

Variabilidad intraestacional a lo largo de la costa peruana

Eva Prieto, Dra.¹; Kobi Mosquera, Dr.¹; Ivonne Montes, Dra.¹

¹Instituto Geofísico del Perú

Por su proximidad al ecuador terrestre, el Sistema de Afloramiento de Perú está fuertemente influenciado por la variabilidad remota ejercida por la dinámica ecuatorial en diferentes escalas temporales, incluyendo la intraestacional (Brink, 1982; Enfield, 1987), estacional (Pizarro et al., 2002), interanual (Pizarro et al., 2001; Montes et al., 2011) y decadal (Montecinos et al., 2007). Uno de los principales factores que estarían modulando la dinámica costera de Perú es la propagación de ondas de Kelvin ecuatoriales (Dewitte et al., 2008; Mosquera-Vasquez et al., 2013; 2014), perturbaciones oceánicas atrapadas alrededor de la línea ecuatorial. Las ondas de Kelvin son generadas en el Pacífico Occidental debido a las variaciones en la intensidad de los vientos alisios y se propagan hacia el este y a lo largo de la costa, siendo así responsables de transmitir la variabilidad ecuatorial hacia la costa de Sudamérica (Brainard et al., 1987). Además, estas ondas ecuatoriales son el componente clave de la dinámica ecuatorial que evidencia la presencia de la variabilidad interanual de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), especialmente estudiado por su impacto sobre la productividad biológica marina y el clima de las Américas (McPhaden, 2006). Cabe señalar que estas ondas tardan entre dos y tres meses en alcanzar la costa de Perú, por lo que sus efectos e impacto en el afloramiento costero pueden ser predichos con antelación (Kessler and Kleeman, 2000; Roundy and Kiladis, 2006).

Se conoce que las ondas de Kelvin a escala estacional, intraestacional e interanual (e.g. Ramos et al., 2008; Belmadani et al., 2012) pueden profundizar o elevar la termoclina y, por lo tanto, tendrían un impacto directo sobre la fuente de agua del afloramiento costero (Shaffer et al., 1997), la temperatura y el nivel del mar, y dicho efecto

dependería de la latitud. Ello debido a que para una onda de Kelvin, oscilando a una frecuencia dada, existe una latitud crítica que determina si el movimiento ondulatorio es atrapado en la costa en forma de ondas costeras o, por el contrario, es reflejado en forma de ondas de Rossby. A mayor frecuencia y modo vertical de oscilación, menor es la latitud crítica. Las corrientes zonales y meridionales, u y v , y la presión asociada a las ondas pueden escribirse como una combinación de n infinitos modos verticales independientes entre sí, los cuales, dependiendo de su frecuencia y energía asociadas, serán reflejados o atrapados en la costa.

A escala intraestacional se observan las denominadas Ondas de Kelvin Intraestacionales (IEKW, por su sigla en inglés) que alcanzan energías máximas asociadas a periodos de 50 días, las cuales son confinadas cerca de la costa alrededor de los 7°S. El movimiento ondulatorio sería atrapado en la costa al sur de 7°S (ondas atrapadas en la costa, CTW) (Clarke and Shi, 1991). Para las IEKW con energías entre 50 y 80 días, el primer modo de oscilación es atrapado entre los 7°S y 10°S mientras que los demás modos de oscilación se concentran en latitudes menores a los 6°S (Clarke, 1983).

Con respecto a las ondas de Rossby, las investigaciones señalan que dichas ondas estarían confinadas entre el ecuador y los 12°S en periodos de 50-80 días, mientras que al sur de esta latitud la variabilidad estaría dominada por la propagación hacia el oeste de estructuras de mesoscala muy energéticas provenientes de inestabilidades en los flujos costeros (Belmadani et al., 2012).

A lo largo de la costa peruana, es conocido que las CTW pueden afectar a la temperatura superficial del mar (TSM) mediante la advección vertical de anomalías de temperatura, resultando en variaciones del régimen de afloramiento (Gutiérrez et al., 2008) distintas a las variaciones asociadas al régimen de vientos los cuales también fluctúan a escala intratestacional. Sin embargo, no está muy claro cuál es la contribución de cada uno de estos procesos a la variabilidad del afloramiento, afectando por tanto a la posible predicción de eventos.

Investigaciones señalan que existen dos regiones de máxima variación intraestacional del afloramiento costero, una en la región central de Perú (Pisco, ~15°S) y otra en la región norte (Piura, ~5°S), y dos regímenes de variabilidad, uno de bajo periodo (10 a 25 días) asociado a la dinámica de Ekman, y otro de alto periodo (35-60 días), con un pico de energía en el periodo de 50 días, asociado a la acción combinada del forzamiento atmosférico de gran escala y de las ondas Kelvin ecuatoriales intraestacionales (Dewitte et al., 2011). Estudios más recientes (Illig et al., 2014) estimaron que las ondas Kelvin ecuatoriales representan entre un 20-

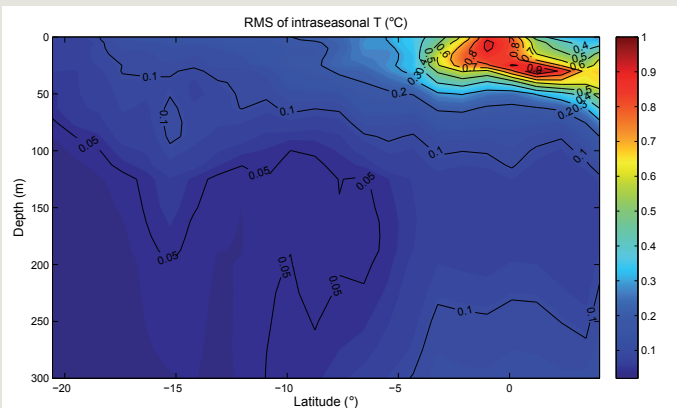


Figura 1. Media cuadrática de las anomalías intraestacionales de temperatura en función de la profundidad a partir de simulaciones diarias del modelo ROMS en el periodo 2000-2005, de 21°S a 4°N. Promedios de temperatura tomados en la franja costera 82°- 77.44°W (~500 km).

30% de la variabilidad intraestacional de la TSM al norte de 12°S y menos del 20% al sur de esta latitud, mientras que serían responsables de más del 70% de la variabilidad intraestacional de la profundidad de la termoclina (isoterma 15°C) al norte de 20°S.

A partir de las salidas diarias del modelo ROMS para el periodo 2000-2005 (Montes et al., 2011), se calculó la media cuadrática de las anomalías intraestacionales de la temperatura, promediando los valores en una franja costera de ~4.5° (~500 km) y ~1° (~100 km) entre los 4°N y 21°S, mostrando un desplazamiento hacia el sur de las anomalías máximas de temperatura a medida que nos aproximamos a la costa (Figuras 1 y 2).

En concordancia con la bibliografía, las mayores anomalías de temperatura se encontrarían entre los 5°S y 12°S, con anomalías máximas de temperatura en superficie en ~10°S, donde estaría atrapado el primer modo de la onda Kelvin (Figura 2). Será necesario tener en cuenta otros factores como los vientos y la coexistencia de ondas de Rossby y de remolinos de mesoescala en la región para conocer el origen de esta variabilidad intraestacional.

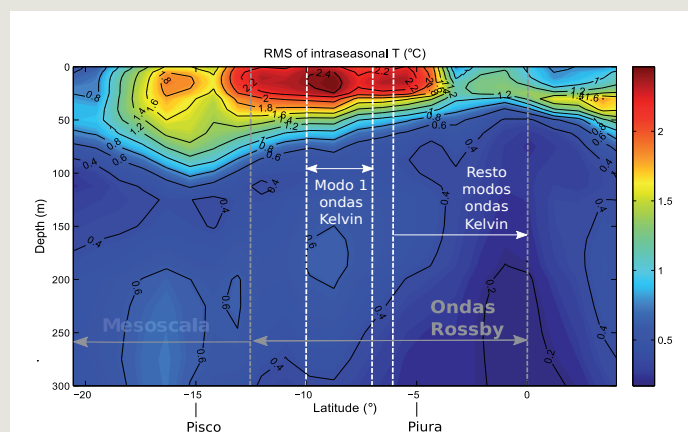


Figura 2. Media cuadrática de las anomalías intraestacionales de temperatura en función de la profundidad a partir de simulaciones diarias del modelo ROMS en el periodo 2000-2005, de 21°S a 4°N. Promedios de temperatura tomados en la franja costera 78.44°-77.44°W (~100 km).

Referencias

- Belmadani, A., V. Echevin, B. Dewitte, and F. Colas, 2012: Equatorially forced intraseasonal propagations along the Peru-Chile coast and their relation with the nearshore eddy activity in 1992–2000: A modeling study, *Journal of Geophysical Research*, 117, C04025, doi:10.1029/2011JC007848.
- Brainard, R. E., and D. R. McLain, 1987: Seasonal and interannual subsurface temperature variability off Peru, 1952 to 1984. *The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change*, ICLARM Studies and Reviews, 15:14-45.
- Brink, K. H., 1982: A comparison of long coastal trapped wave theory with observations off Peru, *Journal of Physical Oceanography*, 12, 897–913, doi:10.1175/1520-0485(1982)012<0897:ACOLCT>2.0.CO;2.
- Clarke, A. J., 1983: The reflection of equatorial waves from oceanic boundaries, *Journal of Physical Oceanography*, 13, 1193–1207, doi:10.1175/1520-0485(1983)013<1193:TROEWF>2.0.CO;2.
- Clarke, A. J., and C. Shi, 1991: Critical frequencies at ocean boundaries, *Journal of Geophysical Research*, 96, 10731–10738, doi:10.1029/91JC00933.
- Colas, F., X. Capet, J. C. McWilliams, and A. Shchepetkin, 2008: 1997–98 El Niño off Peru: A numerical study, *Progress in Oceanography*, 79, 138–155, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.015.
- Dewitte, B., S. Purca, S. Illig, L. Renault, and B. S. Giese, 2008: Low frequency modulation of intraseasonal equatorial Kelvin wave activity in the Pacific from SODA: 1958–2001, *Journal of Climate*, 21, 6060–6069, doi:10.1175/2008JCLI2277.1.
- Dewitte, B., S. Illig, L. Renault, K. Goubanova, K. Takahashi, D. Gushchina, K. Mosquera, and S. Purca, 2011: Modes of covariability between sea surface temperature and wind stress intraseasonal anomalies along the coast of Peru from satellite observations (2000–2008), *Journal of Geophysical Research*, 116, C04028, doi:10.1029/2010JC006495.
- Enfield, D. B., 1987: The intraseasonal oscillation in Eastern Pacific sea levels: How is it forced?, *Journal of Physical Oceanography*, 17, 1860–1876, doi:10.1175/1520-0485(1987)017<1860:TIOIEP>2.0.CO;2.
- Gutierrez, D., E. Enriquez, S. Purca, L. Quipuzcoa, R. Marquina, G. Flores, and M. Graco, 2008: Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response, *Progress in Oceanography*, 79, 177–189, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.025.
- Illig, S., B. Dewitte, K. Goubanova, G. Cambon, J. Boucharel, F. Monetti, C. Romero, S. Purca, and R. Flores, 2014: Forcing mechanisms of intraseasonal SST variability off central Peru in 2000–2008, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 3548–3573, doi:10.1002/2013JC009779.
- Kessler, W. S., M. J. McPhaden, and K. M. Weickmann, 1995: Forcing of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 100, 10613–10631, doi:10.1029/95JC00382.
- Kessler, W. S., and R. Kleeman, 2000: Rectification of the Madden-Julian Oscillation into the ENSO cycle, *Journal of Climate*, 13 (20), 3560–3575, doi:10.1175/1520-0442(2000)013<3560:ROTMJO>2.0.CO;2.
- McPhaden, M. J., S. E. Zebiak, and M. H. Glantz, 2006: ENSO as an integrating concept in earth science, *Science*, 314, 1740–1745.
- Montecinos, A., O. Leth, and O. Pizarro, 2007: Wind-driven interdecadal variability in the eastern tropical and South Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 112, C04019, doi:10.1029/2006JC003571.
- Montes, I., W. Schneider, F. Colas, B. Blanke, and V. Echevin, 2011: Subsurface connections in the eastern tropical Pacific during La Niña 1999–2001 and El Niño 2002–2003, *Journal of Geophysical Research*, 116, C12022, doi:10.1029/2011JC007624.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 6605–6621, doi:10.1002/2014JC010044.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, and G. Garric, 2013: The 2002/2003 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 346–357, doi:10.1029/2012JC008551.
- Pizarro, O., A. J. Clarke, and S. Van Gorder, 2001: El Niño sea level and currents along the South American coast: Comparison of observations with theory, *Journal of Physical Oceanography*, 31, 1891–1903, doi:10.1175/1520-0485(2001)031<1891:ENOSLA>2.0.CO;2.
- Pizarro, O., G. Shaffer, B. Dewitte, and M. Ramos, 2002: Dynamics of seasonal and interannual variability of the Peru-Chile Undercurrent, *Geophysical Research Letters*, 29(12), 1581, doi:10.1029/2002GL014790.
- Ramos, M., B. Dewitte, O. Pizarro, and G. Garric, 2008: Vertical propagation of extratropical Rossby waves during the 1997–1998 El Niño off the west coast of South America in a medium-resolution OGCM simulation, *Journal of Geophysical Research*, 113, C08041, doi:10.1029/2007JC004681.
- Roundy, P. E., and G. N. Kiladis, 2006: Observed relationship between oceanic Kelvin waves and atmospheric forcing, *Journal of Climate*, 19, 5253–5272, doi:10.1175/JCLI3893.
- Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas, and J. Rutllant, 1997: Circulation and Low-Frequency Variability near the Chilean Coast: Remotely Forced Fluctuations during the 1991–92 El Niño, *Journal of Physical Oceanography*, 27:2, 217–235.