

Comparación de los productos de TSM L3 generados a partir de los sensores AVHRR y MODIS frente al Golfo San Jorge, Argentina

Allega, L.*¹, Cozzolino, E.¹, Pisoni, J. P.², Piccolo, M. C.^{3,4}

¹Subprograma de Sensoramiento Remoto. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. SERE-INIDEP. Paseo Victoria Ocampo N°1, Escollera Norte, Mar del Plata, Argentina.

²Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR/CONICET). Bv. Almirante Brown 2915, Puerto Madryn, Provincia de Chubut, Argentina.

³Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET/UNS), Florida 4500 (8000) (Camino La Carrindanga km 7,5) Bahía Blanca, Argentina.

⁴Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 12 de octubre y San Juan, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina.

Resumen: Desde principios de la década de los 80, el sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA ha provisto de estimaciones de temperatura de la superficie del mar (TSM) a la comunidad científica en general. Hacia finales de la década de los 90, surge una nueva generación de radiómetros que combinan una mayor gama de mediciones espectrales con mejoras en la tecnología, como lo es el sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua. El desarrollo de este último sensor se basó en los años de trayectoria de la serie NOAA/AVHRR. La comprensión de la relación entre los productos derivados de distintos sensores es fundamental para el seguimiento continuo a largo plazo de cualquier variable y de la construcción de series de tiempo combinadas. El objetivo del presente trabajo fue realizar una comparación de los valores mensuales de TSM para el período 2003-2006 calculadas a partir de datos de la serie NOAA/AVHRR vs. Aqua-MODIS sobre un sector de la Plataforma Continental Argentina frente al Golfo San Jorge. El análisis de las isotermas mostró un patrón de distribución similar durante todos los meses para ambos sensores. El coeficiente de correlación de Pearson fue alto, tanto en los análisis estacionales (> 0.9) como mensuales (> 0.8). El análisis comparativo de la temperatura medida en ambos sensores mostró que los productos de TSM son similares, teniendo en cuenta que la diferencia media de temperatura entre ambos sensores es inferior a 0,5°C. Por lo tanto, para el estudio de largas series de tiempo de TSM en la plataforma continental argentina se puede utilizar en forma continua las estimaciones de Aqua/MODIS, cuando ya no se disponen las de NOAA/AVHRR.

Palabras clave: TSM, AVHRR, MODIS, Golfo San Jorge.

Comparison of SST L3 products generated from the AVHRR and MODIS sensors in front of the San Jorge Gulf, Argentina

Abstract: Since the early 1980s, the AVHRR sensor on board the NOAA satellites has provided SST estimates to the scientific community in general. Towards the end of the 1990s, a new generation of radiometers was added,

To cite this article: Allega, L., Cozzolino, E., Pisoni, J. P., Piccolo, M. C. 2017. Comparison of SST L3 products generated from the AVHRR and MODIS sensors in front of the San Jorge Gulf, Argentina. *Revista de Teledetección*, 50, 17-26. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7498>

* Corresponding author: lallega@inidep.edu.ar

combining a wider range of spectral measurements with improvements in technology, such as the MODIS sensor on board the Terra and Aqua satellites. The development of this last sensor was based on the years of NOAA/AVHRR series. Understanding the relationship between products derived from different sensors is critical to the continuous long-term monitoring of any variable and the construction of continuous time series. The objective of this work was to make a comparison of the monthly SST values for the 2003-2006 period calculated from data from the NOAA/AVHRR series versus Aqua-MODIS on a sector of the middle Argentina Continental shelf off the San Jorge Gulf. For both sensors, the isotherms show a similar distribution pattern in all months. Pearson's correlation coefficient was high, both in the seasonal (> 0.9) and monthly (> 0.8) analyzes. The comparative analysis of the temperature estimated by both sensors shows that SST products are similar and can be used to analyze large and continuous time series.

Key words: SST, AVHRR, MODIS, San Jorge Gulf.

1. Introducción

La temperatura superficial del mar (TSM) es una de las propiedades físicas más utilizadas en el estudio del sistema océano-atmósfera mundial, ya sea para el pronóstico del tiempo, el análisis de diferentes procesos oceanográficos y la comprensión del cambio climático (Lentini *et al.*, 2000; Minnett *et al.*, 2002; Rivas, 1997, 2010; Romero, 2008; Rivas y Pisoni, 2010). Constituye, además, uno de los indicadores más significativos en el comportamiento y regulación de los ecosistemas marinos (Rivas, 2010). La variabilidad de la TSM en la región del Atlántico Sud Occidental ha sido estudiada por numerosos autores. Olson *et al.* (1988), siguieron la latitud de separación de las corrientes de Brasil y Malvinas a lo largo del Talud. Algunos estudios preliminares describieron el ciclo de la TSM y su variabilidad en la región de la Confluencia Brasil-Malvinas (Podestá *et al.*, 1991; Podestá 1997). Por su parte Provost *et al.* (1992), Saraceno (1999), Lentini (2000, 2001), Bava (2004), Martínez Avellaneda (2005) y Baldoni (2010), lo hicieron en la plataforma continental (PC). Estos estudios han permitido establecer que el ciclo anual en la región presenta estaciones bien definidas con un patrón sinusoidal típico de latitudes medias, con temperaturas mínimas durante agosto-septiembre y máximas durante febrero-marzo.

El desarrollo y la aplicación de la teledetección, desde principios de la década de los 80, permitió estimar la emisión térmica de los océanos en las bandas del infrarrojo y microondas, de manera sinóptica, continua y actualizada permitiendo obtener los campos globales de TSM (IOCCG, 2000; Minnett *et al.*, 2002; Hosoda, *et al.*, 2007; Wilson

et al., 2008; Pisoni, 2012; Williams *et al.*, 2010, 2013). Una de las desventajas de los sistemas remotos es la incapacidad de estimar correctamente la TSM en presencia de nubes, gases atmosféricos y aerosoles (Gentemann, 2014). No obstante, estos sistemas ofrecen ventajas significativas frente a los datos obtenidos *in situ*, como la gran cobertura espacial, en particular, en zonas donde las campañas oceanográficas son poco frecuentes, como en nuestra región de interés.

Desde noviembre de 1981, el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo de los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ha provisto de estimaciones de TSM durante más de tres décadas. El AVHRR es probablemente el sensor más utilizado, tanto en estudios científicos como en aplicaciones operacionales oceanográficas y pesqueras (Bava *et al.*, 1999). A finales de la década de los 90, surgió una nueva generación de radiómetros, el MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo de los satélites Terra (1999) y Aqua (2002) los cuales combinan una mayor gama de mediciones espectrales con mejoras en la tecnología (Minnett *et al.*, 2002). El sensor MODIS fue desarrollado para la detección de fenómenos terrestres y oceánicos, donde sus aplicaciones oceanográficas incluyen básicamente estimaciones del color del océano y de TSM. El desarrollo de este sensor se basó en los años de trayectoria de la serie NOAA/AVHRR, incorporando bandas en el infrarrojo que permitieron derivar campos más precisos de TSM (Brown y Minnett, 1999). La comprensión de la relación entre los productos derivados de distintos sensores es fundamental para el análisis de largas series de tiempo de cualquier variable (Gallo *et al.*, 2005),

como así también para la construcción de serie de tiempo combinadas. Heidinger *et al.* (2002) analizaron la contaminación de los píxeles por nubes entre los sensores AVHRR y MODIS indicando que este último fue capaz de revelar aproximadamente un 2% más de contaminación. Los estudios realizados sobre el ambiente marino indican que los productos de TSM derivados de MODIS (Terra) son comparable con los productos AVHRR (Minnett, 2002). Cao y Heidinger *et al.* (2002) realizaron una comparación píxel por píxel entre ambos sensores para evaluar su correlación entre las bandas (11 μm y 12 μm) indicando que las observaciones MODIS y AVHRR presentan una buena correspondencia. Robles-González *et al.* (2011) realizaron sus estudios en las zonas próximas a África, Alborán, Azores, Canarias, Cantábrico, Mediterráneo, entre otras y concluyeron que la TSM obtenida a partir de datos AVHRR revela un ajuste favorable con respecto a la de MODIS, destacando que en general las estimaciones de TSM en el primer sensor fueron mayores a 1°C. Armstrong *et al.* (2012) compararon los gradientes regionales TSM en el área de la Corriente de California y la del Golfo en Estados Unidos, indicando un mayor gradiente térmico al utilizar información proveniente de MODIS en comparación con los derivados de AVHRR. Narayanan *et al.* (2013) realizaron sus análisis en la Bahía de Bengala en el Océano Índico, evidenciando una buena correlación entre los datos de TSM provenientes de los sensores MODIS y AVHRR y los datos *in situ*, revelando un coeficiente de determinación (R^2) de 0,61 y 0,86, respectivamente.

En este contexto el objetivo del presente trabajo fue realizar una comparación de los valores mensuales de TSM para el período 2003-2006 calculados a partir de datos de la serie NOAA/AVHRR vs. Aqua-MODIS sobre un sector de la Plataforma Continental Argentina. El área de estudio comprende un sector de plataforma media continental argentina entre 45° S - 47° S y 62° W - 65° W frente al Golfo San Jorge (Figura 1a). Se eligió esta región a fin de no utilizar datos costeros, debido a las diferencias que pueden surgir por la cercanía a la costa. Dicha región está influenciada por masas de agua de origen subantártico, originadas en latitudes altas, tanto por desprendimientos de las corrientes de borde (Corriente Circumpolar y de Malvinas) como por la contribución de aguas de derrames continentales subpolares (canales

fueguinos y Estrecho de Magallanes) con una circulación media de sur a norte (Guerrero y Piola, 1997; Piola y Rivas 1997; Palma *et al.*, 2008; Baldoni *et al.*, 2015). La TSM en el área se caracteriza por tener un ciclo anual definido por un patrón sinusoidal típico de latitudes medias, con máximas temperaturas durante el periodo enero-marzo y los mínimos en julio-septiembre (Baldoni, 2010). Las isotermas siguen un patrón latitudinal, disminuyendo su valor conforme aumenta la latitud. En la zona sur se evidencia la influencia de las aguas costeras magallánicas de menor temperatura y salinidad (Louge *et al.*, 2004). El intercambio de calor con la atmósfera durante la época estival aumenta la estratificación vertical formándose la típica capa de mezcla superficial, la cual desaparece en invierno debido a la mezcla originada por el viento y el enfriamiento superficial (Guerrero y Piola, 1997).

2. Materiales y métodos

Se utilizaron dos metodologías para el análisis comparativo entre los productos de las dos bases de datos satelitales. Por un lado se analizó empíricamente la distribución de las isotermas de la TSM y se compararon los promedios mensuales entre cada sensor. Por otro lado se realizó un análisis pormenorizado, agrupando los meses en función de la clasificación estacional propuesta por Baldoni (2010): meses cálidos (enero-marzo), fríos (julio-septiembre) y de transición otoño (abril-junio) y primavera (octubre-diciembre). Por último, para cada caso se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre ambos sensores.

2.1. Serie NOAA/AVHRR

El sensor AVHRR es un espectro-radiómetro de banda ancha capaz de medir radiación en 3 canales en el visible e infrarrojo cercano (0,63, 0,83, 1,63 μm) y otros 3 en el infrarrojo térmico (3,74, 11 y 12 μm) (Robles-González *et al.*, 2011). Los datos AVHRR utilizados provienen de los satélites NOAA-17 (01/01/03-04/06/05) y NOAA-18 (05/06/05-31/12/09).

Las imágenes seleccionadas para este estudio corresponden a un nivel de procesamiento L3, en la ventana del espectro cercana a 11 μm , nocturnas y de 4 km de resolución espacial. Las mismas provienen del sitio oficial del proyecto Pathfinder

versión 5.0 (<http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/Monthly>) y fueron almacenadas en formato HDF4 con sus respectivos archivos de parámetros. A través de rutinas informáticas desarrolladas en el Subprograma de Sensoramiento Remoto (SERE) del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), se seleccionó el área de interés, se aplicaron los *flag* de calidad más elevada (*Flag 7*) y se extrajo el valor de la TSM correspondiente a cada píxel.

2.2. Aqua-MODIS

El desarrollo del radiómetro MODIS se fundamenta en los conocimientos adquiridos durante varias décadas de uso del radiómetro infrarrojo AVHRR. El sensor MODIS posee 36 bandas espectrales, desde el visible hasta el infrarrojo térmico (0,4-14,4 μm). Presenta una resolución espacial variable dependiendo de la banda, de 250 m (banda 1-2), 500 m (banda 3-7), y las 29 bandas restantes (8-36) con una resolución de 1 km. Para la estimación de la TSM se utilizan las longitudes de onda entre 3,7 a 4,2 μm (bandas 20, 22 y 23) y 10 a 12 μm (bandas 31 y 32) (Brown y Minnett, 1999). Las imágenes utilizadas para el estudio provienen del sensor a bordo del satélite Aqua. Las mismas se obtuvieron de la página oficial de la NASA: Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>) con un nivel L3 de procesamiento y con una versión de reanálisis 2014.0, de 11 μm , nocturnas y de 4 km de resolución espacial. Para la extracción del valor de TSM se utilizaron rutinas informáticas desarrolladas en el SERE-INIDEP, donde se seleccionó el área de interés y se aplicaron los *flag* de calidad más rigurosa (*Flag 0*) y se extrajo el valor de la TSM correspondiente a cada píxel.

Con el fin de evitar los sesgos positivos dados por los mecanismos de calentamiento diurno que se producen en la capa superior del océano por la radiación solar, que provoca registros mayores de TSM durante el día que en la noche (Casey, 2002) se utilizaron imágenes nocturnas en ambos casos.

2.3. Comparación AVHRR-MODIS

Se dispuso de una imagen por mes para cada sensor, que representa la distribución horizontal de la media mensual por píxel. Previo al análisis se eliminaron los faltantes de datos (NaN) y aquellos

píxeles que se hallaron por fuera de los límites externos del conjunto de datos, considerados *outlier*.

Se realizó una comparación píxel a píxel, para cada mes y posteriormente estacional durante los 4 años en que se superponen ambos sensores (2003-2006).

Debido a que la localización de los píxeles entre los sensores presentan un desplazamiento, las imágenes fueron definidas en una nueva cuadrícula regular determinadas de forma equidistante (0,0428° de latitud \times 0,0428° de longitud) mediante la técnica del vecino más cercano a fin de comparar en el tiempo cada píxel (Figura 1b). Los productos derivados de esta nueva cuadrícula se generaron sistemáticamente sobre una zona estándar preestablecida localizada sobre la PC argentina frente al Golfo San Jorge (Figura 1a). A partir de las series mensuales generadas con la nueva cuadrícula se estimaron los valores mínimos, máximos, media mensual (producto estándar (L3) obtenido de las páginas oficiales), desvío estándar, promedios mensuales [definidos como el valor obtenido al sumar todas las medias mensuales de un mes determinado y dividir el resultado por el número total de años (4)] y coeficiente de correlación de Pearson (r). Finalmente para la serie estacional fue calculado el coeficiente r y la raíz cuadrada de la varianza (RMSE). Todos los análisis se realizaron empleando el entorno Rstudio Versión 1.0.136.

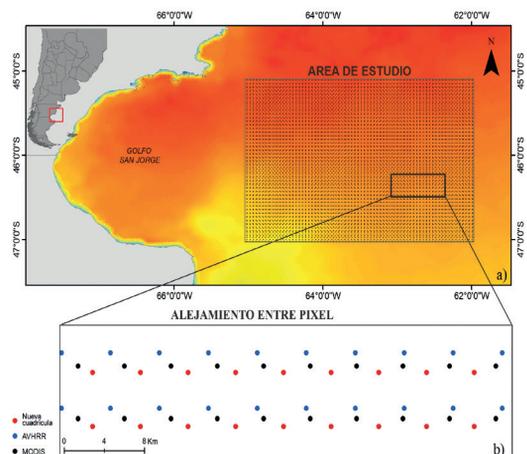


Figura 1. a): Área de estudio. b): Alejamiento entre los píxeles y punto de la nueva cuadrícula regular. Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Se obtuvieron 120 productos, 48 correspondieron a los valores de TSM media mensual y 12 a los promedios mensuales, para cada sensor. La distribución de las isotermas para los productos AVHRR y MODIS durante el período de estudio se muestra en la Figura 2. A pesar que ambas presentaron distribuciones similares, los productos

AVHRR indicaron un leve desplazamiento de las isotermas hacia el sur en comparación con los productos MODIS, lo que significa temperaturas relativamente más altas en AVHRR en todos los meses (Figura 3). El mayor desvío ($>1^{\circ}\text{C}$) se presentó en los meses cálidos (diciembre-febrero) para ambos sensores y para el mes de marzo sólo para MODIS, siendo septiembre el mes de menor desvío para ambos sensores ($0,51^{\circ}\text{C}$).

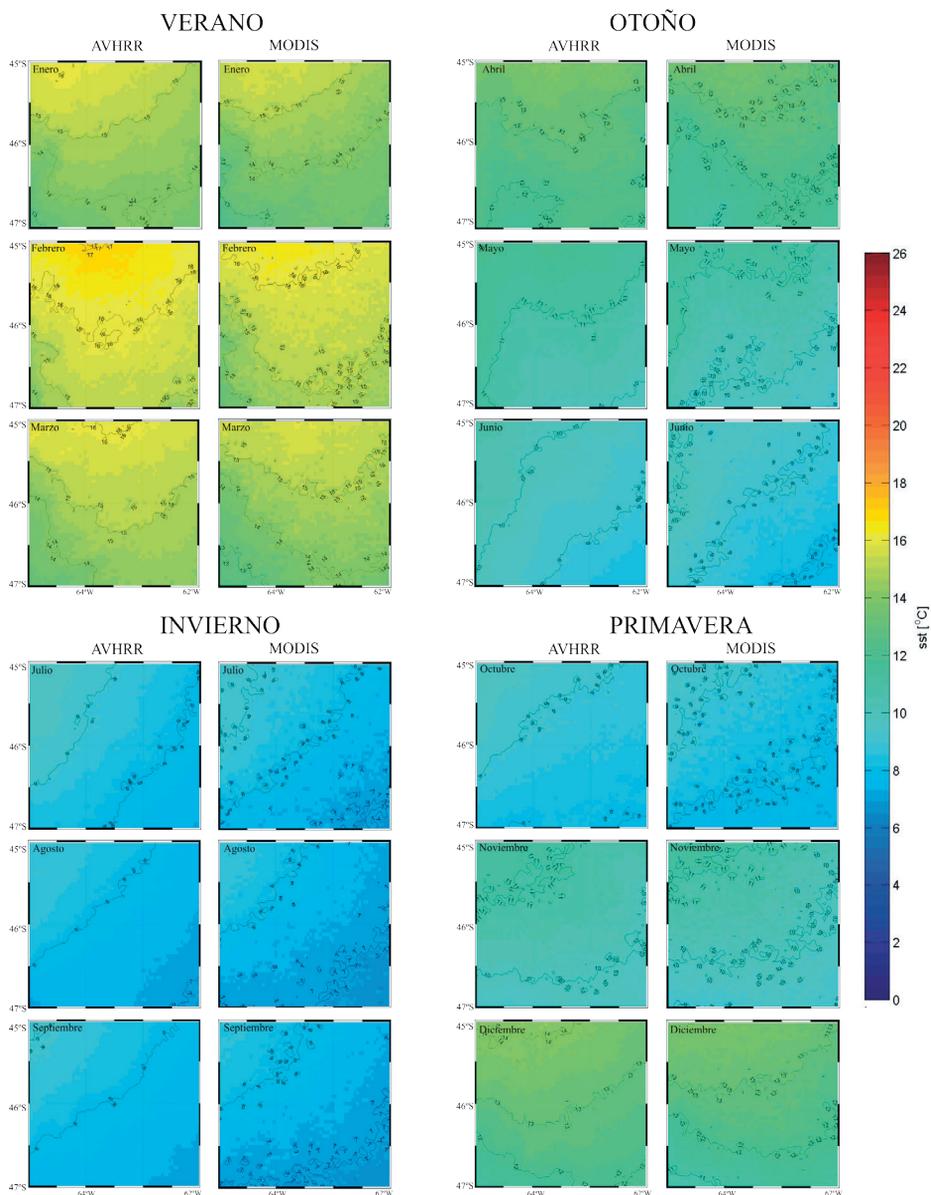


Figura 2. TSM media mensual calculada a partir de los sensores AVHRR (panel izquierdo) y MODIS (panel derecho) para el período 2003-2006. La línea continua indica las isotermas cada 1°C .

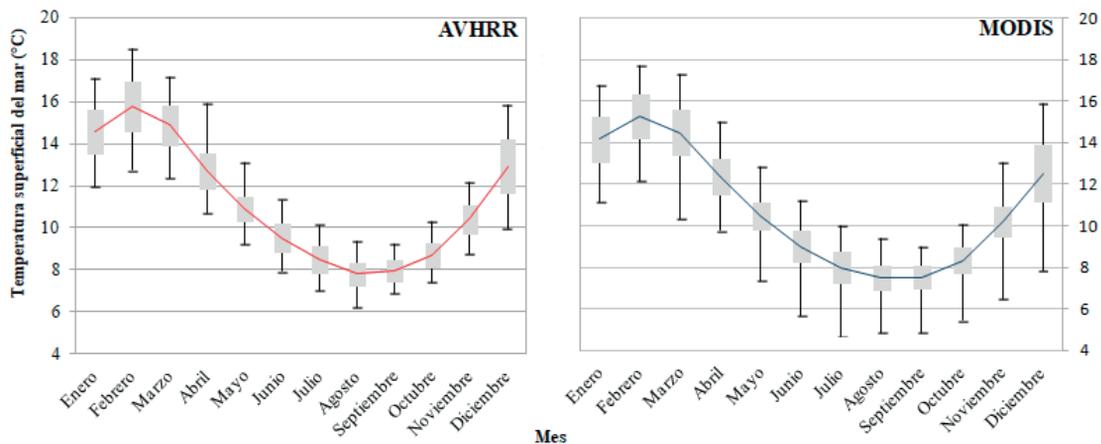


Figura 3. Comparación entre la TSM obtenidos a partir de datos NOAA/AVHRR (izquierda) y Aqua-MODIS (derecha) para la región de estudio. La línea continua indica el promedio mensual para el área de estudio, las barras indican el desvío estándar para cada mes y los límites superiores e inferiores indican los promedios de los valores máximos y mínimos respectivamente.

Los diagramas de dispersión entre las imágenes MODIS y AVHRR con la TSM estacional calculada píxel por píxel se muestran en la Figura 4. Estos presentaron un alto grado de correlación estacional, siendo los meses de invierno los que presentaron el valor más bajo ($r=0,903$). Además se observaron valores relativamente bajos de la TSM de MODIS en comparación con las TSM de AVHRR, fundamentalmente en otoño e invierno. Considerando los promedios mensuales de la TSM, los coeficientes de correlación estacionales fueron mayores a 0,96. Al calcular los coeficientes

para cada mes, se observó que el coeficiente r fue superior a 0,90 ($p < 2,2e^{-16}$) para el período de estudio y oscilaron entre 0,811 en el mes de noviembre y 0,98 en enero (Figura 5). Los meses de abril, mayo, octubre y noviembre mostraron los valores más bajos (0,830, 0,834, 0,811 y 0,814, respectivamente), y el resto de los meses presentó una alta correlación ($>0,88$). Al igual que en el caso estacional, los ajustes mejoraron significativamente al calcular los promedios mensuales de TSM, con un valor superior a 0,918. Los menores valores del coeficiente en las estaciones de transición entre el

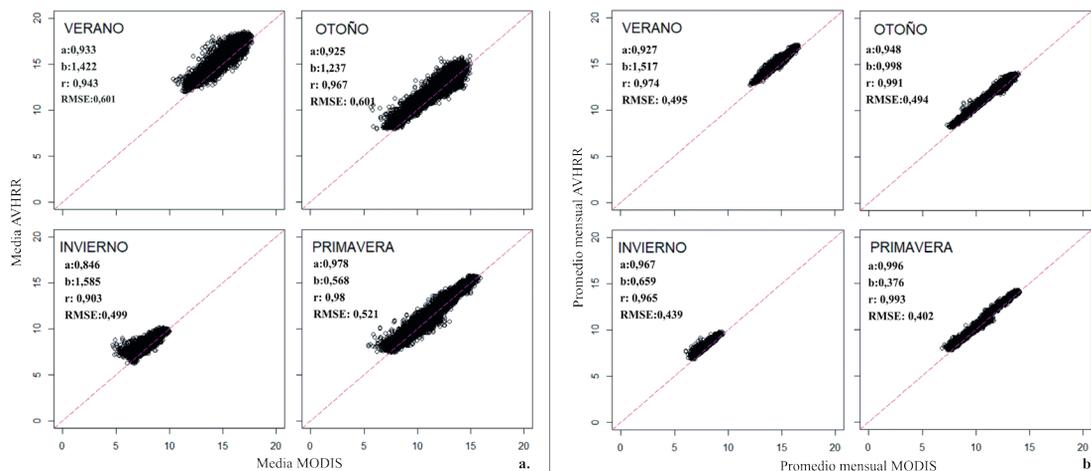


Figura 4. Dispersión de la TSM media mensual (a) y los promedios mensuales (b) para cada estación del año correspondiente a los productos satelitales Aqua-MODIS vs. NOAA/AVHRR. Para cada estación se indica la pendiente, el intercepto, el coeficiente de correlación de Pearson (r) y la raíz cuadrada de la varianza (RMSE).

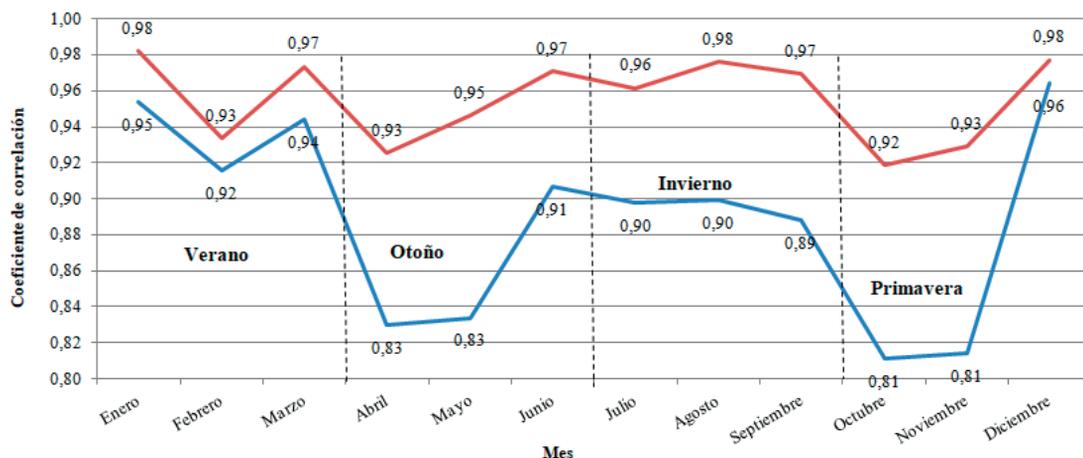


Figura 5. Coeficiente de correlación de Pearson (r) correspondiente a los meses del año para el área de estudio. Línea roja indica los valores de r calculados a partir de los promedios mensuales de la TSM y la línea azul indica los valores de r calculados agrupando los valores medios de TSM para todos los años.

verano e invierno podrían explicarse por la mayor variabilidad espacial y mensual de las temperaturas a lo largo de estos años.

4. Conclusiones

En este trabajo se compararon los productos derivados de los sensores NOAA/AVHRR y Aqua-MODIS y se analizó la factibilidad de utilizar una combinación de ambos productos para construir series de tiempo más extensas y confiables. El estudio comparativo de la temperatura de la superficie del mar medida por los dos sensores evidenció que los productos de TSM son similares entre sí.

La diferencia de temperatura entre los productos NOAA/AVHRR y Aqua-MODIS fue inferior a 0,5°C. El promedio de la diferencia de temperatura entre ambos sensores fue de 0,41°C, siendo menores los valores de MODIS. A lo largo de todo el año el sensor MODIS registró las temperaturas mínimas más bajas (>1°C). Las mayores diferencias (>2°C) se encontraron en la mayor parte del año (marzo, junio, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre). Además, se observó un desplazamiento latitudinal hacia el sur en las isotermas de las imágenes obtenidas por el sensor AVHRR con respecto a las MODIS.

El grado de correlación entre ambos sensores aumentó significativamente (>0,96) en todos los

meses al realizar el análisis sobre los promedios mensuales. Es factible que este aumento sea producto de promediar los 4 años de estudio, suavizando las diferencias entre los sensores.

Los productos mensuales no consideran la hora de pasada del satélite. Ello puede ocasionar incertidumbre al comparar los datos. La ausencia de registros en el rango espectral 3,7 y 4,2 μm (bandas 20, 22 y 23 en MODIS) por parte del AVHRR acotó el estudio al rango espectral de 11 μm presente en ambos sensores. Si bien el estudio comparativo AVHRR vs. MODIS resultó ser aplicable satisfactoriamente para el área de estudio, debe considerarse que MODIS registró la TSM 0,4°C por debajo de AVHRR. Resta aplicar este método comparativo a otras áreas de estudio y comparar con series de tiempo de datos in-situ, los cuales son inexistentes en la región de estudio durante el periodo analizado.

La aplicación de la nueva cuadrícula regular es determinante para el análisis continuo de la TSM proveniente de sensores diferentes. Sin lugar a dudas se puede utilizar ambas imágenes (NOAA/AVHRR y Aqua-MODIS) para construir series largas de tiempo de la TSM y así estudiar las fluctuaciones del mencionado parámetro.

Por último, la construcción de largas series de tiempo de datos satelitales constituye una herramienta necesaria para el análisis a largo plazo de cualquier variable. La base extendida de TSM

permitirá llevar adelante futuras líneas de trabajo sobre sus diferentes escalas de variabilidad y así comparar con las escalas de variabilidad climática y las fluctuaciones de las pesquerías en la zona de estudio.

Agradecimientos

A la Dra. Eleonora Verón, la Dra. Martina Camiolo y al Lic. Raúl Reta por sus aportes y correcciones. Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Número de contribución INIDEP 2081.

Referencias

Armstrong, E. M., Wagner, G., Vazquez-Cuervo, J., Chin, T. M. 2012 Comparisons of regional satellite sea surface temperature gradients derived from MODIS and AVHRR sensors. *International Journal Of Remote Sensing*, 33(21), 6639-6651. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692832>

Baldoni, A. 2010. Clasificación temporal de los datos oceanográficos sobre la Plataforma Continental y Océano Atlántico Sud Occidental. INIDEP, *Informe de Investigación*, N° 25, 24 pp.

Baldoni, A., Molinari, G., Reta, R., Guerrero, R. 2015. Atlas de temperatura y salinidad de la plataforma continental del Atlántico Sudoccidental: periodos cálidos y fríos, Contribución INIDEP N° 1908, Buenos Aires, INIDEP.

Bava, J., Galiardini, D. A., Lasta, C., Pujol, G. G. 1999. Análisis preliminar de datos de temperatura superficial del mar obtenidos mediante información histórica NOAA-AVHRR para su correlación con bases de datos oceanográficos y pesqueros. Disponible en http://www.astroeduc.com.ar/ESTUDIO_TERMICO_COMPARATIVO.pps (último acceso el 27 de junio de 2016).

Bava, J. 2004. Metodologías de procesamiento de imágenes NOAA-AVHRR y su utilización en aplicaciones oceanográficas y biológico-pesqueras en el Atlántico sudoccidental. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 213 pp. Disponible en <http://www.digital.bl.fcen.uba.ar> (último acceso el 29 de mayo de 2016).

Brown, O. B., Minnett, P. J. 1999. MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm. Algorithm Theoretical Basis Document. Disponible en https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod25.pdf (último acceso: 09 de septiembre, 2016).

Casey, K S. 2002. Daytime vs. nighttime avhrr sea surface temperature data: a report regarding wellington et al. (2001). *Bulletin of marine science*, 70(1), 169-175.

Cao, Ch., Heidinger, A. K. 2002. Inter-comparison of the longwave infrared channels of MODIS and AVHRR/NOAA-16 using simultaneous nadir observations at orbit intersections. "Inter-comparison of the longwave infrared channels of MODIS and AVHRR/NOAA-16 using simultaneous nadir observations at orbit intersections", *Proc. SPIE 4814, Earth Observing Systems VII*, 306. <https://doi.org/10.1117/12.451690>

Gallo, K., Reed, B., Eidenshink, J., Dwyer, J. 2005. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*, 99, 221-231. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.014>

Gallo, K., Reed, B., Eidenshink, J., Dwyer, J. 2004. Comparison of MODIS and AVHRR 16-day normalized difference vegetation index composite data. *Geophysical Research Letters*, 31, L07502. <https://doi.org/10.1029/2003GL019385>

Gentemann, C. L. 2014. Three way validation of MODIS and AMSR-E sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 2583-2598. <https://doi.org/10.1002/2013JC009716>

Guerrero, R., Piola, A. 1997. Masas de agua en la plataforma continental. En Boschi, E.E. (Ed.) *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*, 1. Contribución INIDEP 998, Mar del Plata, 107-118.

Heidinger, A. K., Rao, V. A., Dean, Ch., 2002. Using MODIS to Estimate Cloud Contamination of the AVHRR Data Record. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19, 586-601. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0586:UMTECC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0586:UMTECC>2.0.CO;2)

Hosoda, K., Murakami, H., Sakaida, F, Kawamura, H. 2007. Algorithm and validation of sea surface temperature observation using MODIS sensors aboard Terra and Aqua in the western North Pacific. *Journal of Oceanography*, 63(2), 267-280. <https://doi.org/10.1007/s10872-007-0027-4>

IOCCG, International Ocean-Colour Coordinating Group. 2000. Remote sensing of ocean color in coastal and other optically complex waters, en *Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group*. International Ocean-Colour Coordinating Group, Dartmouth: Sathyendranath, S.

- Lee, M., Chang, Y., Sakaida, F., Kawamura, H. 2005. Validation of satellite-derived sea surface temperatures for waters around Taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(5), 1189-1204.
- Lentini, C. A. D., Campos, E. J. D., Podestá, G. P. 2000. The annual cycle of satellite derived sea surface temperature on the western South Atlantic shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 48(2), 93-105. <https://doi.org/10.1590/S1413-77392000000200001>
- Lentini, C. A. D., Podestá, G. G., Campos, E. J. D., Olson, D. B., 2001. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research*, 21, 89-112. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00077-7)
- Louge, E. B., Reta, R., Santos, B. A., Hernandez, D. R. 2004. Variaciones interanuales (1995-2000) de la temperatura y la salinidad registrada en los meses de enero en el Golfo San Jorge y aguas adyacentes (43° S-47°S). *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*. INIDEP,13, 23-42.
- MartínezAvellaneda, N. 2005. *Ciclo anual y variabilidad de baja frecuencia de la Temperatura Superficial del Mar en el Océano Atlántico Sudoccidental*. Tesis de Licenciatura en Oceanografía, Universidad de Buenos Aires, 139 pp.
- Minnett, P. J. Evans, R. H. Kearns E. J. Brown O. B. 2002. Sea-surface temperature measured by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), 1177-1179. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2002.1025872>
- Narayanan, M., Vasan, D. T., Bharadwaj, A. K., Thanabalan, P., Dhileeban, N. 2013 Comparison and validation of “sea surface temperature (SST) using MODIS and AVHRR sensor data. *International Journal of remote Sensing & Geosciences*, 2(3).
- Olson, D. B., Podestá, G. P., Evans, R. H., Brown, O. B. 1988. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. *Deep-Sea Research*, 35, 1971-1990. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90120-3](https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90120-3)
- Palma E. D., Matano, R. P. Piola, A. R. 2008. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: stratified ocean response to local and offshore forcing. *Journal of geophysical Research*, 113, C11010. <https://doi.org/10.1029/2007JC004720>
- Pisoni, J. 2012. *Los sistemas frontales y la circulación en las inmediaciones de los Golfos Norpatagónicos*, Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 188 pp. Disponible en <http://www.digital.bl.fcen.uba.ar> (acceso el 15 de enero de 2015).
- Piola, A. R., Rivas, A. L. 1997. Corrientes de la Plataforma Continental. El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros. INIDEP, 1, 119-132
- Podestá, G. P., Brown, O. B., Evans, R. H. 1991. The Annual Cycle of Satellite-derived Sea Surface Temperature in the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 4, 457-467. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0457:TACOSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0457:TACOSD>2.0.CO;2)
- Podestá, G. P. 1997. Utilización de datos satelitarios en investigaciones oceanográficas y pesqueras en el océano Atlántico Sudoccidental. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. INIDEP, 1: 195-222.
- Provost, C., García, O., Garçon, V. 1992. Analysis of Satellite Sea Surface Temperature Time Series in the Brazil-Malvinas Current Confluence Region: Dominance of the Annual and Semiannual Periods. *Journal of Geophysical Research*, 97(17), 17841-17858. <http://doi.org/10.1029/92JC01693>
- Rivas A. L. 1997. Current-meter observations in the Argentine Continental Shelf. *Continental Shelf Research*, 30, 391- 406. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00039-8)
- Rivas A. L. 2010. Spatial and temporal variability of satellite-derived sea surface temperature in the Southwestern Atlantic ocean. *Continental Shelf Research*, 30, 752-760. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.01.009>
- Rivas, A. L., Pisoni, J. P. 2010. Identification, characteristics and seasonal evolution of surface thermal fronts in the Argentinean Continental Shelf. *Journal of Marine Systems*, 79, 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.07.008>
- Robles-González, C., López Gordillo, N. Fernández-Renau, A., García-Sevilla, A., Santana-Suárez, J. 2011. Comparación de la temperatura de la superficie del mar calculada a partir de datos AVHRR y MODIS. Asociación Española de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 35, 5-16. Disponible en: http://www.aet.org.es/revistas/revista35/Numero35_01.pdf (último acceso: diciembre de 2017)
- Romero S. I. 2008. *Estimación satelital de clorofila y los frentes oceánicos del Atlántico Sudoccidental*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y naturales. Universidad de Buenos Aires. 202 pp.
- Saraceno, M. 1999. *Climatología y variabilidad de la temperatura superficial del Atlántico Sudoeste*, Tesis de Licenciatura en Cs. Físicas, Universidad de Buenos Aires, 91 pp.

- Wilson, C., Morales, J., Shailesh, N., Asanuma, I., Feldman, G. 2008. Ocean-colour radiometry and fisheries. In: T. Platt, N. Hoepffner, V. Stuart y C. Brown (eds.). *Why ocean colour? The societal benefits of ocean-colour technology*. Rep. IOCCG 7. Dartmouth, pp 47-75.
- Williams, G., Sapoznik, M., Ocampo-Reinaldo, M., Solis, M., Narvarte, M., González, R., Esteves, J. L., Gagliardini, D. A. 2010. Comparison of AVHRR and SeaWiFS imagery with fishing activity and in situ data in San Matías Gulf, Argentina. *Remote Sensing*, 31(17), 4531-4542. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.485218>
- Williams, G., Dogliotti, A. I., Zaidman, P., Solis, M., Narvarte, M., Gonzalez, R., Esteves, J. L., Gagliardini, D. A. 2013. Assessment of remotely-sensed sea-surface temperature and chlorophyll-a concentration in San Matias Gulf (Patagonia, Argentina). *Continental Shelf Research*, 52(1), 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.08.014>