

CLIMA DE OLAS EN LA ZONA ECUATORIAL CON INFORMACIÓN SATELITAL

Leonor Vera San Martín
Susy Marín Villalta

RESUMEN

Las olas generadas en zonas de altas latitudes del Pacífico se desplazan hasta los continentes, afectando principalmente la costa occidental de Sudamérica. Para propósitos de prevención y de operación por el impacto del oleaje, es preciso determinar la climatología de olas, para lo cual se ha utilizado información de satélites. El dominio del estudio comprende la zona ecuatorial limitada entre las latitudes 15°N y 15°S y las longitudes 78°W y 110°W. Se utilizaron 23 años de información desde 1992 al 2014, este periodo de datos permitió calcular una climatología base, que muestra una distribución de alturas ordenadas latitudinalmente de menor a mayor de norte a sur, y con mayores alturas de olas desde julio a septiembre. Además en este lapso, han ocurrido eventos climáticos extremos como El Niño y la Niña; y se observó que en ocasiones El Niño influyó sobre altura significativa, aumentando su valor medio. Sin embargo, en la Niña no se evidenció una relación con este parámetro.

Palabras clave: *Clima de olas, Altura de olas, Altimetría satelital; Ondas superficiales, Pacífico ecuatorial*

ABSTRACT

The waves generated in high latitudes of the Pacific travel to the continents, mainly affecting the west coast of South America. To have tools in order to prevent the impact of waves, it is necessary to determine the wave climatology; with this purpose it has used wave data from satellites. The domain of study includes the equatorial zone limited between 15 °N and 15 ° S and 78 °W and 110 ° W. Twenty three years of information from 1992 to 2014 were used. With this data It was possible to calculate a wave climatology. The data showed a latitudinal height distribution, sorted from lowest to highest from north to south, and with greater height values between July and September. Also in this period, extreme weather events such as El Nino and La Nina occurred and it was observed that sometimes, El Niño influenced on wave height, increasing its average value. However, in la Niña event is not observed a relationship with It.

Key words: *Wave climate, Wave height, Satellite altimetry, Surface water waves, Equatorial Pacific.*

¹ Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

INTRODUCCIÓN

La región ecuatorial oriental, adyacente a la costa de Sudamérica es una zona de convergencia de corrientes y vientos, expuesta a la acción de los procesos oceánicos que ocurren a lo ancho y largo del Pacífico. Por esta razón las olas generadas en regiones oceánicas lejanas afectan a la zona costera occidental de Sudamérica, donde se sitúa Ecuador. La zona ecuatorial se caracteriza por ser de relativa calma con vientos superficiales promedio de 6 m/s (Capss and Zender, 2008), lo cual implica formación de olas de período, altura y longitud de onda de poca magnitud. Sin embargo la zona sur del Pacífico, con latitudes mayores a 40°S, se caracteriza, por regiones continuas de baja presión, con zonas de alcance y duración de viento (fetch) lo suficientemente grande, para la formación de olas de mayor energía. El oleaje formado en esta región del Pacífico se propaga casi a todas las regiones del mundo. (Alves, 2006 y Collard, 2009).

En la zona de estudio es difícil la validación de la información, si se considera que solamente se encontró una sola boya instalada para medir olas, en las coordenadas 9.9° S y 105.2° W, la misma que proporcionó información de altura y período, por 6 meses en 1986. Tampoco existen reportes de olas medidos desde buques de oportunidad. Con todas estas carencias de información, la cobertura espacial y temporal que hacen los satélites y el uso del radar altímetro, incorporado por primera vez en el satélite Geosat, constituyó un avance importante para estas mediciones. Los datos de satélites representan una buena estimación de la de altura significativa de olas (Hs). (Carter 1993) y suelen tener una exactitud de 0.5 m o 10 %, cualquiera que sea el mayor, para un rango entre 1 y 20 m. (Bauer, 1994), lo que es comparable con el error de muestreo del registro de 20 minutos de una boya (Laing 2000). Aunque el altímetro puede proveer solamente la altura de ola (y de manera indirecta el período), la cobertura temporal data de 1985, lo que

representa, hasta la fecha actual, más de 25 años de registros. Los datos satelitales de olas han sido utilizados para calcular climatologías, variabilidad y tendencias (Gentil de Farias, 2011, Young 2011, Hemer, Wolf et al, 2002, Laing 2000), para la identificación y seguimiento de swells (Collard, 2009, Delpey et al, 2010, Holt et al, 1998) y en estimación de eventos extremos (Izaguirre et al, 2011). En este trabajo se presenta el resultado de la climatología de olas de la región ecuatorial.

DATOS

La información ha sido obtenida de RADS, base de datos sustentada por la misión del servicio orbital alemán (DEOS por sus siglas en alemán) que opera dentro de la red de observación satelital de la tierra de los países bajos. Desde el año 1985, se han efectuado más de diez misiones satelitales dotadas de equipos específicos para la medición de olas, siendo la primera, la misión geodésica satelital GEOSAT (abril 85-sep/1989). Entre esta misión y las siguientes hubo una pausa de casi dos años. Otro limitante importante en la altimetría es la dispersión temporal y espacial de los datos, porque a un satélite le puede tomar por lo menos 10 días en retornar al mismo punto, y la captura de información es únicamente de la superficie del mar que está directamente debajo de él. Cotton y Carter (1994) establecieron que con cinco pases calibrados de satélites sobre una región del océano, en un mes, era posible obtener un estimado razonable y sin sesgo de la media climatológica correspondiente a ese mes. Woolf et al (2002) señalaron que se cumplió esta condición para las órbitas de cada satélite dentro de cuadrículas de 2°. Laing 2002 y Hammer et al (2010), también acogen esta metodología en sus estudios de clima de olas.

Se contabilizaron 337 meses de datos, repartidos entre los años 1985 y 2014: enero, febrero y marzo, con 27 meses; abril, mayo, junio, julio y octubre, con 28 meses y agosto, septiembre, noviembre y diciembre; con 29. En

la tabla 1, se detalla el período de la información para cada satélite. Se utilizaron los datos disponibles en la banda Ku, excepto para el satélite Saral, que por no tener disponible esta opción, se usó la banda Ka.

A pesar de que Wolf et al 2002, recomiendan calibrar los datos con mediciones in situ, en la zona de estudio únicamente se localizó la boya 32301 (registro de la NBDC), con información de Hs entre febrero y julio de 1986, cuyo

período no coincide con el período de este estudio, por lo que no pudo ser comparada. No se realizó un tratamiento de corrección adicional al realizado por RADs, se eliminaron datos de Hs iguales a cero o mayores a 5 m, considerando que la Hs máxima de la boya 32301 fue de 4.6 m. Información no publicada de Hs medida con sensores de presión y boyas en áreas cercanas a la costa de Ecuador, máximo a dos millas de la costa, indican altura promedio de 0.6 m.

Tabla 1. Lista de satélites de donde se obtuvo la información de olas

Satélite	Institución	Datos disponibles	Nota
GEOSAT GM (Geodetic Mission)	US Navy	31/03/1985-30/09/1986	En RADS, se lo denomina GeosatA. Su principal objetivo fue obtener abundante información del geoide marino, el espaciamiento promedio de la cuadrícula del track fue de 4 Km.
GEOSAT ERM (Exact repeat mission)	US Navy	8/11/1986-30/12/1989	En RADS, se lo denomina GeosatB. Comenzó oficialmente el 1 de octubre de 1986 y continuó hasta enero/1990 y proporcionó más de tres años de valiosa información de altimetría.
ERS-1	European space agency (ESA)	01/08/1991-24/03/1995	Esta misión contó con siete fases principales denominadas: ERSa, ERSb, ERSd, ERSf y ERSg.
Topex/POSEIDON.	CNES (Agencia espacial francesa) NASA (Agencia espacial de Estados Unidos)	25/09/1992-8/10/2005	La misión duró entre el 10 de agosto/1992 y 6 de enero/2006. Entre el 15 agosto y 16 de septiembre/2002, se realizó el cambio de órbita. A partir de septiembre/2002 empezó una nueva órbita. Tenía dos altímetros instalados a bordo (el Topex y el Poseidón). Con el Poseidón obtuvo información entre el 1 de octubre y 12 de julio/2002
ERS-2	CNES/NASA	29/04/1995-04/07/2011	Lanzado en la misma órbita que ERS1.
GEOSAT Follow On	US Navy/NOAA	7/01/2000-17/09/2008	Tuvo la misma órbita del Geosat.
Jason-1	CNES/NASA	15/01/2002-21/06/2013	El lanzamiento fue en diciembre del 2001. Desde febrero del 2009 hasta marzo del 2012, su órbita estuvo coordinada con la del Topex Poseidón (primera fase) y la del Jason 2. Desde mayo/2012 hasta junio 2013, cambió de órbita.
Envisat	ESA	14/05/2002-08/04/2012	En octubre del 2010 la órbita del Envisat tuvo una ligera modificación.
Jason-2	CNES/NASA	4/07/2008 11 Sep 2015	En la órbita original del Topex.
CryoSAT-2	ESA / NOAA	8/04/2010-31/12/2014	Fue lanzado el 8 de abril del 2010 Se mantiene en órbita.
SARAL	ISRO (Organización de investigación espacial de la India) y CNES	14/03/2013-31/12/2014	Se mantiene en órbita

¹Nacional Buoy Data Center

Siguiendo las recomendaciones de estos autores, se dividió a la zona de estudio en cuadrículas de 2° (aproximadamente 220 km), lo que implicó una malla de 16×16 celdas en latitud y longitud ó 256 celdas en total. Se promediaron los datos de los pases de los satélites sobre cada celda durante cada mes y se generó una matriz 16×16 de Hs por cada mes/año disponible.

RESULTADOS CICLO ANUAL Y VARIACIONES MENSUALES

El ciclo anual de la Hs fue calculado para todo el dominio, se obtuvo una media mensual de cada

año disponible, y a pesar de que entre 1985 y 2015 son 32 años, se deben restar los dos primeros meses del año 1985, octubre del 86, todos los meses del año 1990, los siete primeros meses de 1991 y los nueve últimos meses del 2015. Con esto se calcularon 341 promedios mensuales, figura 1a. Estos valores mensuales fueron promediados por año y se obtuvo la Hs promedio anual, figura 1b. Tanto los promedios mensuales como anuales, mostraron que en los primeros años, del 85 al 89, los datos están desfasados, por lo que en adelante, en este trabajo se utilizó la serie entre 1992 y 2015, lo que implica 23 años de información. Los máximos anuales de Hs, se encontraron en los años, 1998, 2010 y 2011.

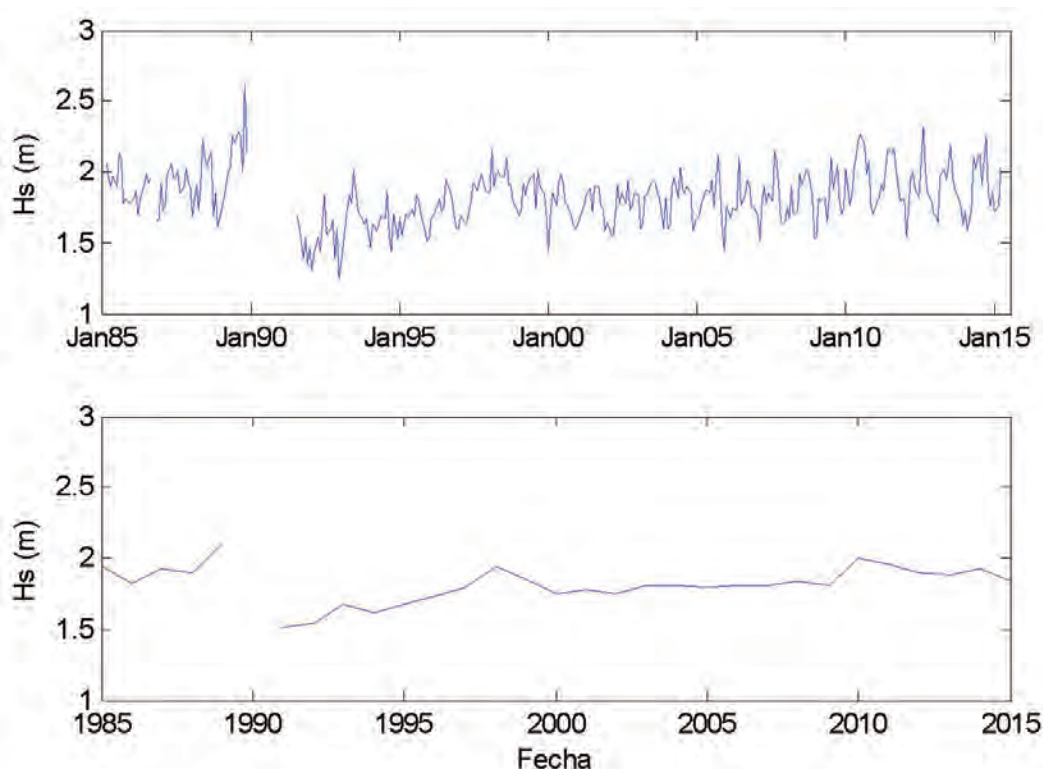


Figura 1. a) En la parte superior se muestra la Hs promedio de cada mes/año de todo el dominio, b) Abajo se graficó la media anual de toda el área de estudio.

Se calculó para cada cuadrícula del dominio la media anual, Figura 2, observándose que La Hs se distribuye latitudinalmente, con los mayores valores de Hs en el suroeste de la zona de estudio. En el noreste, la Hs tiene un promedio de 1.3 m, mientras que hacia el suroeste, la altura se va incrementando hasta alcanzar un

promedio mayor a 2 m. Entre la zona costera ecuatorial y las islas Galápagos, se observó un altura promedio de 1.5 m. Se debe tener en cuenta, que las mediciones son más efectivas en océano abierto, pues en las zonas costeras los satélites tienen dificultades por la señal emitida por la tierra. (Carter,1993)

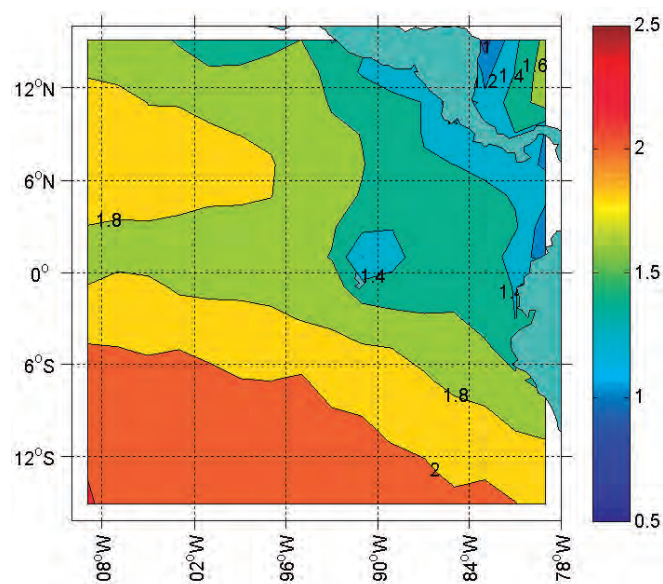


Figura 2. Media de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

El promedio mensual de Hs, Figura 3, muestra que diciembre, enero y febrero, presentan valores menores en comparación con julio, agosto y septiembre, correspondientes al verano e invierno del hemisferio sur, en su orden. Los

mayores valores de Hs coinciden con vientos más fuertes y sostenidos que se dan durante el invierno del Hemisferio Sur (julio a septiembre), (Young, 1999).

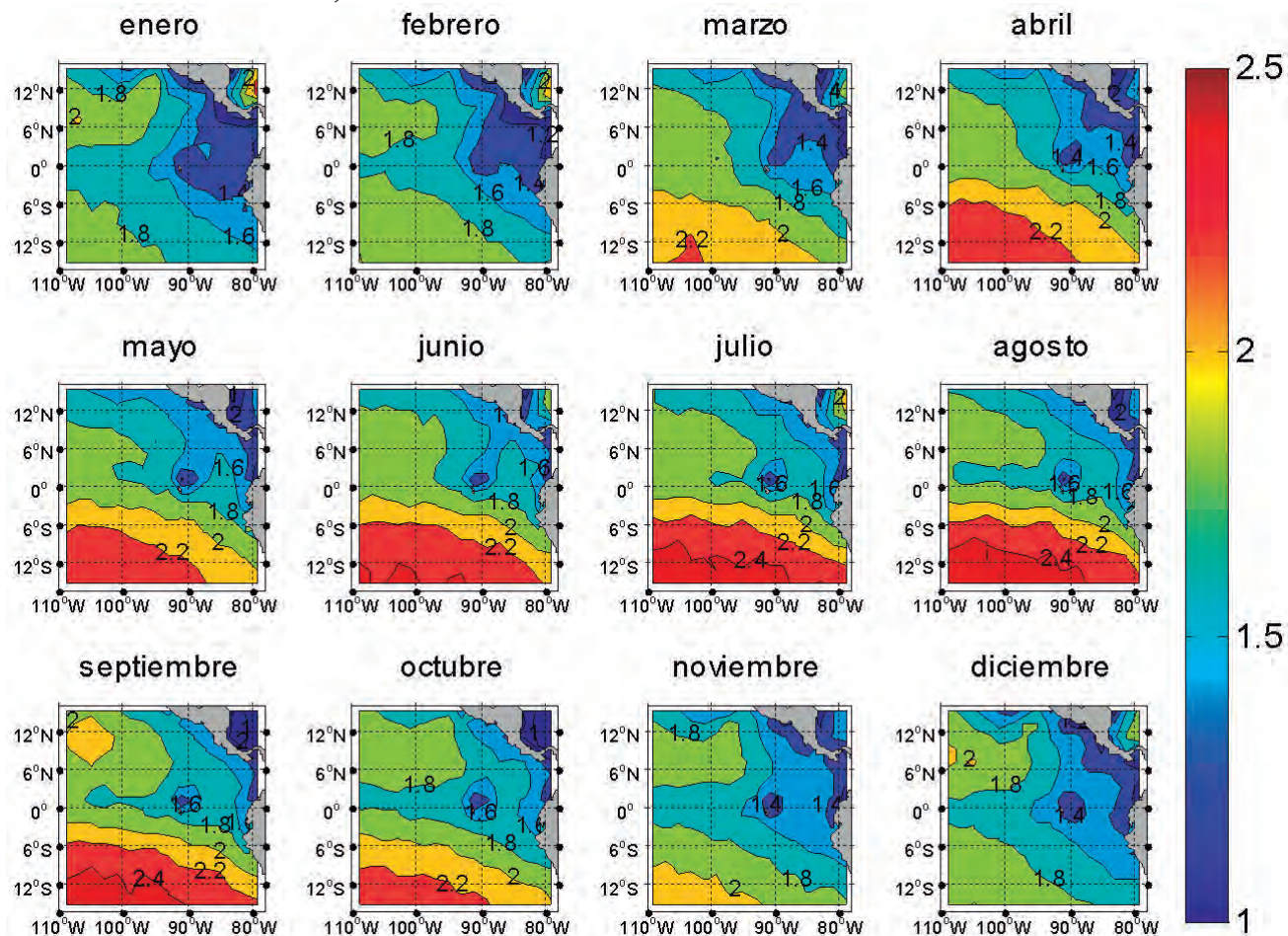


Figura 3. Media mensual de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

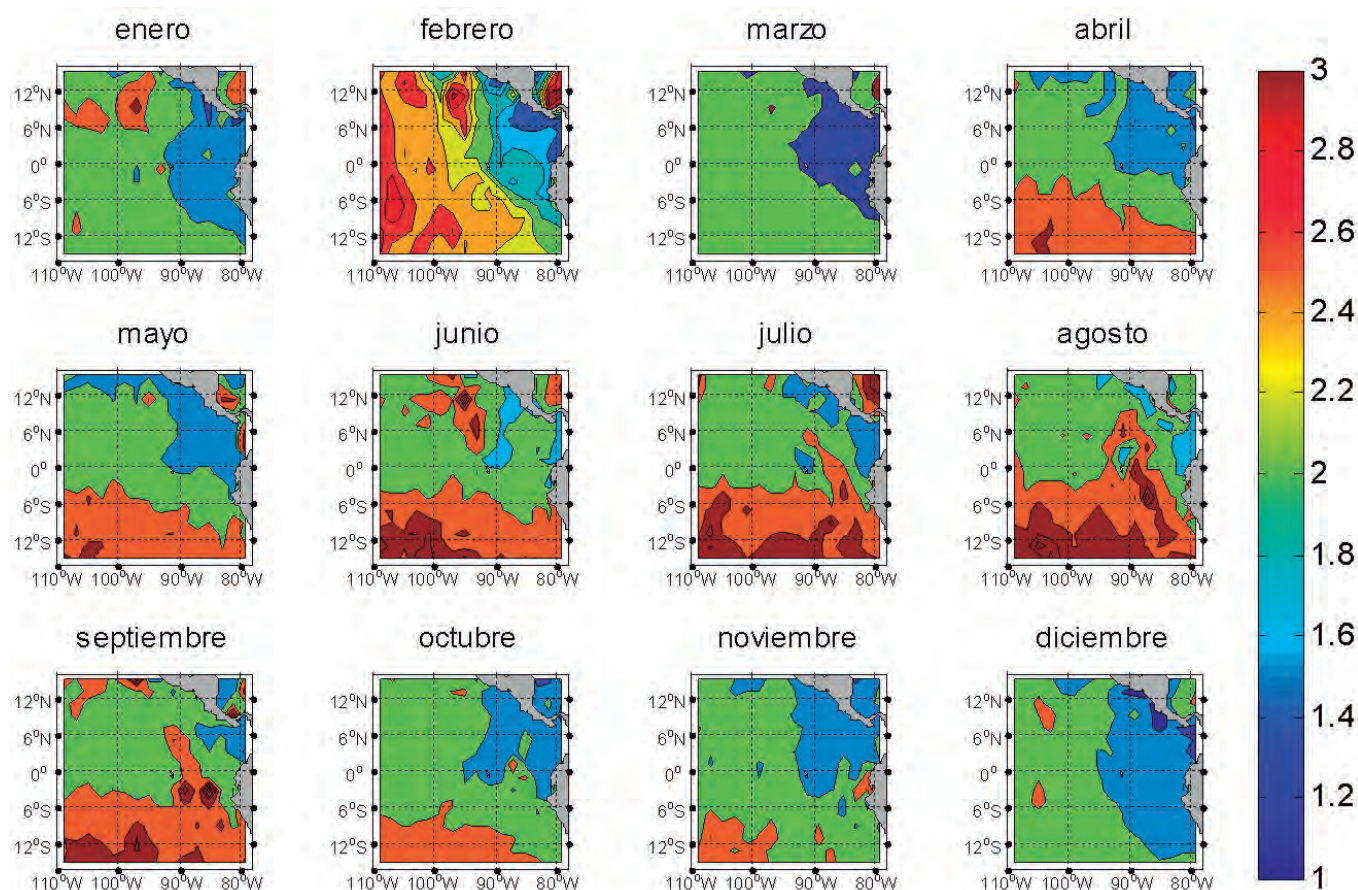


Figura 4. Valores máximos de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

Los valores máximos de Hs se generan durante los meses de junio hasta septiembre, donde se encuentran los valores picos de alturas de olas hasta 3 m, esto coincide con los altos valores de velocidad de viento U10 entre 15 -10.2 m/s que ocurren en altas latitudes durante la estación de invierno del hemisferio sur (Young, 1999). En febrero la distribución de máximos es importante en la zona oeste del dominio estudiado.

APROXIMACIÓN A CONDICIONES LOCALES

Para conocer el comportamiento de la Hs, lo más cerca a las costas de Ecuador, se

seleccionaron tres cuadrículas de norte a sur en las coordenadas: 2°N a 0, 0 a 2°S y 2° a 4°S con intersección con la longitud 80° y 82° O, cuyo centro se encuentra a 150, 15 y 80 km aproximadamente de la costa continental ecuatoriana. Para Galápagos se seleccionó el sector al suroeste de Galápagos, entre 90 y 92° W y 0° y 2°S. Estas cuadrículas son cuadradas con un ancho de 2° ó 222 Km². El promedio mensual de cada Hs y de cada una de estas zonas se muestra en la Tabla 2. En la figura 4, se puede observar que en el sector de Galápagos las alturas son siempre mayores que en las otras zonas, que están más cercanas a la costa y que en el sector norte la Hs es menor.

Tabla 2. Altura significativa de olas en mar ecuatoriano

	2°N - 0° 80° - 82° W (Norte)	0° - 2°S 80 - 82° W (Centro)	2 - 4° S 80 - 82° W (Sur)	0° - 2°S 90 92 ° W (Galápagos)
Enero	1,24	1,27	1,24	1,30
Febrero	1,21	1,29	1,28	1,39
Marzo	1,27	1,39	1,42	1,49
Abril	1,30	1,44	1,47	1,61
Mayo	1,40	1,52	1,52	1,59
Junio	1,51	1,57	1,54	1,62
Julio	1,43	1,46	1,51	1,61
Agosto	1,41	1,46	1,50	1,61
Septiembre	1,42	1,49	1,51	1,61
Octubre	1,43	1,47	1,51	1,48
Noviembre	1,34	1,34	1,38	1,34
Diciembre	1,28	1,29	1,29	1,32

Además estacionalmente, se observa que de mayo a octubre, las alturas son mayores que en los otros

meses, ver figura 5.

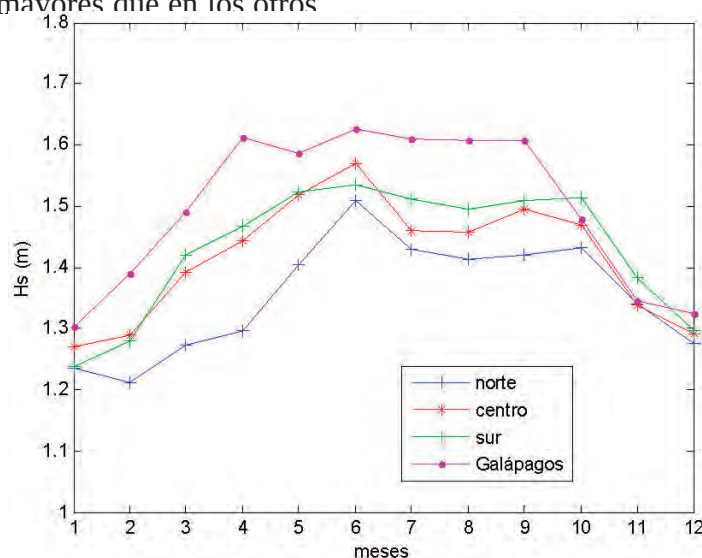


Figura 5. Climatología mensual de olas en tres puntos frente a la costa ecuatoriana. La base de la climatología es de 23 años (1992-2014).

COMPARACIÓN CON AÑOS NORMALES Y AÑOS EL NIÑO

De acuerdo al índice ONI, entre agosto de 1992 y diciembre del 2014, fueron reportados seis eventos El Niño, cuatro débiles, dos moderados y un fuerte. Para realizar un análisis cualitativo, se graficaron las anomalías anuales de Hs de los años de inicio y fin del evento, figura 6. Se

observaron anomalías positivas de Hs, por encima de 20 cm, durante los años de finalización de El Niño moderado (2010) y fuerte (1998), aunque las señales del evento el Niño, medidos por el índice ONI, solamente perduraron hasta el tercer y cuarto mes de los años mencionados. En el Niño moderado del 2003 y en los demás niños débiles, no se observó ningún efecto sobre la altura de olas.

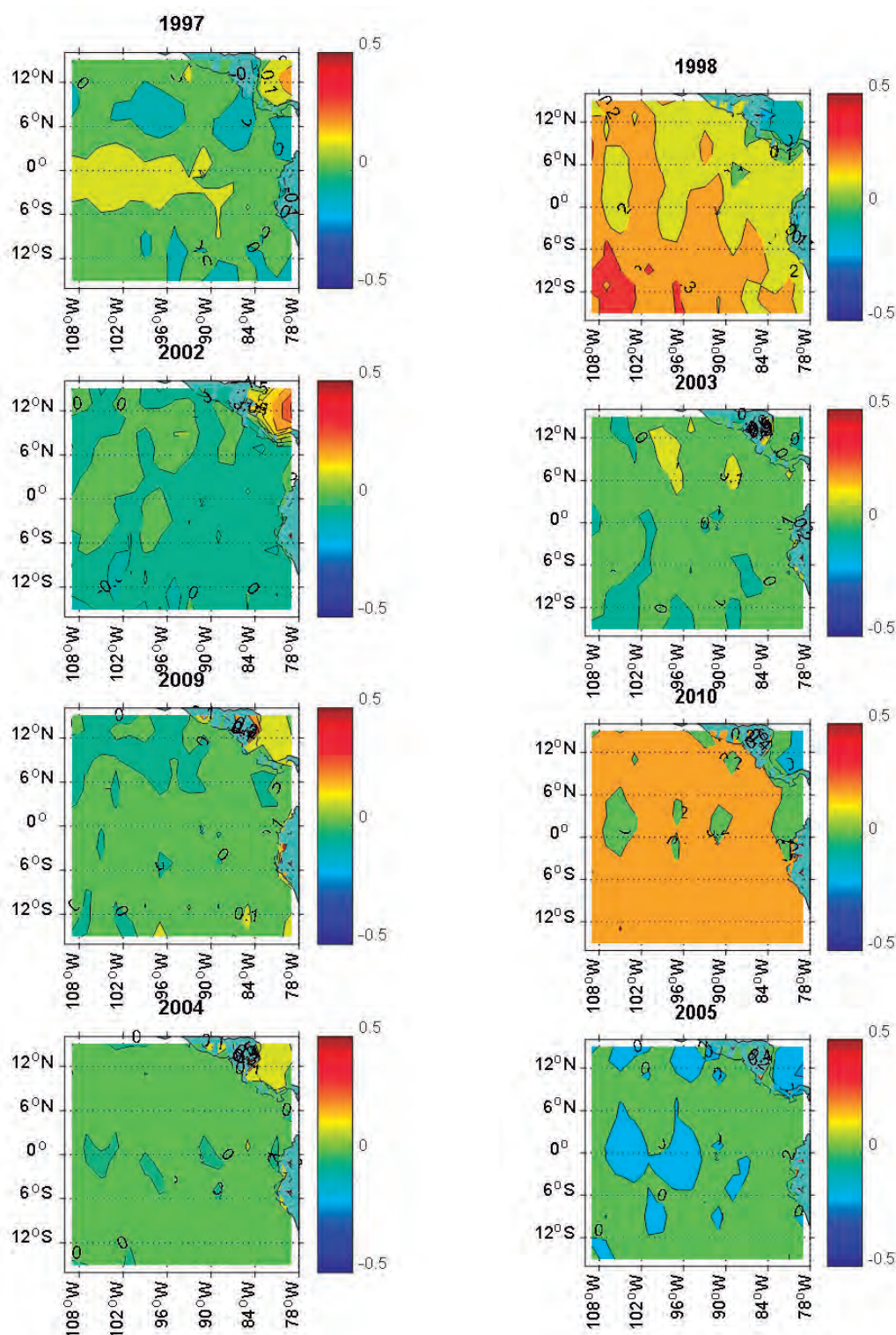


Figura 6. Anomalías de Hs durante años El Niño, la columna de la izquierda corresponden al año de inicio del evento.

La figura 7 de los años La Niña no mostró una diferencia significativa en el comportamiento de la Hs. En los años moderados de la Niña (1999 y 2007), se observó que en el primer año del evento, las anomalías fueron positivas, especialmente en el 1999, cuando se observaron

valores de hasta 10 cm. Las anomalías de las Niñas débiles (1995-1996 y 2011-2012) tuvieron comportamientos disímiles. En La Niña 1995-1996, se presentaron anomalías negativas de hasta 5 cm y en La Niña del 2011-2012, anomalías positivas de hasta 20 cm.

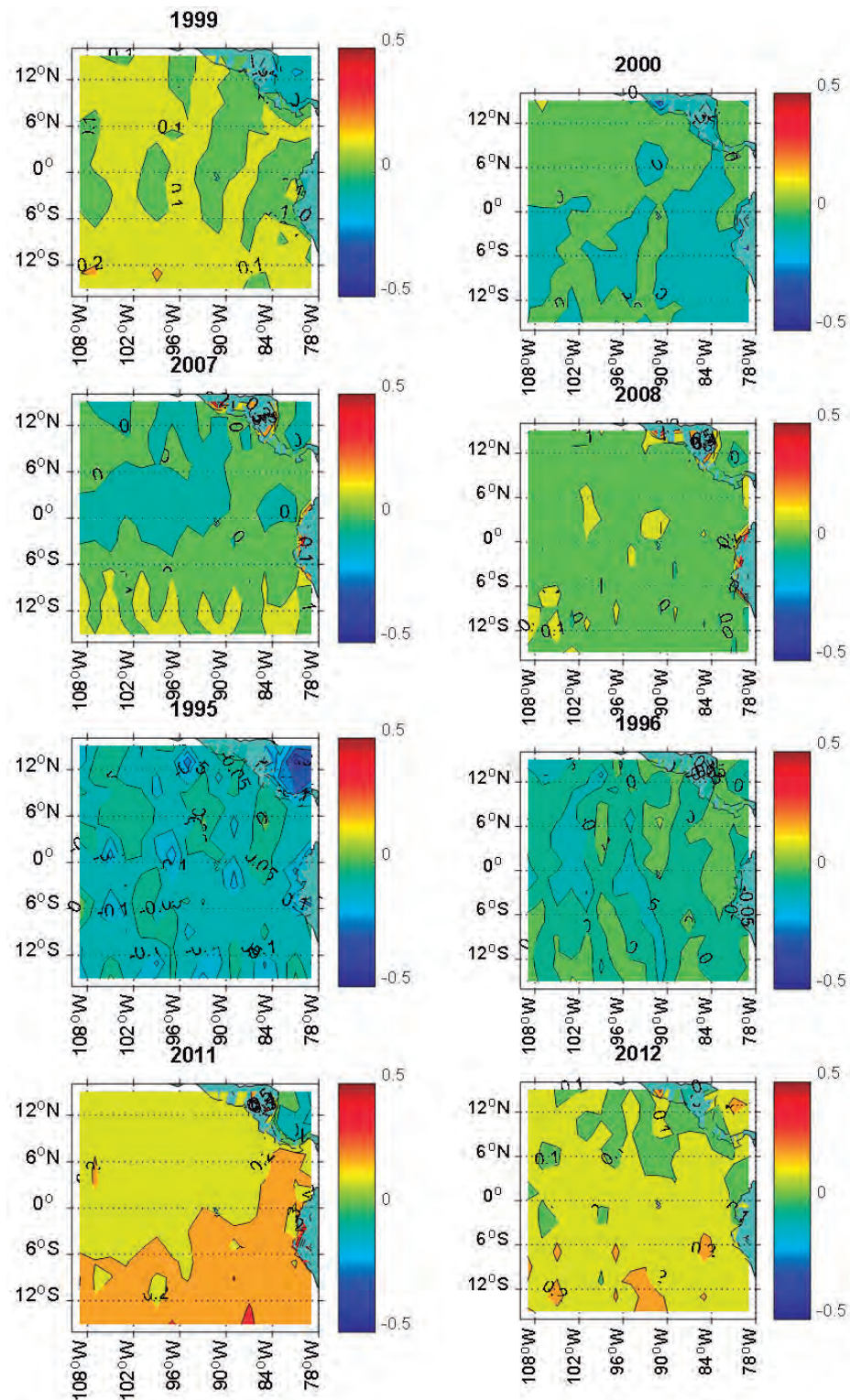


figura 7. En las dos primeras filas se representan anomalías de La Niña moderada, en las dos últimas anomalías de La Niña débiles

Para determinar las anomalías mensuales de los eventos El Niño y La Niña considerados más fuertes o duraderos en el período de estudio, se tomó como referencia el Niño extremo 1997-1998 y la Niña 1999-2000. En la figura 8, correspondiente a El Niño (mayo/97-mayo/98),

se presentaron anomalías positivas de Hs, donde se observan valores mayores de 20 cm desde octubre/ 1997 hasta febrero/98, siendo este mes, cuando aparecen las más altas anomalías positivas (+60cm).

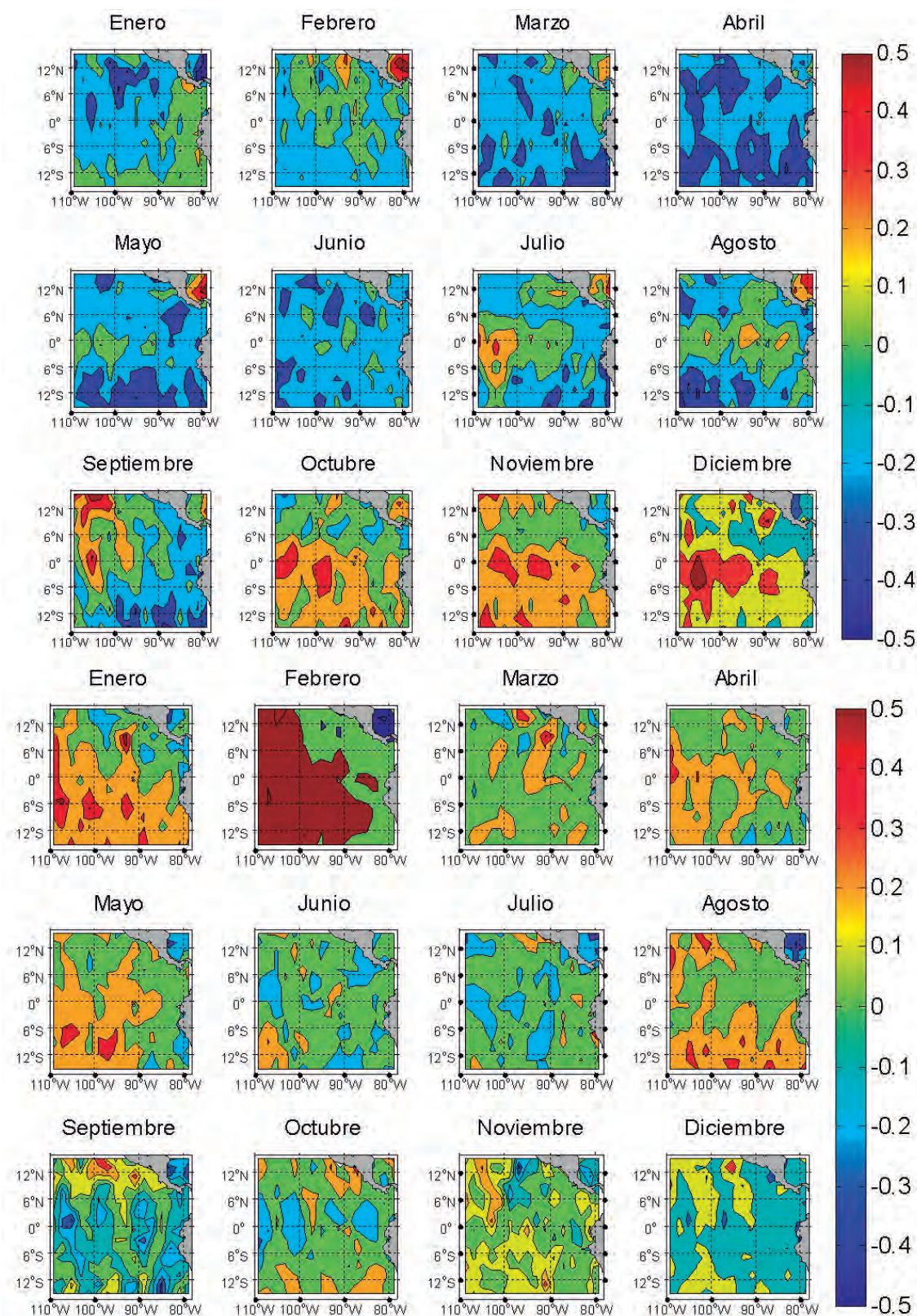


Figura 8. Anomalías de altura de olas –NIÑO 1997-1998

En la figura 9, la Niña 1999-2000 (aunque hay que recalcar que las condiciones La Niña se iniciaron en julio/98 y se mantuvieron hasta marzo/2001), las anomalías mensuales son variables, sin embargo se mostraron algunas

anomalías negativas que no se reflejan en las anomalías anuales. Se observaron anomalías negativas entre 20 y 50 cm en agosto y enero/99 y entre agosto y diciembre/2000.

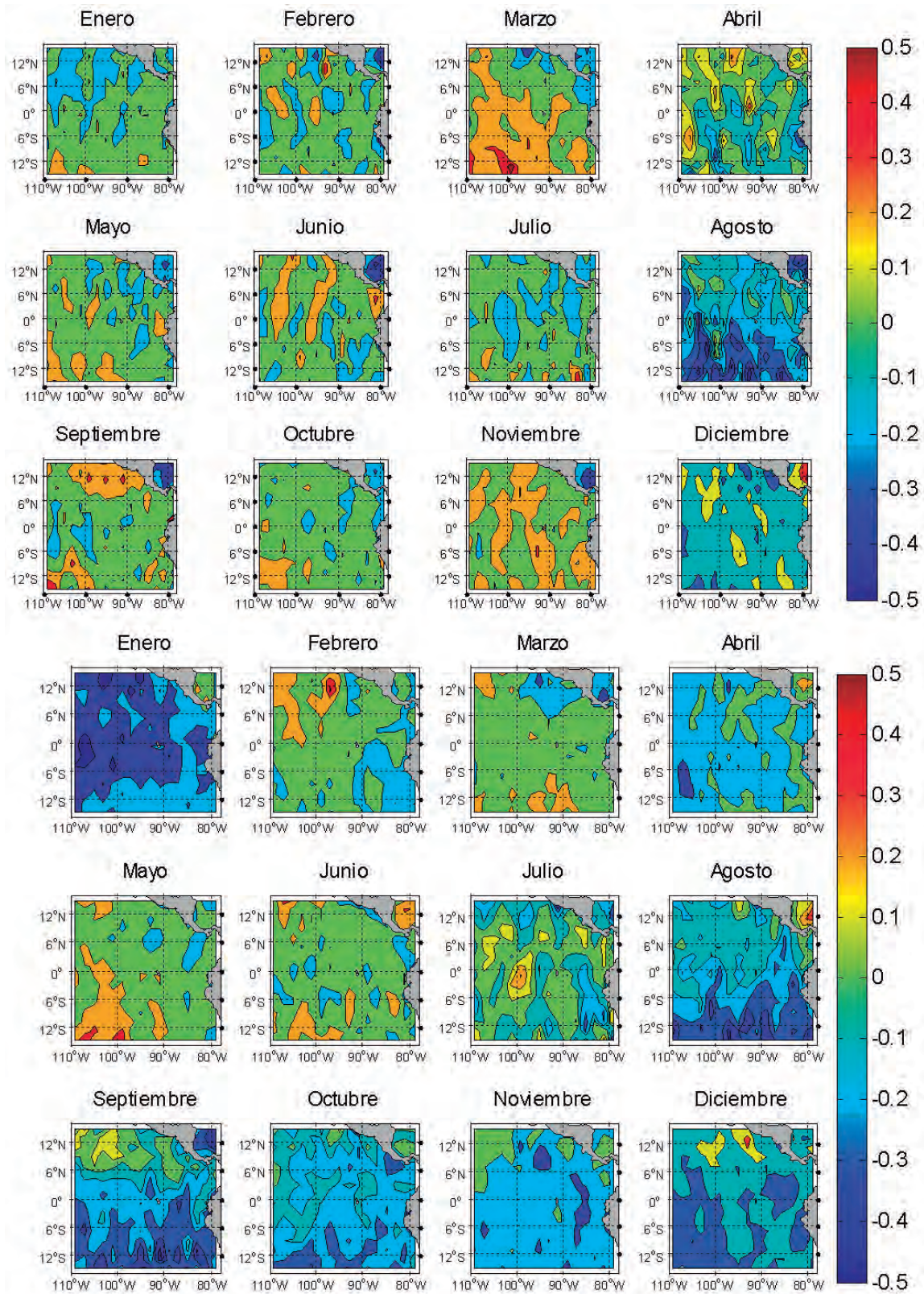


Figura 9 Anomalías de altura de olas –NIÑA 1999-2000

CONCLUSIONES

La información de olas en la zona ecuatorial, obtenida a través de satélites es muy importante, considerando que es la única fuente de medición

directa de mediano plazo, con la que se cuenta. Los controles de calidad del dato, que se aplican desde la fuente y que están en constante revisión, son rigurosos y permiten a los investigadores tener confiabilidad en su uso. La

densidad de información de un satélite es alta en tiempo y espacio, sin embargo un satélite puede demorar en pasar por un mismo sitio más de una semana, lo que dificulta analizar eventos de corta duración, como los efectos sobre las olas por el paso de una tormenta, la cual tiene días de duración.

El análisis de la información ha mostrado que existe un ciclo anual en la climatología de olas que coincide con el comportamiento de los vientos en el hemisferio sur, esto sumado a que las mayores alturas se dan en el sur de la zona de estudio, lo que confirma que el oleaje que se presenta en la zona ecuatorial corresponde a olas tipo swell.

El análisis cualitativo realizado con eventos climáticos extremos como El Niño y La Niña, sugieren una influencia sobre la altura de olas en el año final de un evento El Niño, especialmente cuando se trata de un Niño fuerte o moderado. Aunque este patrón no se cumplió para todos los eventos moderados

REFERENCIAS

- **Alves JHGM. 2006.** Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave climate. *Ocean Model* 11:98 – 122.
- **Bauer E&S taabs C. 1998.** Statistical properties of global significant wave heights and their use for validation. *J Geophys Res.* 103 : 1153–1166.
- **Capps SB & Zender CS. 2008.** Observed and CAM3 GCM Sea Surface Wind Speed Distributions: Characterization, Comparison, and Bias Reduction. *J Clim.* 21 : 6569–6585.
- **Carter DJT. 1993.** Estimating Extreme Wave Heights in the NE Atlantic from Geostat Data. *HSE Offshore Technol Reports* 396 : 35pp.
- **Collard F, Ardhuin F & Chapron B. 2009.** Monitoring and analysis of ocean swell fields from space: New methods for routine observations. *J Geophys Res.* 114 : C07023.
- **Delpey MT, Ardhuin F, Collard F & Chapron B. 2010.** Space-time structure of long ocean swell fields. *J Geophys Res.* 115 : C 12037.
- **Gentil de Farias EG, Lorenzzetti JA, Chapron B, Azevedo Correia de Souza JM. 2011.** Analysis of surface wave climate in the North Atlantic by satellite altimeter and scatterometer. En: *Anais XV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* : 7075–7081.
- **Hemer MA, Church J A& Hunter JR. 2009.** Variability and trends in the directional wave climate of the Southern Hemisphere. *Int J Climatol.* 30 : 475–491.
- **Holt B, Liu AK, Wang DW, Gnanadesikan A & Chen H.S. 1998:** Tracking storm-generated waves in the northeast Pacific Ocean with ERS-1 synthetic aperture radar imagery and buoys 103 (C4) : 7917–7929.
- **Izaguirre C, Méndez F J, Menéndez M, Losada IJ. 2011.** Global extreme wave height variability based on satellite data. *Geophys Res Lett* 38 (L10607).
- **Laing AK. 2000.** New Zealand wave climate from satellite observations. *New Zeal J Mar Freshw Res.* 34 : 727–744.
- **Woolf DK, Challenor P G & Cotton P D. 2002.** Variability and predictability of the North Atlantic wave climate. *J. Geophys. Res.* 107 (C10).
- **Young IR, Zieger S, Babanin A V. 2011.** Global trends in wind speed and wave height. *Science* 332 : 451–455.
- **Young IR. 1999.** Seasonal Variability of the Global Ocean Wind and Wave Climate. *Int J Climatol.* 19 : 931–950.