

Mezcla vertical turbulenta en el Pasaje de la Mona

Edwin Alfonso-Sosa, Ph.D.

Ocean Physics Education

1-diciembre-2016

En octubre del 2000 durante la misión oceanográfica *Mona Challenge* en el R/V Chapman fue cuando descubrimos cerca de la pycnoclina -una zona donde el cambio en densidad del agua con profundidad es máximo- que ésta capa mostraba un valor elevado del coeficiente de difusividad vertical turbulenta ($> 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) a 64 m de profundidad. Además entre 90 m y 100 m de profundidad registramos valores entre $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ y $6 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Estos valores superan unas 10 veces los valores esperados en el interior del océano. La estación oceanográfica ADCP-1 ($18^\circ 17.478' \text{ N}$, $67^\circ 48.155' \text{ W}$), fue localizada a unas 10 millas náuticas al NNE de la Isla de Mona y a una profundidad de 481 m. Muy cerca al norte de la estación, se encuentra El Pichincho -una pequeña meseta a unos 250 m de profundidad- conocida como un área donde se genera una marea interna que puede alcanzar una altura de hasta 50 metros. Todo apuntaba que la marea interna era la responsable en generar la mezcla turbulenta que detectamos en ADCP-1. El interior del océano está establemente estratificado verticalmente debido a diferencias en densidad, donde las capas más densas están por debajo de las menos densas. Esta condición hace difícil la mezcla vertical. No obstante, olas no-lineales propagándose a los largo de la interface pueden erosionar esa estratificación vertical, provocando mezcla. La inestabilidad de cizalladura - el gradiente vertical de la velocidad de la corriente de la ola interna - es contrario al efecto estabilizador de la estratificación vertical por densidad y puede generar inestabilidad de Kelvin-Helmholtz (K-H), provocando así la mezcla turbulenta. La inestabilidad K-H es una inestabilidad primaria que se caracteriza por sus ondulaciones en forma de pronunciadas crestas rompiendo. El número Richardson de gradiente $Ri_G = N^2/S^2$ cuantifica la tendencia a crecer de la inestabilidad K-H a pesar del efecto estabilizador de la estratificación vertical. Si el valor de $Ri_G < 0.25$ entonces podemos suponer que se genere la inestabilidad K-H. Valores reducidos del número de Richardson y altos valores del coeficiente de difusividad vertical turbulenta demostraron que una parte de la energía de la marea interna que se genera en el Pichincho se disipa mediante mezcla turbulenta en las inmediaciones del mismo y la otra parte se propaga hacia el Mar Caribe o el Océano Atlántico como una ola interna. La marea interna semidiurna es generada cuando las isopícnas son empujadas por la fuertes corrientes semidiurnas desviadas por la pendiente topográfica del Pichincho durante una parte del ciclo mareal. Cuando coinciden periodos de mareas vivas con condiciones de estratificación favorable para la generación de olas internas incrementa la altura de la marea interna. Por lo general, existen condiciones favorables a finales de septiembre, durante la marea equinoccial, también durante octubre y noviembre, cuando se reduce la profundidad de la pycnoclina. Aumentos en la frecuencia boyante (frecuencia Brunt-Väisälä) a una profundidad de 300 m generalmente ocurren en mayo-junio y esto favorece la generación de olas internas en el Pasaje de la Mona.

La cascada de pérdida de energía de la ola interna hasta desembocar en turbulencia comienza con la inestabilidad primaria K-H, pero no termina ahí, sino que se desarrollan inestabilidades secundarias en el

interior de las volutas de la inestabilidad K-H. Donde se vuelcan las volutas surgen inestabilidades convectivas y en el fluido trenzado puede generarse inestabilidad de cizalladura. Es posible observar y estudiar el desarrollo de inestabilidades secundarias gracias a los modelos numéricos de perturbación. Estos modelos numéricos permiten ver cuales tipos de perturbaciones crecen más rápido, identificando así cuál es la perturbación secundaria (Smyth, 2012). Otra evidencia es que la retrodispersión acústica ha revelado que puede haber parchos de turbulencia entre las volutas de la inestabilidad K-H y más turbulencia en la cola de la cresta (Mashayek and Peltier, 2011). Para ver las figuras que ilustran los casos anteriores, puedes visitar la siguiente página web: <http://salty.oce.orst.edu/Interfaces/index.html>

Ambos resultados apuntan a que la mezcla turbulenta es causada por inestabilidades secundarias generadas por las inestabilidades primarias. La turbulencia generada por esas inestabilidades es crucial para la mezcla diapical y el traspaso de nutrientes hacia la capa eufótica (Alfonso et al., 2002).

Resumiendo el abrupto relieve submarino en el Pasaje de la Mona es capaz de reducir dramáticamente la energía de la marea barotrópica semidiurna mediante la generación de una marea baroclínica semidiurna, de la cual una gran parte se disipa localmente generando turbulencia y la restante se propaga hacia el Mar Caribe o el Océano Atlántico (vea figuras). El gradiente norte-sur de la marea semidiurna a lo largo de la mitad oriental del Pasaje de la Mona es tan marcado que puede ser cuantificado por los mareógrafos localizados desde Aguadilla hasta Cabo Rojo (Alfonso-Sosa, 2015).

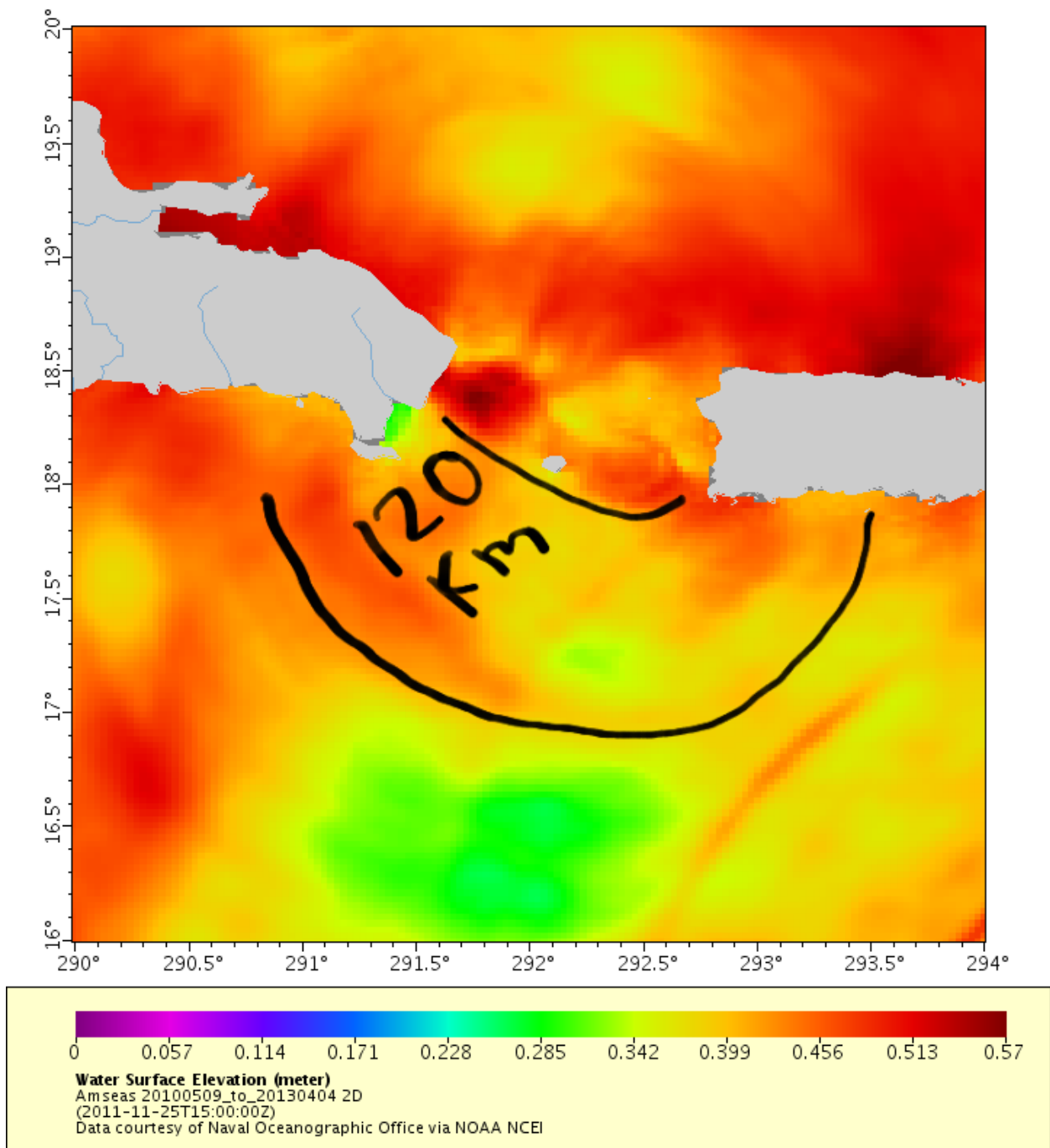
Referencias

Alfonso-Sosa, E., 2015. Disipación de la marea semidiurna M2 en el Pasaje de la Mona. [PDF](#)

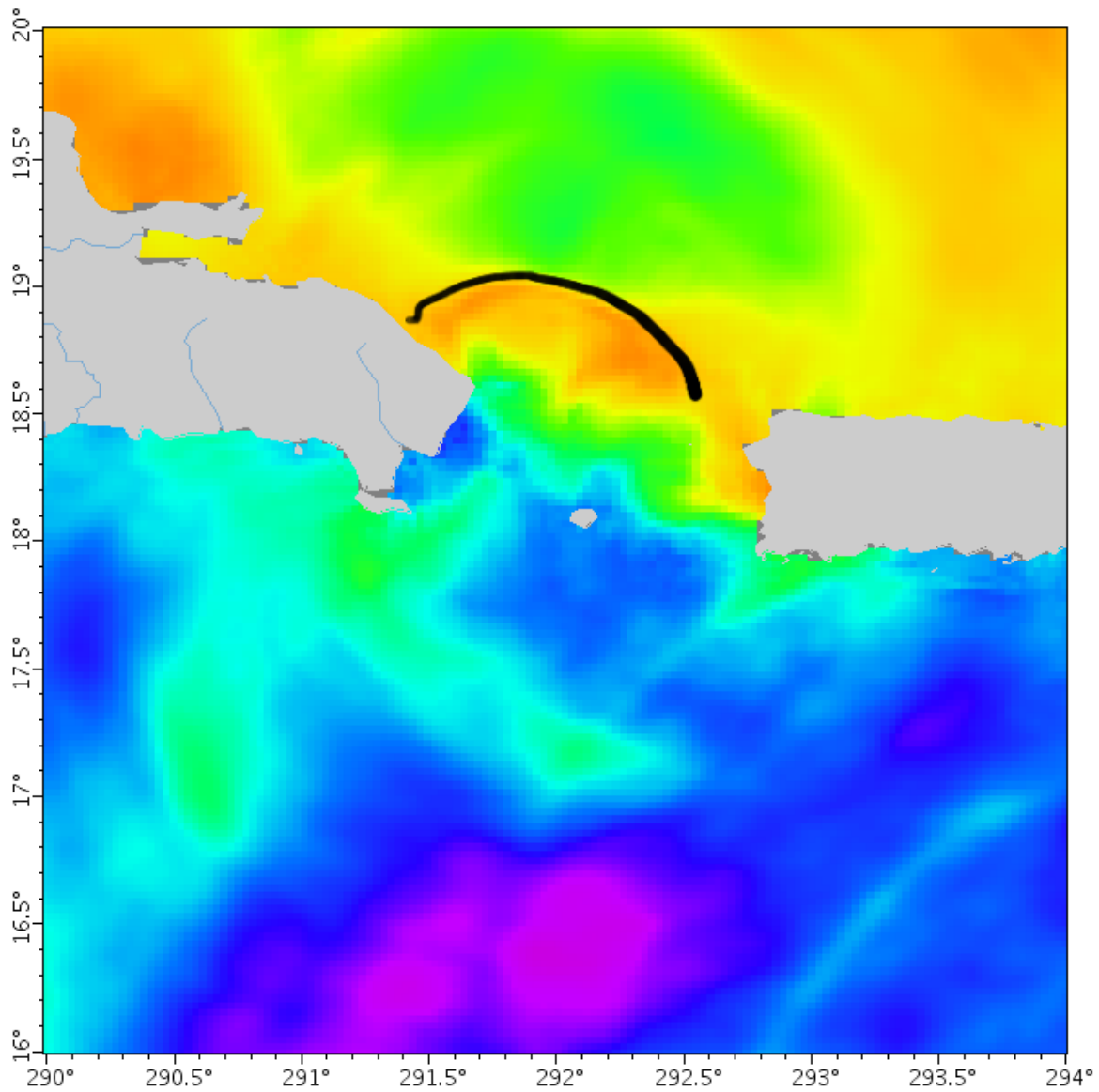
Alfonso, E., López, J. M., Capella, J. E., Dieppa, A., Morell, J. 2002. Internal tide-induced variations in primary productivity and optical properties in the Mona Passage, Puerto Rico. https://www.academia.edu/9817287/INTERNAL_TIDE-INDUCED_VARIATIONS_IN_PRIMARY_PRODUCTIVITY_AND_OPTICAL_PROPERTIES_IN_THE_MONA_PASSAGE_PUERTO_RICO

Mashayek, A., and W.R. Peltier. 2011. Three dimensionalization of the stratified mixing layer at high Reynolds number. Physics of Fluids 23, 111701, <http://dx.doi.org/10.1063/1.3651269>.

Smyth, W.D., and J.N. Moum. 2012. Ocean mixing by Kelvin-Helmholtz instability. Oceanography 25(2):140–149, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2012.49>.



La línea negra traza el frente de onda de la ola interna. La separación de 120 km entre los dos frentes de onda sugiere que es una ola interna de periodo semidiurno.



Water Surface Elevation (meter)
Amseas 20100509_to_20130404 2D
(2011-11-25T00:00:00Z)
Data courtesy of Naval Oceanographic Office via NOAA NCEI