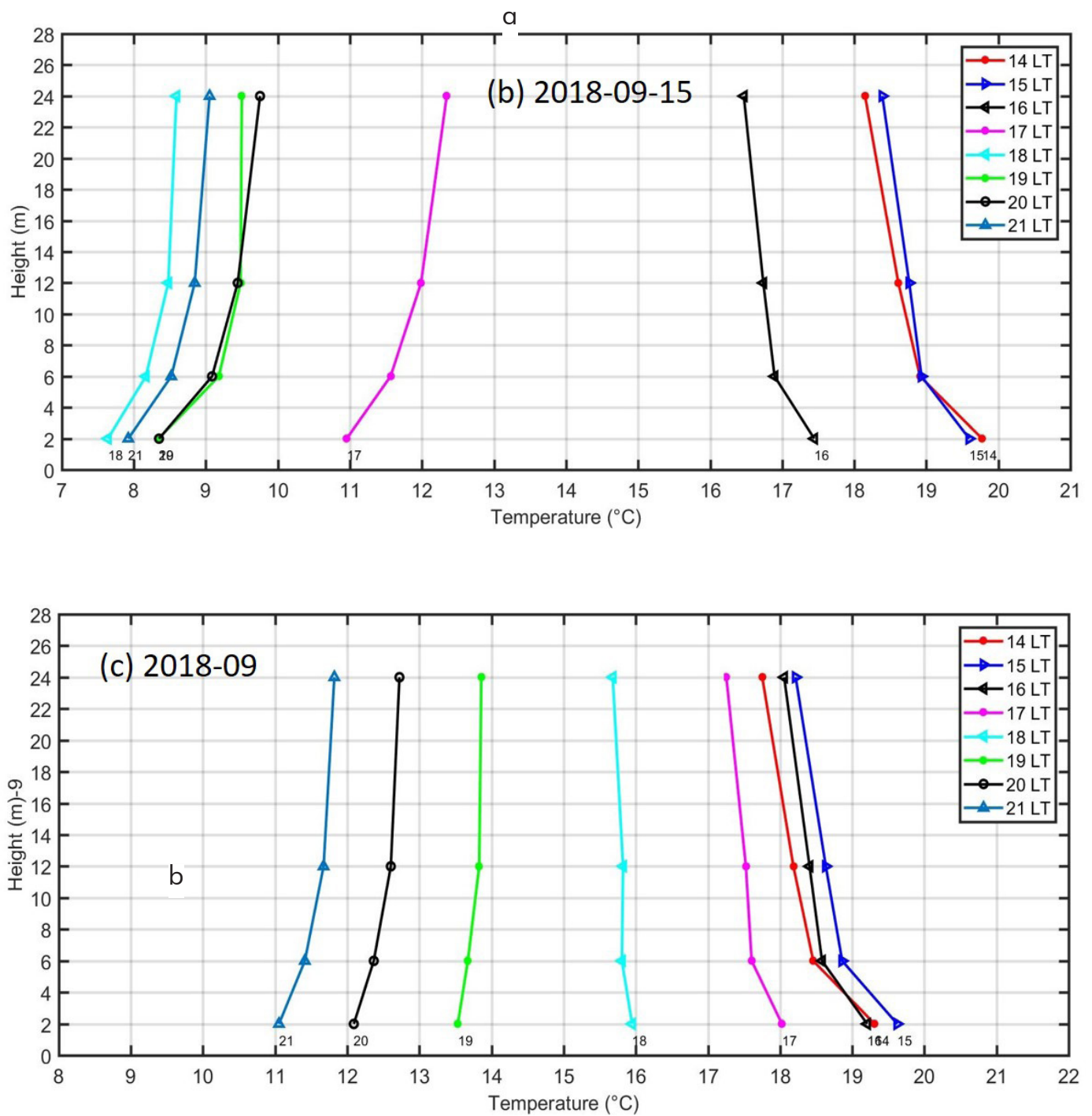


Figura 3. (a) Perfiles verticales de temperatura en horas previas y horas posteriores al evento CE2 con precipitación máxima a las 16 HL. (b) Medias mensuales horarias de los perfiles verticales de temperatura entre las 14 y 21 HL durante el mes de setiembre del 2018. Todos los valores fueron obtenidos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

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

INFLUENCIA DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) EN LA VARIACIÓN DE LA CAPA DE OZONO EN LA REGIÓN ANDINA CENTRAL DEL PERÚ

Luis Suárez-Salas¹

RESUMEN

El ENOS tiene una importante influencia en el sistema océano-atmósfera en la costa peruana. Entre estos factores también se han identificado alteraciones en la capa de ozono en la región tropical. Este trabajo evalúa el efecto que tiene sobre la variación de la capa de ozono registrada en la región Andina central. Mediante nueva instrumentación en tierra y sensores satelitales, se hace un primer avance presentando sus capacidades y limitaciones para identificar dicho efecto.

Palabras clave: Capa de ozono, fotómetro solar, El Niño-Oscilación del Sur, irradiancia solar.

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como: Suárez-Salas, L. (2021). Influencia de El Niño-Oscilación del sur (ENOS) en la variación de la capa de ozono en la región andina central del Perú. *Boletín científico EL Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.º 06, págs. 14-20.

INTRODUCCIÓN

La capa de ozono es el principal escudo de protección contra la radiación ultravioleta proveniente del Sol, siendo un importante elemento para la vida sobre la superficie de la Tierra. Asimismo, la capa de ozono tiene su máxima concentración en la estratósfera y una activa influencia en la dinámica de esta región, debido a sus propiedades radiativas que son de importancia para la circulación atmosférica. Por estos importantes aspectos, la capa de ozono tuvo amplia atención en los últimos años como consecuencia de la notoria reducción de su concentración, especialmente en los polos, que ocasionó la aparición del agujero en la capa de ozono.

La capa de ozono en los trópicos tiene una variación estacional menor que en latitudes más altas o regiones polares. El rango entre los meses del año es de solo 10 unidades Dobson ($1 \text{ UD} = 2.69 \times 10^{20} \text{ moléculas m}^{-2}$) mientras que en latitudes medias y altas alcanza hasta 5 veces dicho valor (Ziemke et al., 2011). Los trópicos registran una concentración cercana a 250 UD, mientras que en latitudes medias y polares cerca de 450 UD. Esto significa que la región tropical recibe el máximo de radiación ultravioleta (UV) y en el caso de la región Andina, debido a su altura, se registran los valores más altos del planeta (Suarez et al., 2017).

La concentración de ozono tiene una fuerte variación vertical hasta los 40 km de altura. En los trópicos la máxima concentración del ozono se registra en la estratósfera, a unos 25 km de altura. La mayor cantidad de ozono es producida en los trópicos y luego es transportada a latitudes medias y altas por la circulación meridional (Brewer Dobson) al resto del planeta (ver Figura 1).

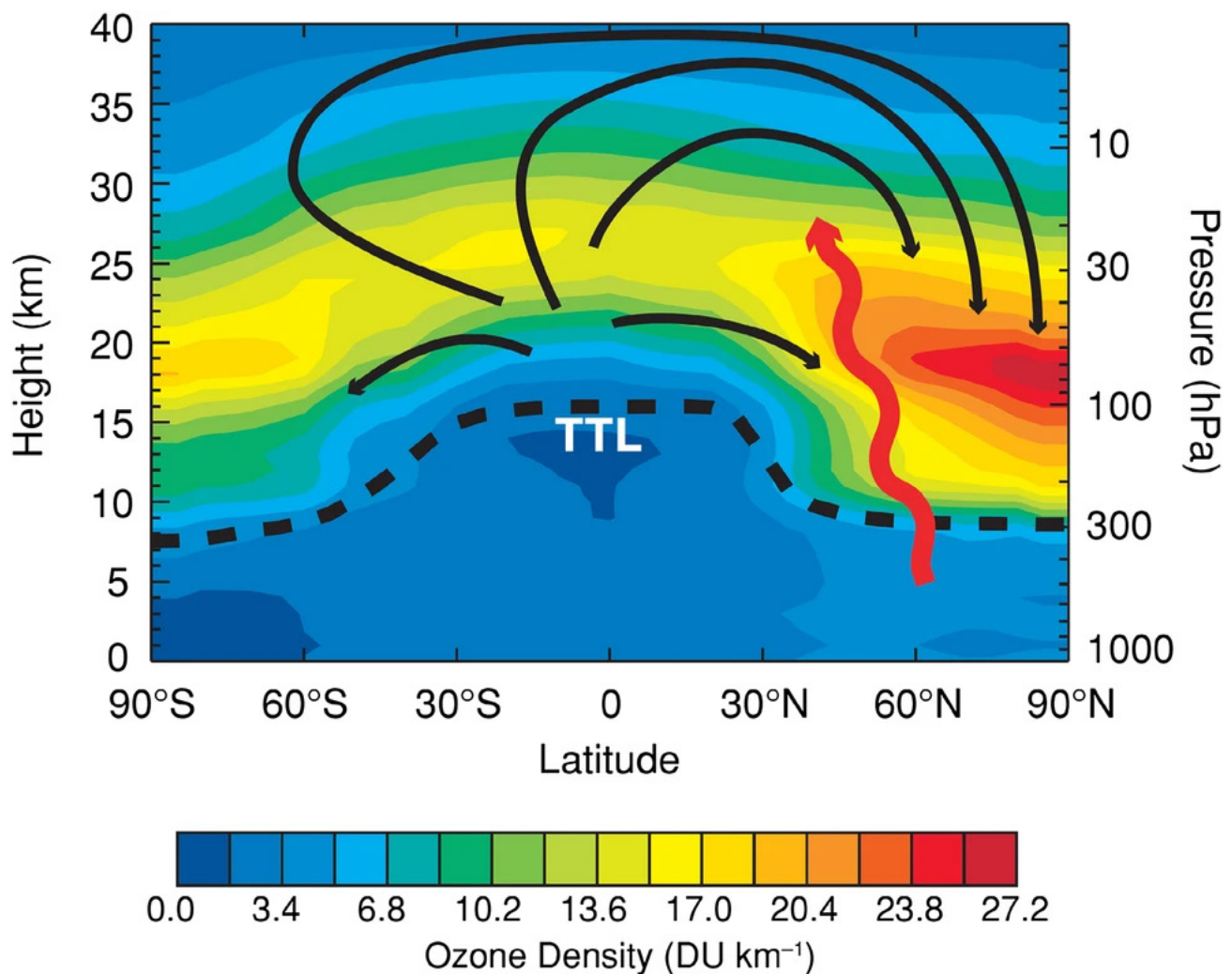


Figura 1. Corte seccional meridional de la atmósfera mostrando la concentración del ozono (colores mostrado en la escala en Unidades Dobson por km). Las líneas punteadas indican la tropopausa, y TTL representa la capa de la tropopausa tropical. Las flechas negras representan la circulación Brewer-Dobson durante el invierno del hemisferio norte, y la flecha roja representa las ondas planetarias que se propagan en la tropósfera hacia la estratósfera (tomado de Langematz, 2019).

Asimismo, en el Pacífico tropical se registra que la aparición del El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es la mayor perturbación del sistema océano-atmósfera con graves consecuencias adversas para el territorio peruano debido a su variabilidad. El ENOS no se limita a la capa inferior de la atmósfera (tropósfera), también afecta la circulación de la estratósfera profundamente (Domeisen et al., 2019). Esta severa alteración de la atmósfera también afecta la capa de ozono, modificando su variabilidad espacial y temporal debido al intercambio intenso de masas de aire entre la tropósfera (pobre en ozono) y estratósfera (rico en ozono).

Por ello, este trabajo en curso se enfoca en mejorar el entendimiento sobre el efecto del ENOS en la capa de ozono en la región Andina central, debido a que una anomalía negativa del ozono incrementaría la radiación UV en la superficie, aumentando el riesgo de daño a la salud de las personas y los ecosistemas.

INSTRUMENTACIÓN

Como parte de las actividades relacionadas al Año Geofísico Internacional de 1957 se iniciaron las coordinaciones para ampliar la red mundial de medición de la capa de ozono. En el Observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú se realizaron las primeras mediciones de la capa de ozono de la región tropical. Estas comenzaron en febrero de 1964 y continuaron hasta diciembre de 1992. Para esta labor se utilizó el espectrofotómetro Dobson (ver figura 2), instrumento que fue la base fundamental para el entendimiento de la variabilidad de la capa de ozono a escala global. Esta labor contó con el apoyo de la NOAA (por las siglas en inglés de National Oceanic and Atmospheric Administration de los EE. UU).

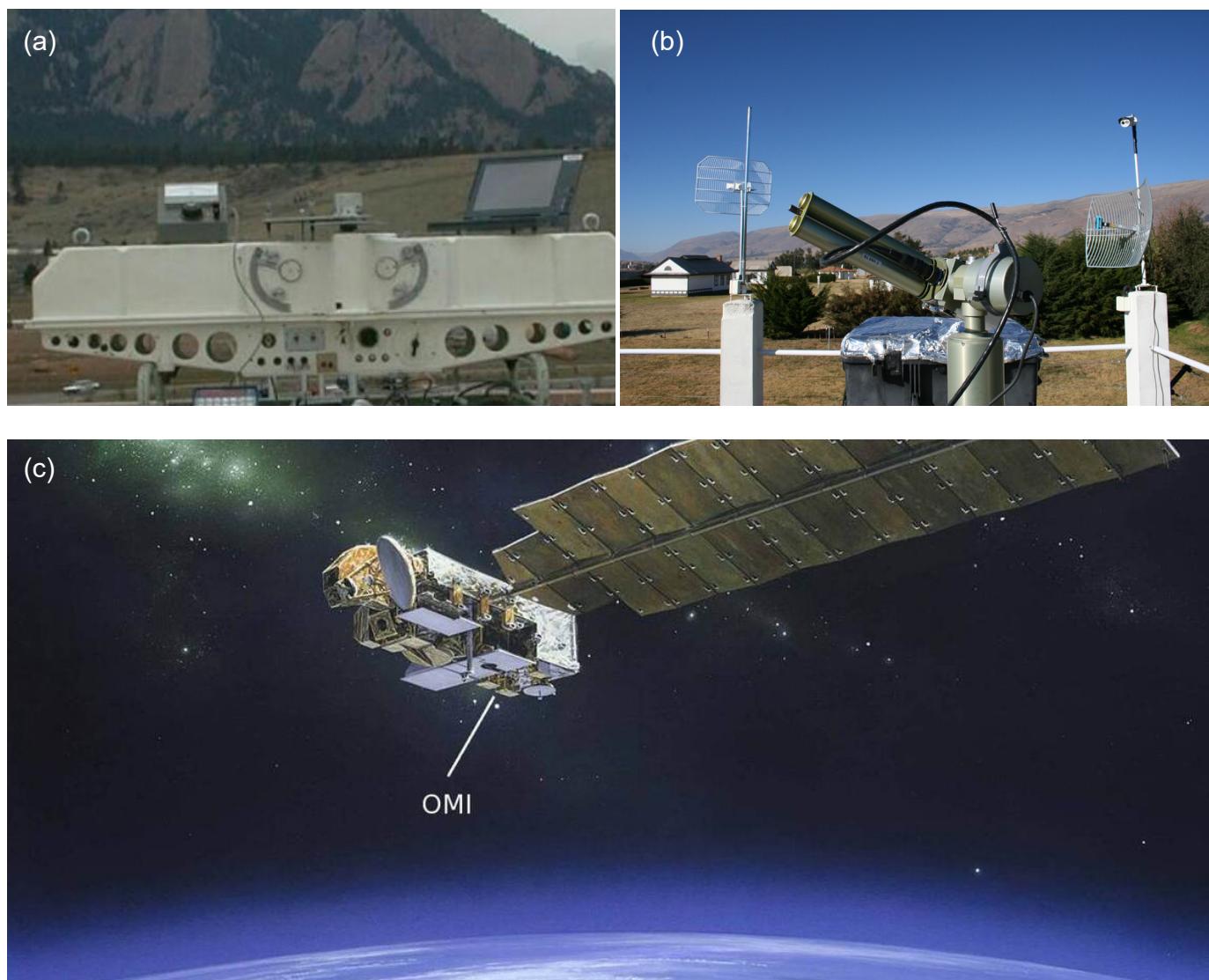


Figura 2. Equipos utilizados para la medición de la capa de ozono en relación con el Observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú. a) Espectrofotómetro Dobson que registró mediciones de 1964 a 1992. b) Fotómetro solar del programa AERONET de la NASA actualmente instalado en el Observatorio de Huancayo. c) Ubicación del sensor OMI en la plataforma satelital lanzada por la NASA en el 2004.

En años recientes, y en cooperación con el programa Aerosol Robotic Network (AERONET) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration de EE. UU.) se logró la instalación de un fotómetro solar de marca Cimel (Francia) y modelo CE-318T. Este instrumento está diseñado para cumplir los requisitos operativos de monitoreo continuo en términos de confiabilidad, larga vida útil y muy bajo costo de mantenimiento. En la actualidad, hay alrededor de 300 instrumentos operando en diversos lugares del planeta.

El fotómetro Cimel (ver figura 2a) está diseñado para realizar la medición de las propiedades ópticas de la atmósfera, especialmente, mide la irradiancia directa del Sol y la Luna y, en determinadas horas del día, la irradiancia de cielo. Este modelo de fotómetro realiza mediciones de irradiancia solar en ocho longitudes de onda: 340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640 nm. A partir de las mediciones que realiza este instrumento se deriva información sobre los aerosoles atmosféricos obteniéndose una detallada caracterización de sus propiedades físico-ópticas. De modo complementario, el programa Aeronet reporta los datos de la capa de ozono con una frecuencia diaria. Del mismo modo, y dada su importancia, las mediciones de la capa de ozono son parte habitual de los programas de vigilancia satelital de la atmósfera tanto de parte de la NASA como de la ESA (European Space Agency), contando en la actualidad con sensores dedicados como son el Ozone Monitoring Instrument (OMI, ver figura 3b) y el TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI), respectivamente.

RESULTADOS PRELIMINARES

Ciertas publicaciones han demostrado que debido a ENOS se registra una alteración en el ozono total de la región tropical, teniendo una variabilidad que se manifiesta a escala de tiempo característico de cerca de 4 años (Bojkov y Fioletov, 1996; Wang et al., 2011). Se ha demostrado que hay una diferencia longitudinal de la capa de ozono durante la ocurrencia del ENOS que ocasiona anomalías positivas en el Pacífico occidental y negativas en el Pacífico oriental, estas condiciones se invierten durante la ocurrencia de eventos La Niña (Bojkov, 1987; Zerefos et al., 1992; Manatsa y Mukwada, 2017).

En el avance de esta investigación se ha evaluado la consistencia de las mediciones de la capa de ozono obtenidas en el Observatorio de Huancayo (latitud: 12.05° sur, longitud: 75.32° oeste y altura: 3314 m s. n. m.) con el fotómetro solar Cimel desde marzo del 2015 respecto a las mediciones del sensor satelital OMI, que tiene una mayor antigüedad y regularidad desde octubre del 2004.

La base de datos obtenida a partir del fotómetro se inicia en marzo del 2015 y ha permitido evaluar su sensibilidad para registrar la variabilidad de la capa de ozono en esta ubicación de montaña. El coeficiente de variación (CV) es de solo 2.1 %, mientras que el sensor satelital tiene un CV de 3.5 %. Otra diferencia se encuentra en el rango de valores, donde el fotómetro tiene solo 18 UD, y el sensor satelital alcanza los 66 UD. Estos resultados indican que el fotómetro tiene menor sensibilidad para registrar las variaciones de la capa de ozono típicas de una ubicación tropical (Bojkov y Fioletov, 1996). Mayores datos serán necesarios para explicar esta sensibilidad diferente de ambos instrumentos.

La figura 3 muestra la evaluación de correlación existente entre ambos set de datos. Para el periodo marzo del 2015 a marzo del 2021, se ha obtenido una correlación moderada y estadísticamente significativa entre las mediciones del fotómetro Cimel y el sensor satelital OMI (R de Spearman = 63 % y p -value < 0.01). Se espera preparar evaluaciones adicionales para afinar tal correlación e identificar las limitaciones y ventajas de cada medición en esta zona montañosa del Perú. Asimismo, se realizará la correlación con los indicadores del ENOS en el periodo disponible.

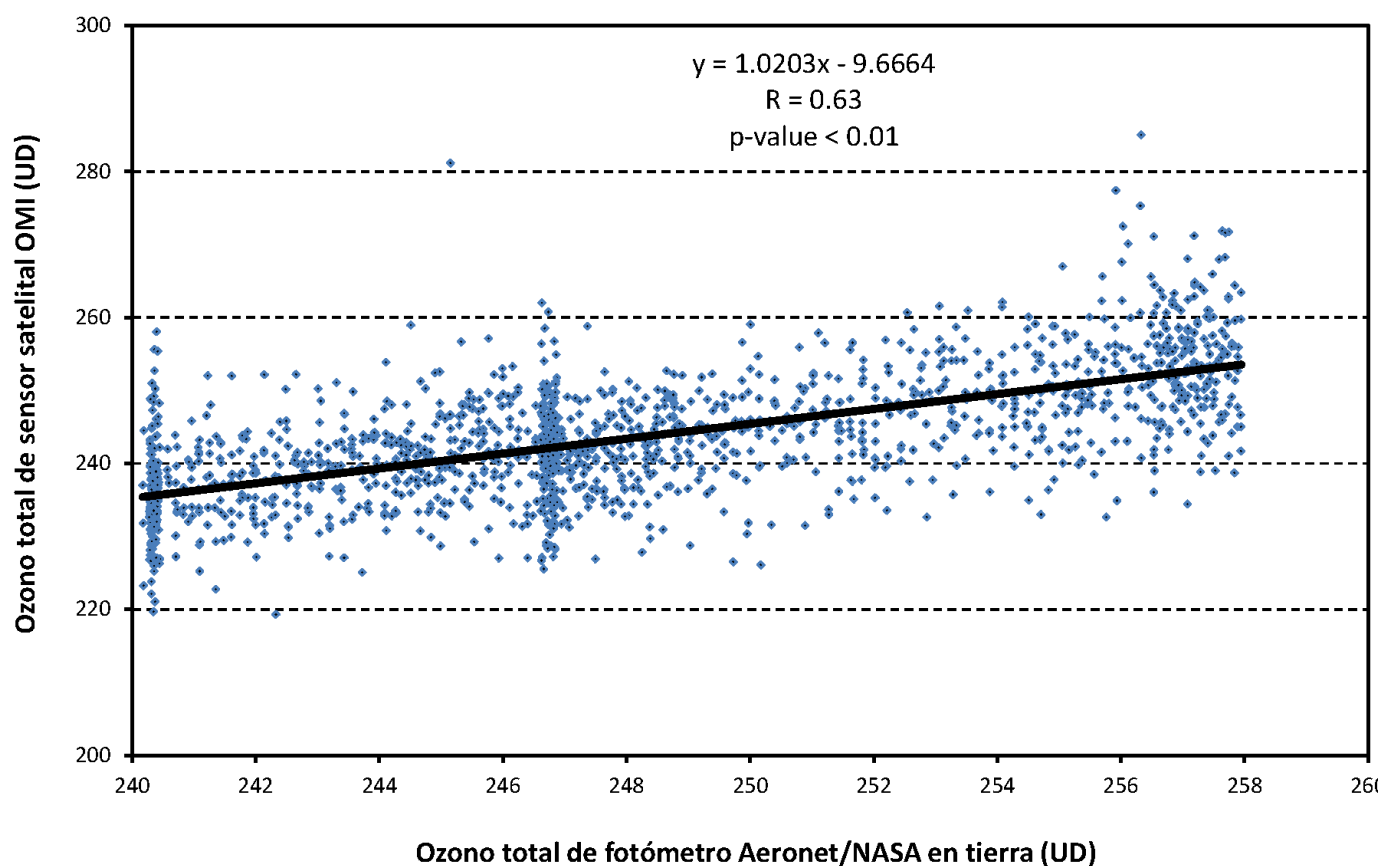


Figura 3. Evaluación de la variación de las mediciones de la columna de ozono total mediante el fotómetro solar Cimel CE-318T instalado en el Observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú y el sensor satelital Ozone Monitoring Instrument (OMI) de la NASA.

CONCLUSIONES

Se ha logrado reiniciar las mediciones de la capa de ozono en el Observatorio de Huancayo como parte de un programa regular de monitoreo de la atmósfera. Esto permitirá evaluar la calidad de los datos frente a otros sensores y, así mismo, evaluar su sensibilidad frente a eventos extremos.

Es necesario mejorar el entendimiento de la influencia del ENOS y otros procesos atmosféricos sobre la capa de ozono en la región andina donde los niveles de radiación UV son los más extremos del planeta, por lo que cualquier reducción tendría un importante impacto negativo en la salud humana y en los ecosistemas. Esto también debe de considerarse en el contexto de una atmósfera cambiante debido al cambio climático.

REFERENCIAS

Bojkov, R.D., (1987). The 1983 and 1985 anomalies in ozone distribution in perspective, *Monthly Weather Review*, 115, 2187-2201.

Bojkov, R.D., y Fioletov, V.E. (1996). Total ozone variations in the tropical belt: An application for quality controlled ground based measurements, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 58, 223-240.

Domeisen, D.I., Garfinkel, C.I., y Butler, A.H. (2019). The teleconnection of El Niño Southern Oscillation to the stratosphere. *Reviews of Geophysics*, 57, 5– 47.

Langematz, U. (2019). Stratospheric ozone: down and up through the anthropocene. *ChemTexts*, 5, 8. <https://doi.org/10.1007/s40828-019-0082-7>

Manatsa, D., y Mukwada, G. (2017). Ultraviolet solar radiation in the tropical central Andes (12.0°S), *Photochemical & Photobiological Sciences*; 16(6):954-971.

Wang, J., Pawson, S., Tian, B., Liang, M., Shia, R., Yung, Y.L., y Jiang, X. (2011). El Niño–Southern Oscillation in tropical and midlatitude column ozone, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 68(9), 1911-1921.

Zerefos, C.S., Bais, A.F., y Ziomas, I.C. (1992). On the relative importance of Quasi-Biennial Oscillation and El Nino/Southern Oscillation in the revised Dobson total ozone records, *Journal of Geophysical Research*, 97, 10135–10144.

Ziemke, J.R., Chandra, S., Labow, G.J., Bhartia, P.K., Froidevaux, L., y Witte, J.C. (2011). A global climatology of tropospheric and stratospheric ozone derived from Aura OMI and MLS measurements, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 9237–925.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP n.º 068/EL NIÑO-IGP/2021-5

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para abril (-0.76°C) y los valores temporales del ICEN para mayo y junio, se espera una condición climática neutra hasta junio. Por otro lado, para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de abril (-0.67°C) indica una condición fría débil, mientras que el valor del ONI temporal para mayo indica la condición neutra.

En la región del Pacífico ecuatorial oriental, según la información observada, tres ondas de Kelvin habrían arribado a la costa del Perú: una cálida, entre fines de abril e inicios de mayo; una fría de magnitud débil, durante mayo, y otra cálida entre fines de mayo e inicio de junio. De igual modo, se observa la propagación hacia el este, tanto de una onda de Kelvin fría en el Pacífico central como de una cálida en el Pacífico occidental.

El promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con la información oceánica y atmosférica de junio, continúan indicando hasta el mes de diciembre, condiciones dentro del rango neutral frente a la costa peruana. Por otro lado, en el Pacífico central, el promedio de los modelos de NMME indican condiciones neutras para los meses de junio y julio, y condiciones de frías débiles a moderadas de agosto a diciembre de 2021. Según estos resultados, el evento La Niña 2020-2021 habría terminado en mayo; sin embargo, se iniciaría otro evento frío a partir de agosto, el cual, de cumplirse, podría configurarse en un evento La Niña.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-05 en el siguiente link:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4956>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN n.º 06-2021

CALLAO, 11 DE JUNIO DE 2021

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO¹**

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado del “Sistema de alerta ante El Niño y La Niña Costeros” como “No activo”, debido a que la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantendrá, en promedio, dentro de su rango normal, al menos hasta setiembre de 2021. Asimismo, se espera que las temperaturas extremas del aire en la costa, en promedio, se mantendrán dentro de sus rangos normales, por lo menos hasta agosto de 2021.

En el Pacífico central, el evento La Niña 2020-2021 habría llegado a su fin en mayo del presente año. En esta región, se prevé que la TSM continúe dentro de lo normal, por lo menos hasta setiembre de 2021.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas, y actualizando sus perspectivas.



Foto: Roman Odintsov



**ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO “EL NIÑO”**

COMISIÓN MULTISECTORIAL
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL
DEL FENÓMENO “EL NIÑO” (ENFEN)
DECRETO SUPREMO n.º 007-2017-PRODUCE

¹El Estado del Sistema de Alerta “No Activo” se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN n.º 06-2021 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-06-2021/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4947>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 https://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/IGP_videos