



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Caracterización temporal
del espesor óptico de
aerosoles y su relación
con las infecciones
respiratorias agudas

Pág. 4

Análisis espectral
del nivel del mar para
el estudio de ondas
ecuatoriales largas

Pág. 12

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 19

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 20

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 7 N° 08 Agosto 2020



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

CRÉDITOS

Kirla Echegaray Alfaro

Ministra del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Danny Scipión Castillo

Director Científico

Yamina Silva Vidal de Millones

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Katherine Morón Rodríguez

Dirección y Diagramación:

Gianna Faccin Zaconett

Directora creativa

Ameli Bautista Ramirez

Martin Gonzales Vicente

Diseño y diagramación

Carátula: Observatorio de Huancayo - IGP

Foto: Manuel Román Piñas Laura

Lima, agosto 2021

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal N° 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

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 investigación. El primero, titulado "Caracterización temporal del espesor óptico de aerosoles y su relación con las infecciones respiratorias agudas" presenta el análisis de la carga de aerosoles y las enfermedades respiratorias registradas en el distrito de Huachac, provincia de Chupaca, región Junín. Los resultados demuestran que no existe una relación directa entre ambos parámetros, y por lo tanto, no se puede decir que los aerosoles son el principal factor de las infecciones respiratorias registradas para los pobladores.

El segundo artículo, titulado "Análisis espectral del nivel del mar para el estudio de ondas ecuatoriales largas" identifica las ondas observadas en los datos de anomalía del nivel del mar. Los resultados preliminares muestran periodos y longitudes de onda características para las ondas de Kelvin y Rossby respectivamente.

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. En esta edición el informe indica que en la actualidad se observan condiciones neutras tanto para la región frente a la costa peruana como para el Pacífico central. Los modelos muestran un escenario ligeramente frío, tanto en el Pacífico central como oriental, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de setiembre de 2020, la cual se extendería hasta febrero de 2021. Esto se traduce en el desarrollo de un evento La Niña en el Pacífico central.

Al final de este boletín también se incluye el resumen del Comunicado Oficial del ENFEN, indicando el estado del sistema de alerta a "Vigilancia de La Niña Costera" debido a que se viene observando un enfriamiento anómalo de las temperaturas del mar y del aire frente a la costa del Perú y es más probable que estas persistan, configurando el desarrollo de un evento La Niña Costera de magnitud débil hasta fin de año. 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.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

CARACTERIZACIÓN TEMPORAL DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES Y SU RELACIÓN CON LAS INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS

María Violeta Gonzales Pérez ¹ y René Estevan Arredondo ²

RESUMEN

Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera. Su alta concentración, así como determinados tipos de aerosoles, pueden causar daños a la salud humana. El objetivo de este trabajo es relacionar el Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) con las infecciones respiratorias agudas (IRAs). El EOA es una medida de la dispersión y absorción de luz visible por las partículas de aerosoles en la columna vertical de la atmósfera. Este indicador en conjunto con el Exponente de Ångström (EA o α) nos permiten caracterizar los aerosoles atmosféricos, siendo herramientas útiles para el análisis de la calidad del aire.

En tal sentido, se caracterizó la variación diurna, mensual, estacional y tipos de aerosoles con datos registrados por el fotómetro CIMEL 318T de la red AERONET, operado en la estación del IGP en Huancayo (nivel 2.0, $\lambda = 440$ nm), durante el período comprendido entre marzo de 2015 y diciembre de 2017. La evaluación estadística de la relación entre los aerosoles e IRAs se realizó mediante el análisis de correlación de Pearson (r). De acuerdo a los resultados obtenidos, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre estas dos variables, por lo que los casos de IRAs estarían más relacionadas a otros factores de riesgo, como climáticos y socioculturales.

El artículo científico original se encuentra en: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4882>

Palabras clave: Aerosoles, espesor óptico de aerosoles (EOA), coeficiente de Ångström (EA o α), infecciones respiratorias agudas (IRAs).

AFILIACIÓN:

1. Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP).
1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como: Gonzales, M., Estevan, R. (2020). Caracterización temporal del espesor óptico de aerosoles y su relación con las infecciones respiratorias agudas. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 7 N° 08. pág. 4-10.

INTRODUCCIÓN

El papel de los aerosoles atmosféricos en la calidad del aire y la salud pública es un tema latente en el Perú y viene despertando interés en la comunidad científica. Diversas metodologías e instrumentos han sido desarrollados en los últimos años, con el objeto de obtener información global y regional, que permita caracterizar la variabilidad e informar sobre las posibles fuentes de los aerosoles atmosféricos. De acuerdo a Estevan et al. (2019), la caracterización de los aerosoles depende de las condiciones geográficas, además de la combinación de fuentes específicas y su tiempo de vida, lo que explica su distribución no uniforme en todo el planeta.

A partir de mediciones de la radiación directa emitida por el sol se puede estimar un parámetro óptico de los aerosoles atmosféricos conocido como espesor óptico de aerosoles (EOA). El EOA se puede interpretar como la carga total de aerosoles en la columna atmosférica. Complementariamente a este parámetro se determina el exponente de Ångström (EA), el cual permite identificar el tamaño de los aerosoles, donde valores de $EA < 0.5$ indican presencia de partículas grandes y valores de $EA > 1.5$ indican predominio de partículas pequeñas.

Según Dubovik & King (2000), la teledetección terrestre se ha convertido en una técnica poderosa para caracterizar los aerosoles suspendidos, los cuales, afectan el balance radiativo, el clima y ocasiona problemas de salud, sobre todo en las vías respiratorias (Andreae, 1995). Estudios epidemiológicos y toxicológicos demuestran los efectos en la salud de las personas y poblaciones expuestas a contaminantes del aire, ya sea en espacios interiores y exteriores (Oeder et al., 2012). Dichos estudios están relacionados principalmente a los efectos en la salud de los materiales particulados PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁. Especial interés se presenta en las partículas PM_{2.5} debido a que son las más fáciles de ingresar a las vías respiratorias y pulmones.

Las infecciones respiratorias agudas (IRAs), de acuerdo a la "Décima revisión de la clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud" (Organización Panamericana de la Salud, 1995), son eventos frecuentes en la población y se definen como toda afección que compromete una o más partes del aparato respiratorio (Valero et al., 2009), de evolución rápida y de corta duración (desde unas pocas horas hasta un máximo de 15 días). El objetivo de este trabajo es caracterizar los aerosoles atmosféricos y determinar la relación entre el EOA (obtenidos de la estación IGP-Huancayo, de la Red AERONET) e IRAs (número de casos registrados en el distrito de Huachac, zona rural de la provincia de Chupaca, región Junín) para el periodo comprendido desde marzo del 2015 hasta diciembre del 2017.

DATOS Y METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de Huáchac se ubica en la provincia de Chupaca, región Junín a una altitud promedio de 3315 msnm. Tiene una población estimada de 3 946 habitantes, de los cuales 2031 son mujeres y 1915 son varones.

SITIO DE MUESTREO

El fotómetro solar CIMEL 318T, es un equipo que pertenece a la Red AERONET (Aerosol Robotic Network - AERONET, 2018), coordinada por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), está instalado en el Observatorio de Huancayo (12.040 °S, 75.321 °O, 3314 m s. n. m.) desde el 19 de marzo del 2015. Los datos del EOA corresponden al periodo de muestreo comprendido desde marzo del 2015 hasta diciembre del 2017.

ANÁLISIS DE DATOS

Para la caracterización de los aerosoles se utilizó el diagrama de dispersión entre EOA y EA en el rango de 440-870 nm utilizando datos del fotómetro solar CIMEL 318 T, nivel 2.0 de calidad y precisión, según el procesamiento realizado por la NASA, en la longitud de onda $\lambda = 440$ nm.

Para determinar el posible origen de los aerosoles se empleó el modelo HYSPLIT (por las siglas en inglés de Trayectoria Integrada Lagrangiana de Partícula Única desarrollada por (NOAA, 2019). Se establecieron las trayectorias de las masas de aire para deducir las posibles fuentes de los aerosoles.

Los datos de las IRAs provienen de registros HIS (por las siglas en inglés de Sistema de Información Hospitalaria) del Centro de Salud del distrito de Huachac, DIRESA Junín. Se realizó la clasificación y el conteo de acuerdo a la décima versión de la clasificación internacional de enfermedades, específicamente en enfermedades del sistema respiratorio - infecciones respiratorias agudas de las vías respiratorias superiores. Se dividió en 3 grupos etarios (niños, jóvenes y adultos, y la tercera edad), además de considerar el sexo del paciente. Para determinar la significancia estadística entre las variables ambientales y de salud se usó el análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE AEROSOLES

La figura 1 muestra, en el panel izquierdo, los diagramas de dispersión entre el Espesor Optico de Aerosoles (EOA) y el exponente de Ångström (EA), así como el porcentaje por tipos de aerosoles (panel derecho de la figura) para los meses con valores más altos de EOA registrados. Basándose en la clasificación de Esteban et al. (2019), los aerosoles medidos en la estación IGP- Huancayo, se clasificaron en seis tipos: Continental (CNT), Urbano (URB), Mezcla (MIX), Polvo (PVO), Marítimo (MAR) y Biomasa (BIO).

A partir de esta clasificación se realizó la caracterización temporal mensual para cada año durante el periodo de estudio. Y con el uso del modelo *HYSPPLIT* se determinan las trayectorias de las masas de aire para verificar si existen fuentes de aerosoles como incendios forestales, zonas industriales y otros. Es de resaltar que en el año 2017 ocurrió el fenómeno llamado El Niño costero, lo cual podría explicar la presencia de aerosoles del tipo BIO en el mes de noviembre para ese año. Durante los años 2015 y 2016, los aerosoles del tipo BIO se registran en el mes de setiembre. La presencia de aerosoles del tipo MAR podría estar relacionada con la intensificación de la brisa marina en la costa, favoreciendo la penetración de humedad hacia la cordillera de los Andes y arrastrando consigo partículas de sal.

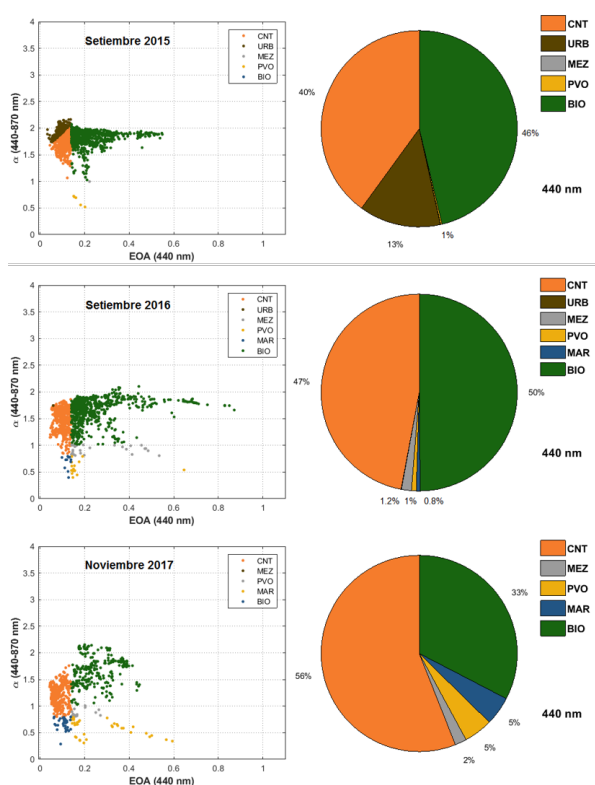


Figura 1. Panel Izquierdo: Diagrama de dispersión entre el Espesor Optico de Aerosoles (EOA) y el exponente de Ångström EA (α) durante los meses que presentaron mayor valor de EOA (440 nm). Panel Derecho: Porcentajes por tipos de aerosoles para las fechas indicadas según la clasificación Continental (CNT), Urbano (URB), Mezcla (MIX), Polvo (PVO), Marítimo (MAR) y Biomasa (BIO).

ANÁLISIS DE DATOS DE IRAs

En la tabla 1 se muestra los resultados del número de casos de infecciones respiratorias agudas por grupo etario (para el periodo: marzo 2015 a diciembre 2017) donde se evidencia que dentro del grupo etario niños, entre 1 a 4 años, se presenta el mayor registro de IRAs. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (1995), "las IRAs, son una de las causas más comunes de mortalidad en niños de los países en vías de desarrollo, cada niño registra unas 6 a 8 infecciones respiratorias agudas anualmente hasta los cinco años aproximadamente". Esto podría ser a causa de una mala nutrición, lactancia deficiente o madre muy joven. Entre otros factores de riesgo se incluyen los climáticos y genéticos. Mientras que el grupo etario tercera edad, personas mayores de 60 años, también presentan un porcentaje considerable en los registros de IRAs. Los factores de riesgo para este grupo están asociados al hábito de fumar, malos hábitos alimentarios y el sedentarismo (Linares et al., 2014).

Tabla 1: Número de casos de infecciones respiratorias agudas por grupo etario – periodo 2015-2017
(Fuente: Sistema de Información Hospitalaria - Centro de salud del distrito de Huachac, DIRESA Junín)

Grupo Etario	Edad	Nº de Casos IRAs	% IRAs
Niños	< 29 d	6	0,17
	29 - 59 d	8	0,23
	2 - 11 m	247	7,13
	1 - 4 a	683	19,72
	5 - 11 a	521	15,04
Jóvenes Adultos	12 - 19 a	374	10,79
	20 - 59 a	1064	30,72
Tercera Edad	> 60 a	561	16,20
Total		3464	100

CORRELACIÓN ENTRE EOA E IRAS

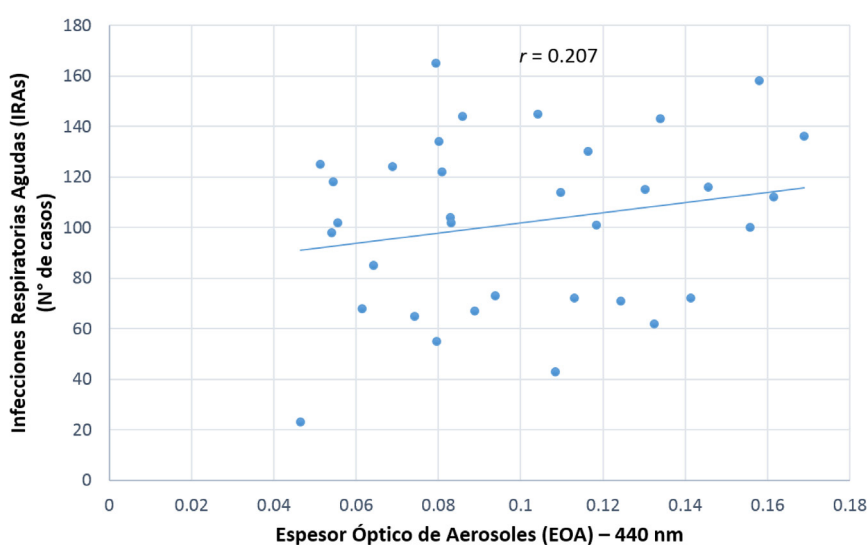


Figura 2 Diagrama de dispersión entre EOA (440 nm) e IRAs, durante el periodo 2015 - 2017 Distrito de Huachac.

En la tabla 2 se observa el número de muestras (N=34) que corresponde a la información a paso de tiempo mensual durante el periodo de estudio: 2015 (10 meses), 2016 (12 meses) y 2017 (12 meses). Para el EOA son los promedios mensuales y para las IRAs son los números de caso por meses.

De acuerdo al diagrama de dispersión (figura 2) y los resultados presentados en la tabla 2, se observa un $r = 0.207$. Dicho valor indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre los datos ambientales y la salud. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.043$ indica que la variación del EOA solo explica el 4.3 % de la ocurrencia de infecciones respiratorias agudas. La covarianza hallada $SXY = 0.247$ indica una relación directa.

Tabla 2: Correlación de Pearson entre datos registrados de EOA y de IRAs periodo 2015 -2017 en el distrito de Huachac – Chupaca – Junín.

EOA (440nm)	IRAs
Correlación de Pearson	0.207
p - valor	0.237
SXY	0.247
N	34

Tabla 3: Correlación de Pearson con datos registrados de EOA y de IRAS periodo 2015 -2017 por grupos etarios para el distrito de Huachac, provincia de Chupaca, región Junín

Grupo Etario	Edad	p - valor	r	R ²
Niños	< 29 d	0.566	-0.102	0.01
	29 - 59 d	0.257	0.2	0.04
	2 - 11 m	0.626	-0.087	0.008
	1 - 4 a	0.6	0.093	0.009
	5 - 11a	0.372	0.158	0.025
Jóvenes	12 - 19 a	0.146	0.255	0.065
Adultos	20 - 59 a	0.171	0.241	0.058
Tercera Edad	> 60 a	0.169	0.241	0.058

De acuerdo a la tabla 3, cada grupo etario tiene correlaciones variables. Para el grupo etario niños, en las edades comprendidas entre <29 días y de 2 - 11 meses, las correlaciones son negativas, quiere decir que a mayor EOA, habrá menor número de casos de IRAs. Entre las edades (29-59 días, 1-4 años y 5-11 años), se obtienen correlaciones positivas muy bajas (valores de r: 0.200, 0.093 y 0.158 respectivamente). En los grupos de jóvenes, adultos y tercera edad, las correlaciones que se registran son bajas (valores de r: 0.255, 0.241 y 0.241 respectivamente). De acuerdo a la fortaleza de las correlaciones están acotadas entre bajas y muy bajas, no siendo estadísticamente significativas.

Con respecto al análisis de correlación entre EOA y el sexo de los pobladores se obtiene el valor de $r = 0.28$ para el sexo masculino y $r = 0.141$ para el sexo femenino, en ambos casos existe una correlación baja y no significativa. De acuerdo a Arias et al. (1992) mencionan que el sexo masculino tiene mayor predisposición a adquirir una infección respiratoria aguda. Estudios como Takahashi et al. (2020) atribuyen a que es el sexo masculino quien se ve más afectado con estas enfermedades porque tienen un sistema inmunológico mucho más débil en comparación con el de las mujeres.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Existe baja correlación ($r = 0.207$) entre el espesor óptico de aerosoles (EOA) y las infecciones respiratorias agudas (IRAs), durante el periodo de estudio (2015 -2017), en Huachac, zona rural de la provincia de Chupaca, región Junín.
2. La caracterización del EOA en el canal de 440 nm en el Observatorio de Huancayo muestra mayor presencia de aerosoles del tipo BIO en los meses de setiembre (2015-2016) y noviembre (2017), coincidiendo con las condiciones climáticas prevaletentes y los numerosos brotes de quemaduras e incendios registrados en la región, los cuales son una fuente importante de aerosoles de ese tipo.
3. De acuerdo al análisis estadístico, la relación entre EOA e IRAs, respecto a cada grupo etario, no son significativas, lo que indica que existen otros factores de riesgo como las climáticas, socioculturales y genéticas, que condicionan la prevalencia e incidencia de estas patologías.
4. De acuerdo al análisis estadístico, son los varones que tienen mayor predisposición a tener cualquier patología relacionada con IRAs ($r = 0.284$) con respecto a las mujeres ($r = 0.141$), aunque estos resultados no son estadísticamente significativos, para este estudio.

REFERENCIAS

AERONET. (2018). AERONET Data Display—Site: Huancayo-IGP. https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type_one_station_opera_v2_new?site=Huancayo-IGP&nachal=2&level=1&place_code=10

Andreae, M. O. (1995). *Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels*. En *World Survey of Climatology* (Vol. 16, pp. 347-398). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0168-6321\(06\)80033-7](https://doi.org/10.1016/S0168-6321(06)80033-7)

Arias, S. J., Benguigui, Y., & Bossio, J. C. (1992). *Infecciones respiratorias agudas en las Americas: Magnitud, tendencia y avances en el control*. Organizacion Panamericana de la Salud. PALTEX.

Dubovik, O., & King, M. D. (2000). *A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D16), 20673-20696. <https://doi.org/10.1029/2000JD900282>

Estevan, R., Martínez-Castro, D., Suarez-Salas, L., Moya, A., & Silva, Y. (2019). *First two and a half years of aerosol measurements with an AERONET sunphotometer at the Huancayo Observatory, Peru*. *Atmospheric Environment: X*, 3, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100037>

Linares H.I, Hidalgo S.C, Echemendía S.D, & Reyes C.M. (2014). *Factores de riesgo asociados a infecciones respiratorias en adultos mayores, Banao, Sancti Spiritus, 2013*. Facultad de Tecnología de la Salud, *Revista Cubana de Tecnología de la Salud; Suplemento Especial II Convención "Tecnología y Salud"*.

NOAA. (2019). *Air Resources Laboratory—HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model*. <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>

Organización Panamericana de la Salud, O. M. de la S. (Ed.). (1995). *Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud: Vol. Volumen 1 (Décima revisión. [10a rev.]*). OPS, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.

Oeder, S. D., I. Weichenmeier, W. S., G. Pusch, R. A. J., & R. Schi. (2012). *Toxicity and elemental composition of particulate matter from outdoor and indoor air of elementary schools in Munich, Germany*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00743.x>

Takahashi, T., Ellingson, M. K., Wong, P., Israelow, B., Lucas, C., Klein, J., Silva, J., Mao, T., Oh, J. E., Tokuyama, M., Lu, P., Venkataraman, A., Park, A., Liu, F., Meir, A., Sun, J., Wang, E. Y., Casanovas-Massana, A., Wyllie, A. L., ... Iwasaki, A. (2020). *Sex differences in immune responses that underlie COVID-19 disease outcomes*. *Nature*, 588(7837), 315-320. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2700-3>

Valero, N., Larreal, Y., Arocha, F., Gotera, J., Mavarez, A., Bermudez, J., Moran, M., & Maldonado, M. (2009). *Etiología viral de las infecciones respiratorias agudas*. *Investigación Clínica*, 11.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS ESPECTRAL DEL NIVEL DEL MAR PARA EL ESTUDIO DE ONDAS ECUATORIALES LARGAS

Gerardo Rivera Tello ¹ y Kobi Mosquera ¹

RESUMEN

Dentro de las fases cálida y fría del El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), las ondas ecuatoriales juegan un rol importante tanto en su activación como terminación. Basándose en la teoría clásica de ondas, la aproximación lineal de agua somera en un plano ecuatorial beta presenta soluciones de onda que siguen una relación de dispersión, la cual depende de su longitud de onda y frecuencia. El presente trabajo tiene como objetivo identificar las ondas observadas en los datos de anomalía del nivel mar mediante las curvas de dispersión y compararlas con las curvas teóricas. Para esto se calculan los coeficientes de proyección meridional en base a la data observada y se identifican las bandas principales de actividad tanto en la frecuencia como en el número de onda. Los resultados preliminares muestran actividad de ondas de Kelvin concentradas en la banda de 30-100 días y 8880-11100 km (80° - 100°), mientras que para las ondas Rossby se encuentran entre 27-37 días y 1110-2220 km (10° - 20°).

Palabras clave: *Ondas de Kelvin, Ondas de Rossby, diagrama de dispersión, proyección meridional y filtrado espectral.*

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como: Rivera, G., Mosquera, K. (2020). Análisis espectral del nivel del mar para el estudio de ondas ecuatoriales largas. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 08. pág. 12-17.*

INTRODUCCIÓN

Las ondas oceánicas en el Pacífico ecuatorial son perturbaciones que transportan energía a lo largo de toda la cuenca y tienen impacto en otras variables oceanográficas. Las características de su propagación han sido estudiadas extensivamente tanto en la teoría, basándose principalmente en aproximaciones lineales de las ecuaciones de momento, como en la observación. Estudios recientes han empleado métodos espectrales para determinar el gráfico de dispersión y velocidad de propagación de las señales observadas en distintas latitudes (Cravatte et al., 2004; Farrar, 2008; Farrar & Durland, 2012; Mosquera, 2015; Wakata, 2007), encontrando una alta correspondencia con la teoría lineal de ondas. Sin embargo, el costo computacional de aplicar dichos métodos es alto debido a la resolución espacial y temporal de los datos satelitales actuales, además de trabajar en un dominio meridional restringido. En base a esto, se desarrolla una metodología que hace uso de los coeficientes de proyección meridional, la cual permite: manejar menos dimensiones para acelerar el cálculo, resumir la señal latitudinal al ser obtenido de la integración de los datos observados con las estructuras meridionales teóricas, y remover la necesidad de limitar nuestro dominio latitudinal caso por caso.

DATOS Y METODOLOGÍA

DATOS

Los datos de altimetría fueron obtenidos del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) (<http://www.marine.copernicus.eu>) como producto grillado procesado a un "nivel 4" (L4, por sus siglas en inglés), el cual cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de 0.25° (AVISO/CLS, 2016; Pujol et al., 2016). Estas observaciones se componen de una combinación de múltiples misiones satelitales que han sido homogeneizadas respecto a una misión de referencia, que en actualidad es OSTM/JASON-2. Se usó la totalidad de la serie de tiempo para los datos reprocesados L4 (enero de 1993 – octubre de 2019) junto a una parte de los datos en tiempo real (octubre de 2019 – agosto de 2020), bajo el mismo nivel de procesamiento, distribuido también por CMEMS. Finalmente, el periodo base (climatología) para el cálculo de las anomalías fue desde enero de 1993 hasta diciembre del 2019.

DESCOMPOSICIÓN MERIDIONAL

Las anomalías del nivel del mar se descompusieron meridionalmente siguiendo el método descrito por Boulanger y Menkes (1995), el cual ha sido implementado y estudiado en el IGP como uno de los productos de monitoreo para el desarrollo del ENOS (Aparco et al., 2015; Rivera & Mosquera, 2019). A fin de reducir la dimensionalidad de los datos, y facilitar el análisis computacional, se hace uso de los coeficientes de proyección obtenidos en los pasos intermedios del método de descomposición meridional. Cabe aclarar que el método desarrollado en Boulanger & Menkes (1995) no ajusta los datos para forzar la visualización de la propagación

de ondas en las distintas estructuras, sino que proyecta los datos sobre las estructuras teóricas, facilitando la observación de las ondas en caso de que existieran. Para el presente avance de investigación se hicieron uso de los primeros 6 modos meridionales de Rossby, formando parte de la componente simétrica los modos de número impar (1,3,5), y de la componente asimétrica los de número par (2, 4, 6).

DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

Una herramienta útil para el diagnóstico de la propagación de ondas es el diagrama de dispersión obtenido a base de transformaciones del espacio longitud-tiempo a número de onda – frecuencia. En base a la teoría lineal, la ecuación de dispersión dimensional para ondas largas de baja frecuencia se encuentra dado por la siguiente relación (Vallis, 2017):

$$\omega = \frac{-\beta k}{(2m + 1)\beta/c + k^2}$$

Donde $\beta=2.29 \times 10^{-11} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ es el parámetro de Coriolis y $c=2.7 \text{ ms}^{-1}$ es la velocidad media para una onda de gravedad del primer modo baroclínico.

El diagrama de dispersión de los datos observados es obtenido mediante transformadas de Fourier sucesivas tanto en el espacio como en el tiempo. Para su aplicación en el espacio, primero se completa con ceros en el sentido oeste-este a fin de contar con $N_x = 1024$ datos, sin realizar ningún tipo de segmentación, ya que se desea obtener la mayor resolución posible en el espacio número de onda. Por otro lado, una vez obtenido el espectro de numero de onda, se segmenta la serie en la dimensión del tiempo en 10 segmentos con longitudes de 1095 días (3 años) sin sobreposición usando un taper de Kaiser-Bessel ($\alpha=3$). Este método se aplicó sobre el modo meridional de Kelvin y los 6 primeros modos meridionales de Rossby para luego promediar los resultados, aumentando de esta manera los grados de libertad del sistema (aproximadamente $2 \times 10 \times 7$), valor que afecta solamente en la estimación de los contornos de significancia. Finalmente, una vez obtenido el espectro promedio, se realizó suavizados múltiples en el espacio (40 veces) y en el tiempo (20 veces) usando un filtro 1-2-1 a fin de obtener un estado base estimado. Este suavizado se aplicó siguiendo el ejemplo de Wheeler & Kiladis (1999) a fin de reducir cualquier señal periódica que se encuentre presente en el espectro tanto en una frecuencia como numero de onda específico resultando en un espectro de fondo que represente procesos aleatorios o no periódicos. Igual al espectro base obtenido por Wheeler & Kiladis (1999) para OLR, esta estimación tiene un comportamiento de ruido rojo debido a las concentraciones en bajas frecuencias y bajos números de onda. La división de este estado base sobre las estimaciones espectrales puede ser interpretado como niveles de significancia, resaltando los picos que se encuentran significativamente por encima del espectro base en un nivel de confianza del 95% para los 140 grados de libertad aproximados.

RESULTADOS

El diagrama de dispersión promedio obtenido para los coeficientes de proyección (Figura 1), dividido por el estado base, muestra picos espectrales característicos de ondas que se propagan hacia el este (Kelvin) y, en menor intensidad, de señales que se propagan hacia el oeste (Rossby). Para el primer caso, la señal se concentra a lo largo de la curva de dispersión de Kelvin en periodos de 30 a 100 días, con mayor intensidad a partir de los 40 días, y con longitudes de onda entre 8880 km (80°) y 11100 km (100°). A su vez, la señal espectral de las ondas que se propagan hacia el oeste se concentra cerca a la curva de dispersión $n=1$ correspondiente a Rossby, en periodos de 27 a 37 días, con longitudes de onda entre 1110 km (10°) y 2220 km (20°). Cabe notar que no se

observa la presencia de picos significantes alrededor de las curvas $n=2$ y $n=3$, por lo que solo nos centraremos en el primer modo de Rossby. El diagrama de dispersión obtenido usando datos observados sirve para determinar los intervalos en el diseño del filtro pasa-banda. Usando los intervalos mencionados para los picos significantes de Kelvin y Rossby, se filtran los coeficientes de proyección para retener solamente las señales de interés y sin realizar ningún suavizado o segmentado a los espectros, ya que se desea reconstruir la serie completa usando la transformada de Fourier inversa.

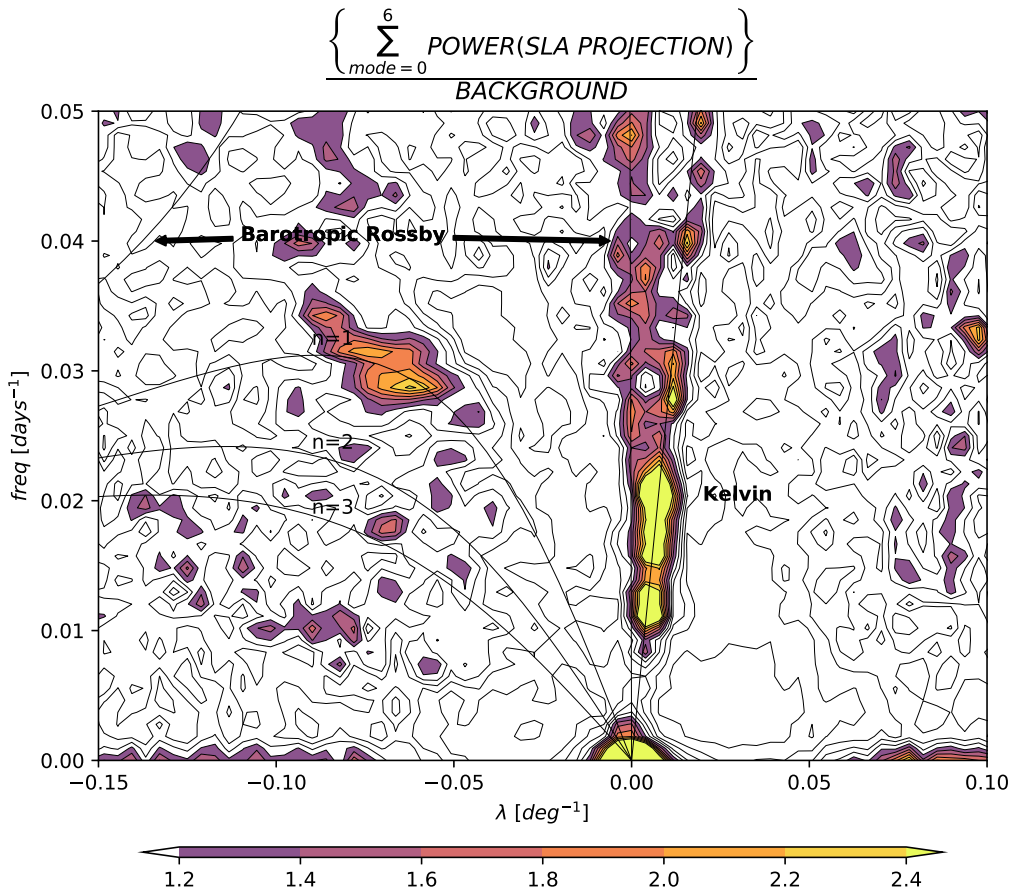


Figura 1. Densidad espectral estimada para la suma de componentes meridionales de Kelvin (0) y Rossby (1-6) dividido por el estado base estimado. Los contornos comienzan en 0 y tienen intervalos cada 0.2. Los contornos sombreados comienzan a partir de 1.2, valor para el cual la señal es considerada estadísticamente significativa al 95% de confianza (basado en 140 grados de libertad). Sobrepuesto se encuentran las curvas de dispersión teóricas para Kelvin, Rossy barotrópico y para Rossby de modo $n=1, 2, 3$.

Los coeficientes de proyección filtrados pueden ser usados para reconstruir el campo de anomalías del nivel del mar, o para ser analizados como variable independiente, tal como se observa en la figura 2, para el periodo 2017-2019.

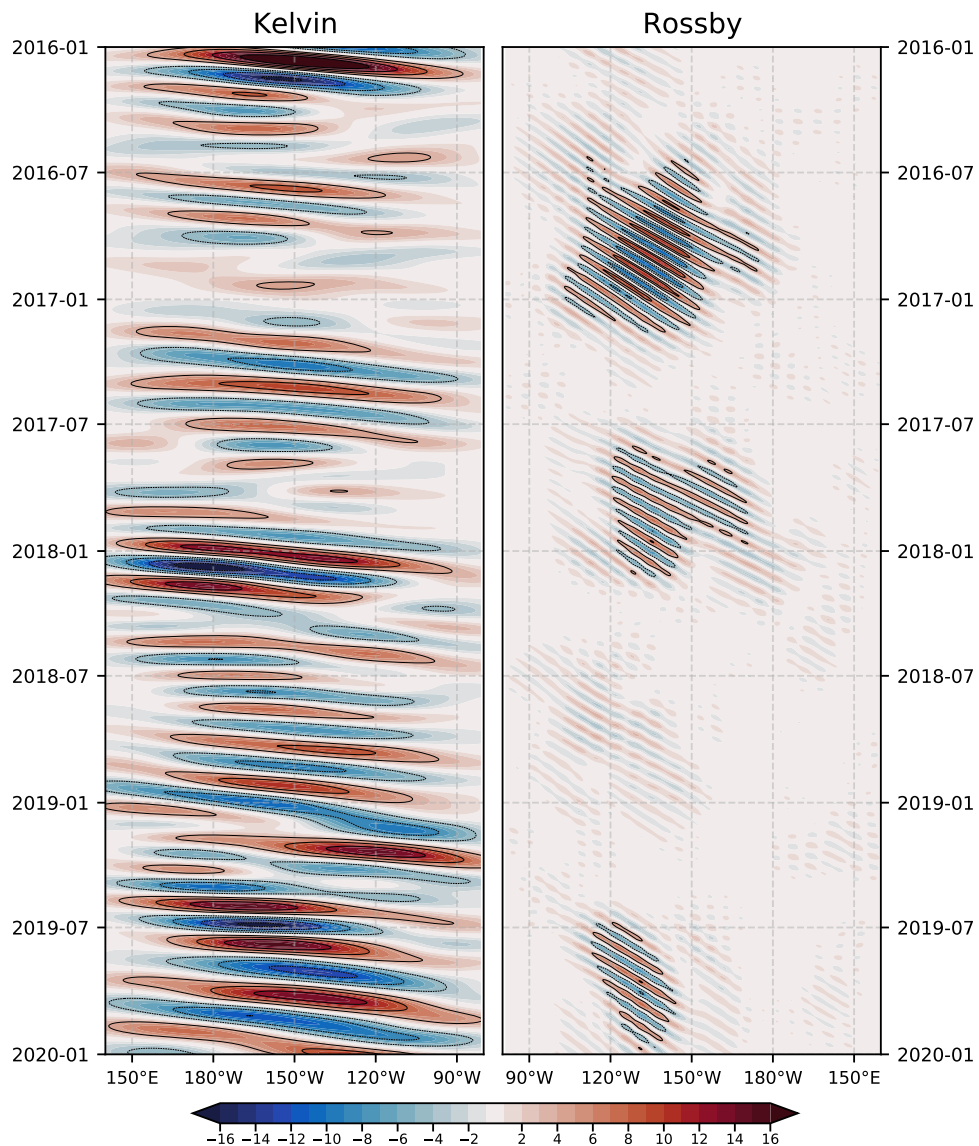


Figura 2. Coeficientes de proyección filtrados usando las bandas que contienen una alta señal espectral en el gráfico de dispersión. (izquierda) Coeficiente de proyección de Kelvin en la banda 40-100 días, 80°-100°. (derecha) Coeficiente de proyección de Rossby en la banda 27-37 días, 10°-20°.

COMENTARIOS

La ventaja principal del uso de los coeficientes de proyección es la reducción en el manejo de dimensiones, acelerando de esta manera las estimaciones computacionales que involucran la transformada de Fourier. Los datos filtrados pueden ser usados como herramienta de diagnóstico a eventos del ENOS pasados a fin de evaluar el rol de ondas ecuatoriales dentro de bandas específicas. Cabe resaltar que estudios previos, usando metodologías espectrales similares (Farrar, 2011; Farrar & Durland, 2012), encontraron que los datos distribuidos por CMEMS no otorgan una estimación espectral adecuada debido a la matriz de covarianza usada en el proceso de interpolación óptima, por lo que la recomendación sería la de realizar un grillado a base de los productos nivel 2 con un esquema conservativo.

El siguiente paso es usar las funciones ortogonales empíricas a los datos filtrados con la finalidad de obtener un índice que permita estimar de manera sencilla las distintas fases de la propagación, o la actividad de las ondas ecuatoriales. Esto permitirá el análisis de las mismas en tiempo real, similar a lo realizado por Rydbeck et al. (2019) con anomalía del nivel del mar, o Takahashi et al. (2011) con los índices E y C para el caso de la temperatura superficial del mar.

REFERENCIAS

Aparco, J., Pareja, D., & Mosquera, K. (2015). *Proyección de las anomalías del nivel del mar sobre las ondas oceánicas ecuatoriales largas*. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 2(1), 9–10.

AVISO/CLS. (2016). *SSALTO/DUACS User Handbook: MSLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products (Technical Report 5.0; CLS-DOS-NT-06-034)*.

Boullanger, J.-P., & Menkes, C. (1995). *Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992–1993 El Niño*. *Journal of Geophysical Research*, 100(C12), 25041.

Cravatte, S., Boullanger, J.-P., & Picaut, J. (2004). *Reflection of intraseasonal equatorial Rossby waves at the western boundary of the Pacific Ocean: INTRASEASONAL EQUATORIAL ROSSBY WAVES*. *Geophysical Research Letters*, 31(10).

Farrar, J. T. (2008). *Observations of the Dispersion Characteristics and Meridional Sea Level Structure of Equatorial Waves in the Pacific Ocean*. *Journal of Physical Oceanography*, 38(8), 1669–1689.

Farrar, J. T. (2011). *Barotropic Rossby Waves Radiating from Tropical Instability Waves in the Pacific Ocean*. *Journal of Physical Oceanography*, 41(6), 1160–1181.

Farrar, J. T., & Durland, T. S. (2012). *Wavenumber–Frequency Spectra of Inertia–Gravity and Mixed Rossby–Gravity Waves in the Equatorial Pacific Ocean*. *Journal of Physical Oceanography*, 42(11), 1859–1881.

Mosquera, K. (2015). *Intraseasonal Oceanic Kelvinwave and the Central Pacific El Niño events [Ph.D.]*. Université Paul Sabatier.

Pujol, M.-I., Faugère, Y., Taburet, G., Dupuy, S., Pelloquin, C., Ablain, M., & Picot, N. (2016). *DUACS DT2014: The new multi-mission altimeter data set reprocessed over 20 years*. *Ocean Science*, 12(5), 1067–1090.

Rivera, G., & Mosquera, K. (2019). *Contribución meridional de los vientos y el nivel del mar desde la perspectiva de ondas oceánicas ecuatoriales largas en un océano sin fronteras*. *Boletín Técnico "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"*, 6(8), 10–13. Repositorio institucional - IGP.

Rydbeck, A. V., Jensen, T. G., & Flatau, M. (2019). *Characterization of Intraseasonal Kelvin Waves in the Equatorial Pacific Ocean*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). *ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño*. *Geophysical Research Letters*, 38(10).

Vallis, G. K. (2017). *Atmospheric and oceanic fluid dynamics: Fundamentals and large-scale circulation (2nd edition)*. Cambridge University Press.

Wakata, Y. (2007). *Frequency-wavenumber spectra of equatorial waves detected from satellite altimeter data*. *Journal of Oceanography*, 63(3), 483–490.

Wheeler, M., & Kiladis, G. N. (1999). *Convectively Coupled Equatorial Waves: Analysis of Clouds and Temperature in the Wavenumber–Frequency Domain*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56(3), 374–399.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP N°068/EL NIÑO -IGP/2020-07



Foto: Roger Manay

El presente informe es elaborado por el IGP y sirve como insumo para el informe técnico y Comunicado Oficial de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). Se presentan los principales resultados de los modelos climáticos con el pronóstico de El Niño. En ocasiones puede diferir del comunicado del ENFEN, debido a que el comunicado es un consenso. En caso de discrepancias entre el informe técnico de El Niño emitido por el IGP y el comunicado del ENFEN, prevalecerá el comunicado del ENFEN.

El Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de junio de 2020 indica la condición climática Neutra frente a la costa norte y centro del Perú, con valores de -0.51 y -0.84 °C, según la fuente de datos de ERSSTv5 (ICENv5) y OISST (ICENOI), respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) para los meses de julio y agosto de 2020, según la fuente ERSSTv5, indica condiciones neutras y, con la base de datos de OISSTv2, condiciones frías débiles. Con respecto al Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) para el mes de junio muestra una condición Neutra (-0.23 °C), esta condición también se observa en los valores temporales para los meses de julio y agosto.

Conforme a la información de altimetría satelital (producto DUACS) y de las boyas ARGO, durante el mes de julio, se hizo evidente la presencia de una onda de Kelvin cálida en la zona oriental. Por otro lado, el desarrollo de pulsos de viento del este, al oeste de 150 °W y durante el mes de julio, habría generado un conjunto de ondas de Kelvin frías. Los resultados de los modelos de ondas predicen que estas ondas de Kelvin frías arribarían a la costa peruana a partir del mes de setiembre y se extenderían hasta octubre. Las predicciones numéricas de los siete modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de agosto de 2020, continúan indicando, en promedio, un escenario ligeramente frío, tanto en el Pacífico central como oriental, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de setiembre de 2020, la cual se extendería hasta febrero de 2021. Esto se traduce en el desarrollo de un evento La Niña en el Pacífico central.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-07 en el siguiente link:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4829>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 09-2020

CALLAO, 13 DE AGOSTO DE 2020

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: VIGILANCIA DE LA NIÑA COSTERA ¹

Desde el último mes se viene observando un enfriamiento anómalo de las temperaturas del mar y del aire frente a la costa del Perú y es más probable que estas persistan, configurando el desarrollo de un evento La Niña Costera de magnitud débil hasta fin de año. Por lo tanto, la Comisión Multisectorial del ENFEN modifica el estado del sistema de alerta a “Vigilancia de La Niña Costera”.

Respecto al período de lluvias (diciembre 2020 a marzo 2021), la Comisión Multisectorial del ENFEN estima para el Pacífico central una mayor probabilidad de condiciones neutras (57 %), seguida de condiciones de La Niña (29 %), mientras que para la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, la mayor probabilidad corresponde a las condiciones neutras (64 %).



Foto: Roger Manay

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



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO “EL NIÑO”

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° 09-2020 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-09-2020/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4828>

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