

## AVANCE DE INVESTIGACIÓN

# EL CICLO ESTACIONAL DE LA DINÁMICA DE EKMAN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

**Roger Manay <sup>1</sup>, Kobi Mosquera <sup>1</sup>, Ivonne Montes <sup>1</sup>**

## RESUMEN

El presente trabajo analiza el ciclo estacional de la dinámica de Ekman frente a la costa peruana a través de sus dos procesos asociados: el transporte de Ekman y el bombeo de Ekman. El análisis emplea 27 años de información (1992-2018) de viento estimado por satélite. Los resultados preliminares muestran que ambos procesos exhiben variación estacional y marcadas diferencias latitudinales frente a la costa peruana.

**Palabras clave:** *Transporte de Ekman; Bombeo de Ekman; Esfuerzo del viento superficial; afloramiento costero y acoplamiento océano-atmósfera.*

## AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como: Manay, R., Mosquera, K., Montes, I. (2021). El ciclo estacional de la dinámica de Ekman a lo largo de la costa peruana. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 8 Nº 01. pág. 15-19.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Afloramiento de Bordes Orientales (EBUS, por sus siglas en inglés) son regiones del océano extendidas en ciertas zonas de las costas oeste de América y África. Estas regiones se destacan por tener bajas temperaturas superficiales del mar, bajas concentraciones de oxígeno y ser altamente productivas en términos de pesca (Chavez et al., 2008). Dichas condiciones se sustentan gracias al aporte de nutrientes que llegan desde zonas más profundas como consecuencia del afloramiento costero. Tal es el caso del Sistema de Corrientes de Humboldt que se extiende entre Perú y Chile (Croquette et al., 2004; Pickett & Paduan, 2003).

En términos simples, el afloramiento costero es el movimiento ascendente de las masas de agua generado para compensar el transporte, costa afuera, que se produce por la acción del viento en las capas superficiales del mar a lo largo de la costa. Este afloramiento es inducido por el viento y se configura principalmente por los mecanismos físicos de Ekman: el Transporte de Ekman y el Bombeo de Ekman (Bravo et al., 2016), los cuales son dependientes del esfuerzo del viento superficial que se desarrollan como parte de la variabilidad climática local. Asimismo, debido a su cercanía con la zona ecuatorial, estos mecanismos se encuentran influenciados por la variabilidad interanual que se ejerce por la dinámica de El Niño-Oscilación Sur.

Actualmente, la disponibilidad de datos satelitales, que brindan información sobre los vientos, abren la posibilidad de desarrollar estudios para caracterizar la dinámica oceánica frente a Perú con base en los mecanismos físicos de Ekman. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo es analizar el ciclo anual de los procesos de Ekman frente a la costa peruana. Esto con la finalidad de entender los cambios potenciales asociados a la variabilidad local e interanual causada por los diferentes tipos de El Niño.

## METODOLOGÍA

Los datos utilizados para el presente estudio provienen del producto de esfuerzo de viento zonal y meridional denominado "blended", que es el resultado de la combinación de información satelital de ASCAT, QuikSCAT y WindSAT (Bentamy et al. 2017), los que están disponibles en la base de datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Los datos analizados tienen una resolución temporal diaria y espacial de 25 km, que comprende el periodo 1992-2018 para el cálculo del ciclo anual dentro de los primeros 100 km desde la costa. Además, se utiliza la climatología de los datos de la temperatura superficial del mar proveniente del producto OSTIA (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis), cuya resolución horizontal es de 0.25°.

Los cálculos del Transporte de Ekman (1) y el Bombeo de Ekman (2) se realizan con las componentes del esfuerzo del viento y el rotor del esfuerzo del viento, respectivamente, utilizando las siguientes ecuaciones (Pickett & Paduan, 2003):

$$U_E, V_E = \frac{1}{\rho f} (-\tau_y, \tau_x) \quad (1)$$

$$W_E = \frac{1}{\rho f} \left( \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) \quad (2)$$

Donde  $U_E$  y  $V_E$  corresponde al Transporte de Ekman calculado para la componente meridional  $\tau_y$  y zonal  $\tau_x$  y  $W_E$  corresponde al Bombeo de Ekman. Para fines comparativos, el bombeo de Ekman es convertido en términos de transporte de Ekman mediante la integración de la velocidad vertical en el espacio que cubre una distancia de 100 km desde la costa.

## RESULTADOS

La distribución espacial del esfuerzo del viento y el rotor del esfuerzo del viento dentro de los 100 km de la costa denota un marcado ciclo estacional en ambas variables (Figura 1B y 1C). En el caso del esfuerzo del viento, el valor máximo alcanza aproximadamente los  $0.06 \text{ Nm}^2$  entre los  $14^\circ$  y  $15^\circ\text{S}$  durante los meses de invierno y valores mínimos en verano. Para el caso del rotor del esfuerzo del viento, el valor es máximo en invierno ( $6 \times 10^{-7} \text{ Nm}^{-3}$ ) y mínimo en verano.

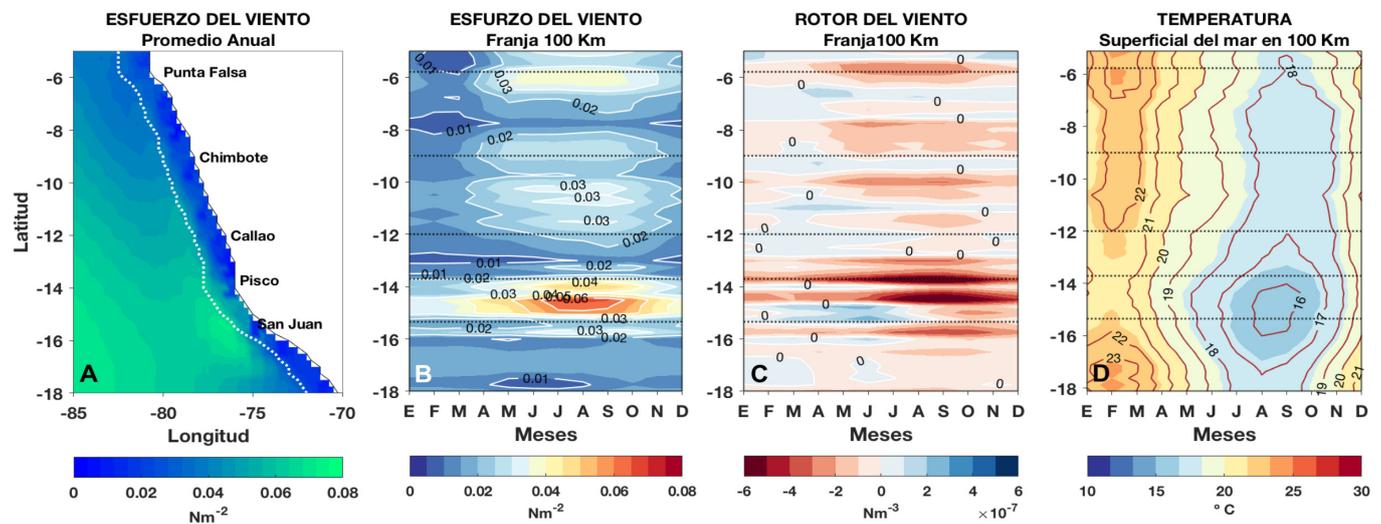


Figura 1. (A) Localización de centros de afloramiento costero en Perú: Punta Falsa ( $5.78^\circ\text{S}$ ), Chimbote ( $9^\circ\text{S}$ ), Callao ( $12^\circ\text{S}$ ), Pisco ( $13.7^\circ\text{S}$ ) y Punta San Juan ( $15.35^\circ\text{S}$ ); la línea blanca punteada representa la franja de 100 km para el análisis de los procesos de Ekman y los colores el promedio anual del esfuerzo del viento. (B) Ciclo anual del Módulo del esfuerzo del viento. (C) Rotor del esfuerzo del viento y (D) Temperatura superficial del mar. Tanto para B, C y D las líneas negras punteadas corresponden a centros de afloramiento indicados en (A).

Latitudinalmente existen cambios marcados en la intensidad del esfuerzo y el rotor del viento, tal es el caso en  $\sim 6^\circ\text{S}$ ,  $11^\circ\text{S}$  y  $15^\circ\text{S}$ , donde se localizan claramente núcleos de mayor intensidad, superiores a  $0.03 \text{ Nm}^{-2}$ . Asimismo, se observan zonas donde el esfuerzo del viento es muy bajo, o cuyo rotor del esfuerzo del viento tiende a ser positivo, configurando zonas cuya actividad dinámica entre el océano-atmósfera es de menor consideración, como sucede al sur de los  $16^\circ\text{S}$ .

Debido a la fuerte interacción entre el esfuerzo del viento y el océano, la temperatura superficial del mar expresaría en cierta medida el grado de acoplamiento entre dichas fases. En verano se alcanza el máximo nivel de temperatura, con valores superiores a los 23 °C, sin embargo, cerca de los ~14-16°S, las condiciones térmicas son menores (Figura 1D). En invierno, la temperatura disminuye a lo largo de la costa peruana, alcanzando los valores mínimos de 16 °C, entre Pisco – Punta San Juan (~15°S) siendo precisamente esta área en donde el esfuerzo y rotor del viento tienen sus mayores magnitudes (Figura 1B y 1C).

Como producto de la acción del viento y su variación espacial sobre la superficie del mar, se dan como resultado los procesos de Ekman (Figura 2). El transporte de Ekman es menos intenso durante el verano, análogamente al comportamiento estacional del esfuerzo del viento, reflejando un debilitamiento cercano o menor a 1 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. Durante el invierno, el transporte de Ekman muestra claramente una intensificación entre 3 y 4 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, en los 15°S y 6°S, respectivamente. Entre los 14°S y los 16°S, el transporte de Ekman es casi constante a lo largo del año (superior a los 2 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>), mientras que, al sur de los 16°S, el transporte es muy débil, no llegando a superar los 0.5 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> anualmente.

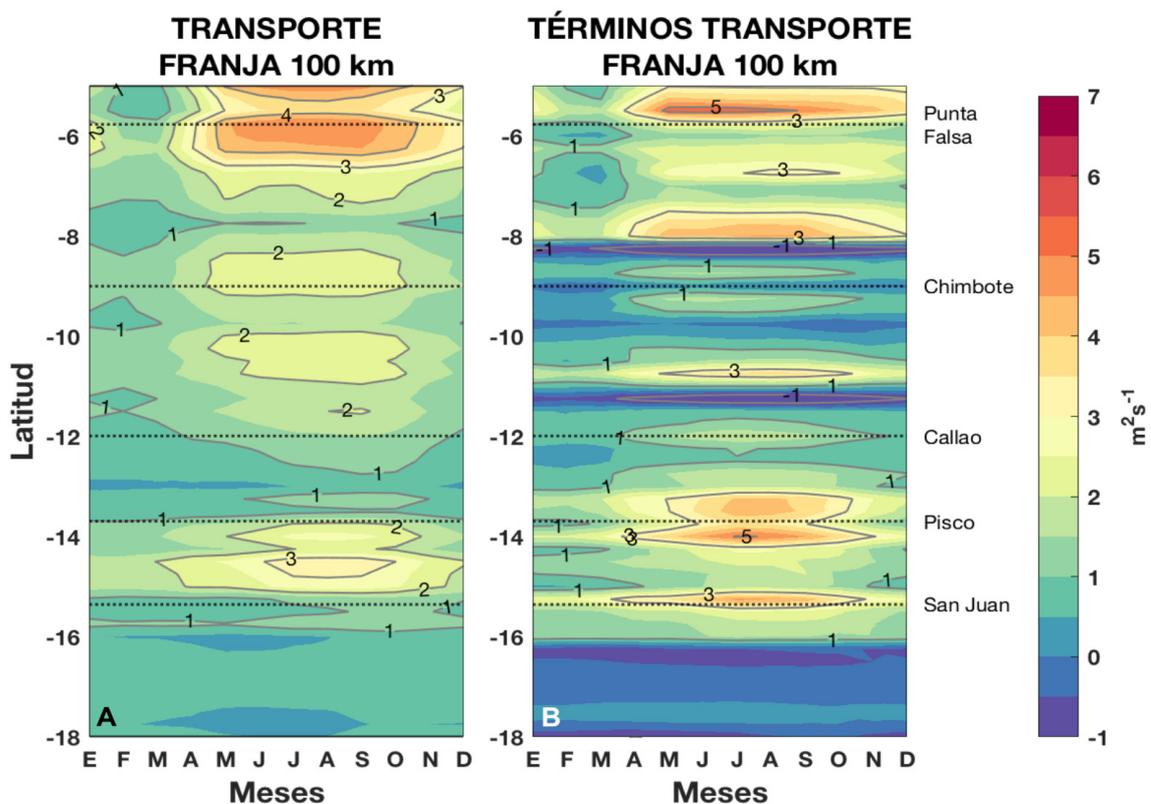


Figura 2. (A) Ciclo estacional del Transporte de Ekman y (B) Términos de transporte de Ekman en la franja de 100 km frente a Perú. Las líneas negras punteadas corresponden a centros de afloramiento.

El bombeo de Ekman expresado como términos de transporte, muestra una estacionalidad semejante al transporte de Ekman (Figura 2B). Latitudinalmente, exhibe núcleos que alcanzan valores máximos positivos entre 3 a 5 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, durante el invierno, en zonas próximas a Punta San Juan, Pisco, Callao y en otras áreas de la franja costera peruana. Durante todo el año cerca a los 13.5° y 15°S, los términos del transporte de Ekman son prácticamente constantes (2 a 4 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>). En tanto que, en el área del codo Perú-Chile, los términos de transporte son mínimos y no muestran cambios significativos, lo que demuestra la alta variabilidad espaciotemporal de estos procesos acoplados del océano-atmósfera.

## CONCLUSIONES PRELIMINARES

Los datos de vientos satelitales son útiles para analizar la dinámica de Ekman frente a la costa peruana. Sin embargo, la información satelital adyacente a la costa necesita ser validada mediante observaciones in situ de estaciones costeras para comprobar su realismo y, además, asegurar que pueden reproducir el decaimiento del viento a lo largo de la costa denominado drop-off.

Los procesos involucrados en la dinámica de Ekman, al igual que la temperatura superficial del mar y el esfuerzo del viento, muestran una variación estacional marcada frente a la costa peruana. Ambos procesos además exhiben diferencias latitudinales, siendo mayor para el bombeo, lo que implica un aporte independiente en las contribuciones totales del afloramiento peruano. Los análisis preliminares muestran que el bombeo de Ekman alcanza niveles más altos y es más intenso que el transporte de Ekman en la zona sur, entre los 13°S y 16°S. Sin embargo, se necesita realizar análisis complementarios para tener resultados más concluyentes.

Si bien ambos procesos de Ekman contribuyen en la dinámica oceanográfica, en especial la relacionada con los cambios en temperatura y condiciones ambientales, hay que considerar que aún existen otros procesos que deben ser examinados para un análisis más completo.

## REFERENCIAS

Bentamy, A., Grodsky, S. A., Elyouncha, A., Chapron, B., & Desbiolles, F. (2017). *Homogenization of scatterometer wind retrievals*. *International Journal of Climatology*, 37(2), 870–889. <https://doi.org/10.1002/joc.4746>

Bravo, L., Ramos, M., Astudillo, O., Dewitte, B., & Goubanova, K. (2016). *Seasonal variability of the Ekman transport and pumping in the upwelling system off central-northern Chile (~30°S) based on a high-resolution atmospheric regional model (WRF)*. *Ocean Science*, 12(5), 1049–1065. <https://doi.org/10.5194/os-12-1049-2016>

Chavez, F. P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., & Csirke, J. (2008). *The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future*. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.pocan.2008.10.012>

Croquette, M., Eldin, G., & Echevin, V. (2004). *on the Contributions of Ekman Transport and Pumping To the Dynamics of Coastal Upwelling in the South-East Pacific*. *Gayana (Concepción)*, 68(2), 1–7. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382004000200025>

Pickett, M. H., & Paduan, J. D. (2003). *Ekman transport and pumping in the California Current based on the U.S. Navy's high-resolution atmospheric model (COAMPS)*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(10), 1–10. <https://doi.org/10.1029/2003jc001902>