

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio - Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR CON REGISTROS *IN SITU* DENTRO DE LAS 60 MILLAS DEL MAR DEL PERÚ

VALIDATION OF SATELLITE SEA SURFACE TEMPERATURE INFORMATION WITH *IN SITU* RECORDS WITHIN 60 MILES OF THE PERUVIAN SEA

Daniel Quispe¹

Dimitri Gutiérrez

Luis Vásquez

RESUMEN

QUISPE D, GUTIÉRREZ D, VÁSQUEZ L. 2019. Validación de información satelital de temperatura superficial del mar con registros *in situ* dentro de las 60 millas del mar del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 392-405.- Las condiciones térmicas del sistema costero peruano se monitorean a través de registros *in situ* e información satelital de diferentes sensores que incluyen post-procesamiento. Se identificaron con parámetros de error y dispersión las bases de información satelital que tuvieron mayor aproximación a los registros *in situ*, y evaluaron, en términos de error, las estimaciones de TSM en franjas adyacentes a la costa para ver el efecto de ubicación costa-oceano. La información satelital se tomó de las bases AVHRR, MW, MW-IR, NAVOCEANO, MUR y OSTIA y los registros *in situ* de los cruceros de investigación y monitoreo en secciones-puntos fijos efectuados entre los años 2014 y 2016. En las franjas de 10-20 y 20-30 mn frente a la costa, se encontró que frente a los registros de TSM de cruceros, la base OSTIA en promedio tuvo menor error (RMSD = 0,625) y menor dispersión (SD = 1,855), lo que indica mayor exactitud y precisión; mientras que frente a los registros en secciones-puntos fijos, MUR presentó menor error (RMSD = 0,715) y OSTIA menor dispersión (SD = 1,948) indicando, respectivamente, mayor exactitud y precisión que las demás bases satelitales. El gradiente costa-oceano, en la mayoría de bases de información satelital, presentaron estimaciones de TSM con mayor nivel de error en franjas cercanas a la costa (0-10 mn) y menor error en franjas más distantes (30-60 mn), el error disminuyó de costa a oceano tanto de registros en cruceros (promedio MAE de 0,96 a 0,26), como de registros en secciones-puntos fijos (promedio MAE de 1,06 a 0,41). OSTIA y MUR presentaron estimaciones de TSM con mejor aproximación a la TSM *in situ*.

PALABRAS CLAVE: TSM satelital, sistema costero peruano, validación temperatura

ABSTRACT

QUISPE D, GUTIÉRREZ D, VÁSQUEZ L. 2019. Validation of satellite sea surface temperature information with *in situ* records within 60 miles of the Peruvian sea. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 392-405.- *In situ* recordings and satellite information from different sensors including post-processing are used to monitor the thermal conditions of the Peruvian coastal system. The satellite information databases, which had a greater approximation to *in situ* records, were identified with error and dispersion parameters and the SST estimates in strips adjacent to the coast were evaluated in terms of error to see the effect of the coast-to-ocean location. Satellite information was taken from the AVHRR, MW, MW-IR, NAVOCEANO, MUR, and OSTIA databases and *in situ* records were taken from research and monitoring cruises in fixed-point sections conducted between 2014 and 2016. It was found that compared to records in cruises, the OSTIA database presented, on average, less error (RMSD=0.625) and less dispersion (SD=1.855) at distances of 10-20 and 20-30 nm offshore, indicating greater accuracy and precision, while compared to records in sections-fixed points, MUR presented less error (RMSD=0.715) and OSTIA less dispersion (SD=1.948) showing, respectively, greater accuracy and precision than the other satellite databases. In the coast-to-ocean gradient, the SST estimates for most of the satellite information databases showed a higher level of error in stripes near the coast (0-10 nm) and a lower error in more distant stripes (30-60 nm). The error decreased from coast to ocean both as opposed to records on cruises (mean MAE from 0.96 to 0.26), and as opposed to records in fixed-point sections (mean MAE from 1.06 to 0.41). OSTIA and MUR presented SST estimates with a better approximation to the *in situ* SST.

KEYWORDS: satellite SST, Peruvian coastal system, temperature validation

1. INTRODUCCIÓN

Sistema costero peruano

El mar peruano es parte del gran ecosistema de la corriente de Humboldt. La variabilidad de sus parámetros físicos, químicos y biológicos son de gran importancia por estar asociados a procesos de diferentes escalas espacio-temporales, tales como

el afloramiento, la variación estacional, el efecto interanual del ciclo ENOS, entre otros, los cuales llegan a tener efectos trascendentes en actividades socio-económicas, como la pesca o eventos El Niño (CHAVEZ *et al.*, 2008; SALVATECI *et al.*, 2018). El deseo por entender y conocer parte de los procesos en este sistema ha motivado diversos trabajos de caracterización y tipologías (GOUBANOVA *et al.*, 2013;

¹ IMARPE, Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Lo Pinos s/n, Chimbote. pberru@imarpe.gob.pe

CHAMORRO *et al.*, 2018), así como de pronóstico a través de modelos (QUISPE-CCALLUARI *et al.*, 2017; QUISPE-CCALLUARI *et al.*, 2016; MATELLINI *et al.*, 2007), constituyéndose la temperatura superficial del mar en un parámetro base de estudio y análisis, como en otros sistemas similares (PRIYA *et al.*, 2016; FIEDLER, 1983; VALAVANIS *et al.*, 2008).

En actividades de observación y monitoreo de las condiciones térmicas del ambiente marino, la obtención de datos con información óptima es muy importante, por lo que es una prioridad científica buscar la mejor información que puede ser proporcionada por la combinación de equipos de observación vía satélite, de mediciones *in situ* y de modelado numérico (DONLON *et al.*, 2002).

A nivel internacional existen múltiples esfuerzos por brindar la mejor información posible, destacando las observaciones vía satelital de TSM que proceden de sensores y equipos con variada configuración, así como los registros de temperatura *in situ* efectuados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) a través de sus buques de investigación y los procedentes de programas como NCEP, ICOADS, FNMOC (XU & IGNATOV, 2010) sumados a ello el aporte de entidades e investigadores que integran datos de diferentes fuentes y los ponen a disposición de la comunidad en tiempo cuasi real, con el propósito de minimizar el error de estimación, encontrándose la mayoría de estos datos como información satelital de nivel tres y cuatro (L3, L4) (DASH *et al.*, 2012).

En este contexto, al evaluar y describir las características de las condiciones térmicas en el sistema costero peruano, una de las principales motivaciones fue conocer las diferencias de exactitud y precisión en las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital, frente a registros *in situ* de la temperatura en superficie del mar en el ámbito peruano. Por lo tanto, para la zona ubicada dentro de las 60 mn del mar peruano, tomando como referencia los registros de TSM de las operaciones de crucero oceanográfico y monitoreo en secciones y puntos-fijos, se (i) Identificaron las bases de información satelital que poseen estimaciones de TSM con mayor aproximación (exactitud y precisión) y (ii) Evaluó el efecto que genera la ubicación en el gradiente costa-océano a las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital frente a los registros *in situ*.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Datos satelitales

En la web se han encontrado varias bases de información satelital de la temperatura en superficie del mar que fueron identificadas como AVHRR, MW, MWIR, NAVOCEANO, OSTIA y MUR, las cuales se han considerado para el análisis por su relevancia y diaria actualización.

La base AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), disponible en NCDC - NOAA (*National Climate Data Center*, <https://www.ngdc.noaa.gov>), procede de un sensor de banda ancha de cuatro o cinco canales (dependiendo del modelo), detecta el rango visible, infrarrojo cercano y la porción termal infrarroja del espectro electromagnético. Este sensor está en satélites ambientales de órbita polar (POES) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Los datos MW & MW-IR proceden de la RSS (*Remote Sensing System*), que es una agencia especializada en sensoramiento remoto con microondas, cuyo espectro (1,4 a 89 GHz) es rico en información atmosférica (temperatura, humedad, nubes, lluvia, etc.), así como de superficie terrestre (temperatura, vegetación, humedad, etc.). Actualmente, cuenta con productos de calidad obtenidos de radiómetros, sondas y escaterómetros. Los datos son intercalibrados y consistentemente procesados (<http://www.remss.com>).

NAVOCEANO (*Naval Oceanographic Office*) recolecta datos de varios sensores satelitales de órbita polar y geoestacionaria (NOAA-18/19, METOP, GOES, MSG), que luego son asimilados en modelos oceánicos operacionales en tiempo cuasi real, para generar productos regionales. Desde el inicio de sus operaciones (1993), ha pasado por varias mejoras en su procesamiento con la participación de varias organizaciones y proyectos, que permitió la implementación y generación de productos operacionales de mayor resolución, desde AVHRR, GOES hasta múltiples satélites internacionales con su participación en el GODAE (*Global Ocean Data Assimilation Experiment*). Hasta antes de 1998, en operaciones de apoyo y entrega de productos a la flota, la exactitud de TSM tenía un error de diferencia cuadrática media de menos de 0,7 °C respecto a las mediciones de TSM por boyas de deriva global (MAY *et al.*, 1998).

La base OSTIA (*Operational SST and Ice Analysis*) es producida por el *Met Office* (Reino Unido), con apoyo del proyecto MyOcean de la Unión Europea, GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*). OSTIA hace uso extensivo de los productos de satélites infrarrojos y de microondas, junto a observaciones *in situ* del GTS (*Global Telecommunications System*) y productos de concentraciones de hielo marino del EUMETSAT, así como del OSI-SAF (*Ocean and Sea Ice Satellite Applications Facility*). El sistema de análisis se basa en una interpolación óptima multiescala que está diseñado para aplicaciones en predicción numérica del clima y sistemas de pronóstico oceánico. Los productos OSTIA se monitorean continuamente y varias actividades de validación y verificación han demostrado que los resultados de TSM tienen un sesgo medio de cero y una precisión de $\sim 0,57$ K comparado con mediciones *in situ* (DONLON *et al.*, 2012).

La base MUR (*Multi-sensor Ultra-high Resolution*) es un producto de análisis global que genera mapas diarios de nivel cuatro (L4), con alta resolución, en base a datos de multiescala que difieren desde 1 a 100 km, procedentes de sensores satelitales y registros *in situ*. Usa la técnica de interpolación conocida como MRVA (*Multi-Resolution Variational Analysis*), que se basa en una descomposición tipo *wavelet* (CHIN *et al.*, 2017).

Consideraciones para la validación

El entendimiento de las condiciones térmicas a nivel de superficie del mar, requiere tomar en cuenta las definiciones del GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*), relacionado a los diez primeros metros de profundidad, donde operan los diferentes métodos y equipos de registro, que abarcan desde los de medición directa, como termómetros manuales hasta los inferidos por sensores satelitales que operan a diferentes longitudes de onda. La diferencia entre ellos, responde a la variabilidad en la columna de agua y el nivel de profundidad donde fueron registrados, tomando en cuenta que pueden ser desde algunos metros de profundidad hasta capas muy delgadas que están en el orden de milímetros y micrómetros, tales como los captados por sensores de microondas y sensores infrarrojos, respectivamente (DONLON, 2005). Cabe mencionar que los sensores infrarrojos, tienen limitaciones en presencia de nubosidad y aerosoles atmosféricos, dado que estos últimos, podrían causar efectos de enfriamiento (WENTZ *et al.*, 2000). Sin embargo, la radiometría de microondas en frecuencias menores a 12 GHz, penetra la nubosidad excepto en condiciones de lluvia, además, en esas frecuencias los aerosoles

atmosféricos no tienen efecto (WENTZ *et al.*, 2000); así mismo, las frecuencias menores (por ejemplo 7 frente a 11 GHz) tienen errores menores debido al ruido radiométrico y geofísico (GENTEMANN *et al.*, 2010).

El criterio base para evaluar la calidad de los datos satelitales es compararlos con datos referenciales obtenidos independientemente y con buena calidad. Para comparar dos conjuntos de datos independientes se debe considerar la coincidencia en el tiempo y espacio. Esto típicamente produce una diferencia media y un diferencial que se propaga para estimar el sesgo y la incertidumbre. Una simple comparación directa a menudo no es suficiente para la validación, por tanto se necesita considerar enfoques para caracterizar la calidad de algunos aspectos particulares de los datos. El proceso de evaluación de la calidad de datos satelitales, involucra aspectos como validación, verificación, calibración y monitoreo (PITERS *et al.*, 2011).

La validación definida por el CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) es el proceso de evaluación de la calidad del producto de los datos derivados del sistema (PITERS *et al.*, 2011). Uno de los objetivos más importantes de la validación es describir y cuantificar la incertidumbre de los productos de satélites, de tal manera que sea de uso directo en determinadas áreas de investigación.

La incertidumbre es un parámetro de medida que caracteriza la dispersión de un valor cuantitativo que da una idea de la calidad, para nuestro caso de un dato geográfico. Los términos relacionados con incertidumbre de medida son: error, precisión y exactitud, repetitividad, reproducibilidad, entre otros. La definición de dichos términos se encuentra en el vocabulario internacional de metrología - VIM (JCGM, 2012).

Exactitud y precisión

La precisión a menudo es referida a la ausencia de error aleatorio. El error aleatorio es conocido como variabilidad o varianza, su magnitud depende de valores estimados u observados y es completamente independiente del valor real. Por tanto, la precisión es una medida de la varianza estadística de un procedimiento de estimación (West, 1999 citado por WALTHER & MOORE, 2005), en tanto que la exactitud se define como la distancia total entre los valores estimados u observados y el valor verdadero (Bainbridge 1985, Zar 1996, Jones 1997, Krebs 1999 citados por WALTHER & MOORE, 2005).

Los errores debido a condiciones ambientales ocurren porque la precisión disminuye con el incremento de nubes, velocidad de vientos y vapor de agua, o variabilidad geofísica de los sub-píxeles; por otro lado, los errores modelados muestran que la recuperación de TSM a 7 GHz es válido globalmente, mientras que a 11 GHz tendría un aporte significativo de error más allá de los 40°N-S, debido al radiómetro, limitando el empleo de los datos (GENTEMANN *et al.*, 2010).

El uso del error cuadrático medio o *root mean square error* (RMSE) ayuda a proporcionar una imagen completa de la distribución de errores. Asimismo, se menciona que es más apropiado usar el error absoluto medio o *mean absolute error* (MAE) para representar el rendimiento o funcionamiento del modelo, cuando los errores del modelo siguen una distribución normal. Al evaluar diferentes modelos utilizando una sola medida tipo RMSE, se dice que las diferencias en las distribuciones de errores son más importantes (CHAI & DRAXLER, 2014).

Considerando que la exactitud se refiere a valores obtenidos que están próximos al valor verdadero de la magnitud medida, entonces una medición será más exacta cuanto más pequeño sea el error de medición; mientras que, la precisión se refleja en mediciones con valores próximos entre sí, es decir el resultado es más preciso cuanto menor es la dispersión en los valores de medición, (desviación, varianza o coeficiente de variación). Por tanto el resultado de medición puede ser: (i) exacto y preciso [muy próximos entre sí, con un valor medio muy cercano al valor verdadero], (ii) exacto pero no preciso [Valor medio muy cercano al valor verdadero, pero gran dispersión de los resultados en torno al valor medio], (iii) preciso pero no exacto [resultados muy próximos entre sí pero valor medio alejado del valor verdadero] y (iv) ni preciso ni exacto [gran dispersión de los resultados en torno al valor medio y valor medio alejado del valor verdadero] (JCGM, 2012).

Procesamiento

Se usaron estimaciones satelitales de TSM, procedentes de las seis bases de información satelital dentro del periodo de tres años (noviembre 2013 a octubre 2016). Los valores de temperatura de las diferentes bases de información satelital, difieren por: las técnicas de post-procesamiento, tipo de sensor y rango de onda electromagnética, resolución espacial, periodo desde cuando vienen operando, entre otros (Tabla 1). Los productos evaluados proceden del *Advanced Very High Resolution Radiometer* con interpolación óptima V2 (AVHRR OIv2) (NCDC-NOAA; REYNOLDS *et al.*, 2007; REYNOLDS, 2009), productos de Microondas (MW-only)

y Microondas más Infrarrojo (MW-IR) óptimamente interpolados v4 (REMSS), productos K10_SST del *Naval Oceanographic Office* (NAVOCEANO), productos JPL del *Multi-sensor Ultra-high Resolution* (MUR) y, productos UKMO del *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA), disponibles a través del *Physical Oceanography Distributed Active Archive Center* (PODAAC).

La data de NAVOCEANO estuvo afinada para representar la TSM a 1 m de profundidad, en tanto que el procesamiento de AVHRR, estuvo afinado a 0,3 m, estos dos últimos de acuerdo a la descripción del PODAAC.

Los análisis se realizaron en base a dos conjuntos de datos *in situ*: (i) registros de temperatura con termómetro y equipos CTD modelo SBE v19 plus, durante operaciones de monitoreo de las secciones Paita-Chicama y los puntos fijos de Paita, Chicabote, Callao e Ilo, entre el 2013 y el 2016 y, (ii) registros de temperatura con equipos instalados en el casco de buques de investigación del IMARPE, de tipo Termosalinógrafo (TSG) y sensor de Temperatura FURUNO, durante los cruceros pelágicos de marzo-abril, mayo-junio y setiembre-octubre del 2016, que tuvieron una cobertura espacial hasta aproximadamente las 50 mn de la costa peruana (Fig. 1).

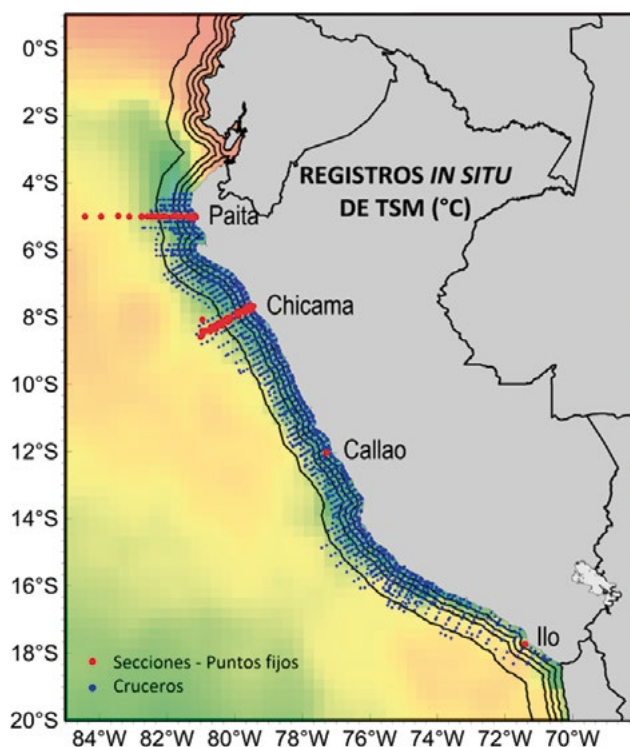


Figura 1.- Carta de distribución de datos de Temperatura Superficial del Mar, registrados en operaciones de monitoreo en secciones-puntos fijos (puntos rojos) y en cruceros de investigación oceanográfica (puntos azules), en franjas dentro de las 60 mn, entre febrero-2014 a octubre-2016, conducidas por IMARPE

El conjunto de datos sometidos a los análisis asociados al gradiente costa-oceano, fue clasificado en franjas ubicadas entre las 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 30 a 60 mn de la costa. Se tomó en cuenta comparaciones de registros *in situ* en secciones-puntos fijos *versus* información satelital, así como registros *in situ* durante cruceros *versus* información satelital.

Los pares de datos coincidentes fueron identificados a través del traslape a resolución temporal diaria, y respecto a la resolución espacial de cada base satelital. En los registros *in situ* se obviaron datos atípicos (Crucero pelágico 1603-04, n= 6) (Tabla 2).

Pruebas estadísticas

Se partió de los supuestos: (i) que los registros *in situ* son valores verdaderos considerados como representativos y cercanos a la condición media, dentro del rango de variabilidad que podría ocurrir encima de los dos o tres metros de la capa superficial del oceano, durante todo un día en particular y, (ii) que los datos de las diferentes bases satelitales son consideradas como estimaciones.

(i) Las estimaciones de TSM que poseen mayor aproximación a los registrados *in situ*, fueron evaluados en base a la diferencia del error

cuadrático medio o *root mean square difference* (RMSD), asociando el valor verdadero y el valor estimado y, representándolos comparativamente en diagramas de Taylor, que muestran patrones estadísticos, en términos de sus correlaciones (r), la diferencia de sus errores cuadráticos medios y desviaciones estándar (SD) (TAYLOR, 2001).

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((vis_i - \overline{vis}) - (vst_i - \overline{vst}))^2}{N}}$$

Donde vis = valor registrado in situ

vst = valor estimado por satélite

N = número de valores analizados en una franja

El valor estimado procede de cada una de las bases de información satelital frente a registros *in situ* durante cruceros y en secciones-puntos fijos, a diferentes distancias de la costa.

(ii) El efecto espacial de ubicación en el gradiente costa-oceano a las estimaciones de la TSM satelital, se evaluó comparando la dispersión del error (dispersión-precisión) asociado al ajuste del modelo de regresión lineal del valor estimado en función del

Tabla 1.- Procedencia y características de información satelital de TSM

Base	Resolución		Inicio Fecha	Base climatológica		Sensores
	Grado	km		Años	Periodo	
AVHRR oiv2	1/4°	27	1981-09-01	30	1982-2011	AVHRR, <i>in situ</i>
MW-only	1/4°	27	1998-01-01	19	1998-2016	TMI, AMSRE, AMSR2, WindSat
MW-IR-oi	1/12°	9.7	2002-06-01	14	2003-2016	TMI, AMSRE, AMSR2, WindSat, Terra MODIS, Aqua MODIS
NAVO	1/10°	11	2008-04-01	8	2009-2016	AVHRR, AMSRE, GOES
MUR	1/90°	1,21	2002-06-01	14	2003-2016	AMSRE, MODIS WINDSAT, <i>in situ</i>
OSTIA	1/20°	5,5	2006-04-01	10	2007-2016	AVHRR, AATSR, SEVIRI, AMSRE, TMI, <i>in situ</i>

Tabla 2.- Registros de temperatura durante operaciones de monitoreo en secciones-puntos fijos y durante cruceros oceanográficos

Operación	Periodo	n	(%)
Secciones Paita-Chicama	Feb 2014 - Dic 2015	310	13,4
Punto Fijo Paita	Nov 2013 - Oct 2016	69	3,0
Punto Fijo Chimbote	Ene 2015 - Oct 2016	27	1,2
Punto Fijo Callao	Feb 2015 - Oct 2016	15	0,6
Punto Fijo Ilo	Feb 2015 - Oct 2016	26	1,1
Crucero Pelágico 1603-04	Mar 2016 - Abr 2016	635	27,4
Crucero Pelágico 1605-06	May 2016 - Jun 2016	560	24,1
Crucero Pelágico 1609-10	Set 2016 - Oct 2016	677	29,2

valor verdadero, en franjas a diferentes distancias de la costa. El error se obtuvo a través del *Root Mean Square Error* (RMSE), que mide la diferencia promedio entre valores pronosticados y observados (FGDC, 1998; WALTHER & MOORE, 2005; CHAI & DRAXLER, 2014; MADHAVAN *et al.*, 2013; RICHTER *et al.*, 2012), así como por el *Mean Absolute Error* (MAE) para definir la magnitud del error típico dado que siempre será positivo (STAUFFER & SEAMAN, 1990).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(vp_i - vo_i)^2}{N}}$$

$$MAE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{|vp_i - vo_i|}{N}}$$

Donde vp_i = valor pronosticado para la celda i

vo_i = valor observado para la celda i

N = número de valores analizados

Esto fue complementado con medidas de la bondad de ajuste del modelo de regresión lineal simple (r), coeficiente de determinación (r^2), coeficiente de correlación y desviación estándar (SD).

Semenciona que el error cuadrático medio, expresado como MSE por WALTHER & MOORE (2005), incorpora conceptos de sesgo y precisión. Considerando que el MSE o RMSE son calculados usando diferencias cuadráticas, entonces tienden a ser dominados por estimaciones que se alejan del valor real. Para evitar este inconveniente de estimaciones alejadas, se tomó el valor absoluto de la diferencia del error como medida de exactitud, por lo que se optó evaluar también el error absoluto medio (MAE).

También, en cada una de las franjas se comparó en términos de desviación estándar, la dispersión del error y los niveles de correlación obtenidos por las diferentes bases de información satelital, para inferir en el nivel de precisión de las diferentes estimaciones de TSM respecto a la ubicación en el gradiente costa-oceano.

3. RESULTADOS

(i) En la disyuntiva de tener que indicar qué bases de información satelital poseen mayor aproximación (exactitud-precisión) a los registros *in situ*, se encontró que:

La evaluación procede de la selección de pares coincidentes en tiempo y espacio. Los registros *in situ* considerados como referentes, ya sean de cruceros o secciones-puntos fijos, presentaron una misma cantidad de pares coincidentes frente a las diferentes bases de información satelital, en sus diversas franjas. El número de pares coincidentes para las franjas de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn en registros de cruceros fue de 571, 321, 280 y 583, respectivamente y en registros de secciones y puntos fijos fue de 245, 92, 11 y 85 pares, respectivamente.

Frente a registros de cruceros, en la franja de 0-10 mn no se consideró la TSM de AVHRR, MW y MWIR, mientras que en las demás franjas (10-20, 20-30 y 30-60 mn) coincidieron en cantidad todas las bases en evaluación, excepto la procedente de MW. Mientras que, frente a registros de secciones-puntos fijos, en la franja de 0-10 mn, se consideraron a MUR y OSTIA, obviándose los demás por presentar un número de pares diferentes entre sí; en la de 10-20 mn se exceptuaron a MW y NAVO y, en las de 20-30 y 30-60 mn, a excepción de MW, se evaluaron todas las bases (Tabla 3).

Los resultados que reflejan dispersión, exactitud y precisión (representados comparativamente utilizando los diagramas de Taylor) se hallan sombreados en la Tabla 4. En registros de TSM *in situ*, durante operaciones de cruceros, las franjas presentaron desviaciones (SD) entre 1,83 y 2,14, correspondientes a las franjas 10-20 mn y 30-60 mn, respectivamente; en tanto que, los registros en secciones y puntos fijos, presentaron desviaciones de 1,99 a 2,28, correspondientes a las franjas 10-20 mn y 20-30 mn, respectivamente. Fue una característica común encontrar en cada una de las franjas valores promedio de TSM registrados *in situ* menores a los estimados vía satélite.

En la evaluación de estimaciones de TSM vía satélite, frente a registros de TSM durante cruceros, resaltó la base MUR por presentar en la franja 0-10 mn la más baja desviación estándar (1,92) y, en la franja 30-60 mn el más bajo error (RMSD = 0,51). También, resaltó la base OSTIA por presentar en las franjas 10-20 y 20-30, valores bajos de error y desviación estándar (RMSD = 0,68; 0,57 y SD = 1,84; 1,87, respectivamente); además, la franja 0-10 mn presentó el más bajo error (RMSD = 0,91), así como una menor desviación estándar (SD = 2,14) en la franja de 30-60 mn. Sin embargo, la base AVHRR se hizo notoria en las franjas 10-20, 20-30 y 30-60 mn, al presentar valores bajos solo de desviación estándar (1,52; 1,58 y 1,71, respectivamente).

En la evaluación de estimaciones de TSM vía satélite, frente a registros de TSM durante secciones-puntos fijos (SPF), en todas las franjas (0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn) los errores más bajos (RMSD = 0,94; 0,73; 0,49 y 0,70) correspondieron a MUR, mientras que los valores más bajos de desviaciones estándar ($SD = 2,11; 1,90; 1,95$ y $1,83$) correspondieron a OSTIA.

Estos resultados muestran que frente a los registros *in situ*, resaltaron las estimaciones de TSM de las bases satelitales de MUR y OSTIA, por sus bajos valores de error y desviación estándar, mientras que las demás bases de información satelital se caracterizaron por presentar valores altos de error y dispersión.

Presentaron mejor correlación con los registros de TSM *in situ*, la base MUR en todas las franjas esencialmente durante secciones-puntos fijos, y en la franja de 30-60 mn durante los cruceros. Mientras que OSTIA, presentó los valores de correlación más altos durante los cruceros en las franjas de 0-10, 10-20 y 20-30 mn.

Los diagramas de Taylor mostraron que, entre 0-10 mn las bases de MUR y OSTIA se hallaron alrededor de un nivel de correlación $r = 0,9$, con niveles de error alrededor de 1, y desviación próximo a 2; mientras que, entre 20-30 mn estas dos bases incrementaron su nivel de correlación hasta valores mayores a 0,95 con errores que disminuyeron a valores menores a 0,75, disminuyendo también la dispersión de valores estimados en términos de desviación estándar, indicando mayor precisión. En la mayoría de condiciones de evaluación, MUR y OSTIA resaltaron por su permanente aparición con parámetros que indicaron mayor precisión y exactitud (Fig. 2).

(ii) En la incertidumbre de tener que afirmar si la ubicación en el gradiente costa-océano sostiene un efecto en el error de las estimaciones satelitales de TSM (precisión), se encontró que:

Los coeficiente de correlación obtenidos entre la TSM satelital y los registros en secciones y puntos fijos, mostraron características que estuvieron asociadas a la ubicación espacial desde la costa hasta la franja de 30 mn, haciendo notar que los valores más bajos se encuentran en la franja más costera pero que elevan su nivel de correlación conforme se alejan de la costa. Sin embargo, fuera de las 30 mn los coeficientes de correlación no mantuvieron su tendencia a elevarse. Por otro

lado, en las correlaciones frente a registros durante cruceros, el efecto asociado a la ubicación espacial en el gradiente costa-océano, mostró valores de r que se elevaron conforme se fueron alejando de la costa, hasta zonas ubicadas entre las 30 y 60 mn, describiendo una tendencia asociada a la ubicación costa-océano. Durante los cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn, los promedios del coeficiente de correlación fueron $r = 0,8572; 0,8952; 0,9015$ y $0,9558$, respectivamente y, sin considerar los resultados de MW (por su baja cantidad de pares coincidentes) los promedios fueron $r = 0,8572; 0,8952; 0,9236$ y $0,9536$, asociados a desviaciones estándar de $SD = 0,0565; 0,0531; 0,0375$ y $0,0268$, haciendo notar que la relación de las estimaciones mejoran conforme se alejan de la costa y, que el nivel de coincidencia entre las diferentes bases de información satelital, también se incrementa conforme se alejan de la costa (Fig. 3 a, d).

La dispersión del error asociado al ajuste del modelo de regresión de las estimaciones satelitales frente a registros *in situ*, inferido a partir de valores de RMSE, sugiere una configuración de errores de mayor magnitud en zonas cercanas a la costa y errores de menor magnitud lejos de ella, tanto frente a registros en secciones-puntos fijos, como frente a los registros en cruceros, indicando que en zonas cercanas a la costa el nivel de exactitud sería menor que en zonas un poco más distantes, mostrando una ligera relación con el gradiente costa-océano.

Los valores de error (RMSE), frente a registros en secciones-puntos fijos, mostraron que estuvieron asociados a la ubicación espacial de las franjas hasta las 30 mn, donde resaltó la base MWIR al mostrar un patrón de variación que difiere de las demás bases satelitales, haciendo notar un error más grande ($RMSE > 1,3$) entre las 00-10 y 10-20 mn; mientras que, la base MUR, en la franja de 20-30 mn, mostró un error bastante pequeño ($RMSE < 0,5$) en comparación a las demás bases satelitales. Estas características podrían estar asociadas a diferencias en el número de pares coincidentes de cada base satelital, siendo tal vez más adecuado una comparación desde la perspectiva de los RMSD, descritos anteriormente. Sin embargo, aun así frente a registros en cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn, los promedios del error fueron $RMSE = 0,9996; 0,8102; 0,6367$ y $0,5897$, respectivamente, haciendo notar que el error disminuye conforme se aleja de la costa (Fig. 3 b, e).

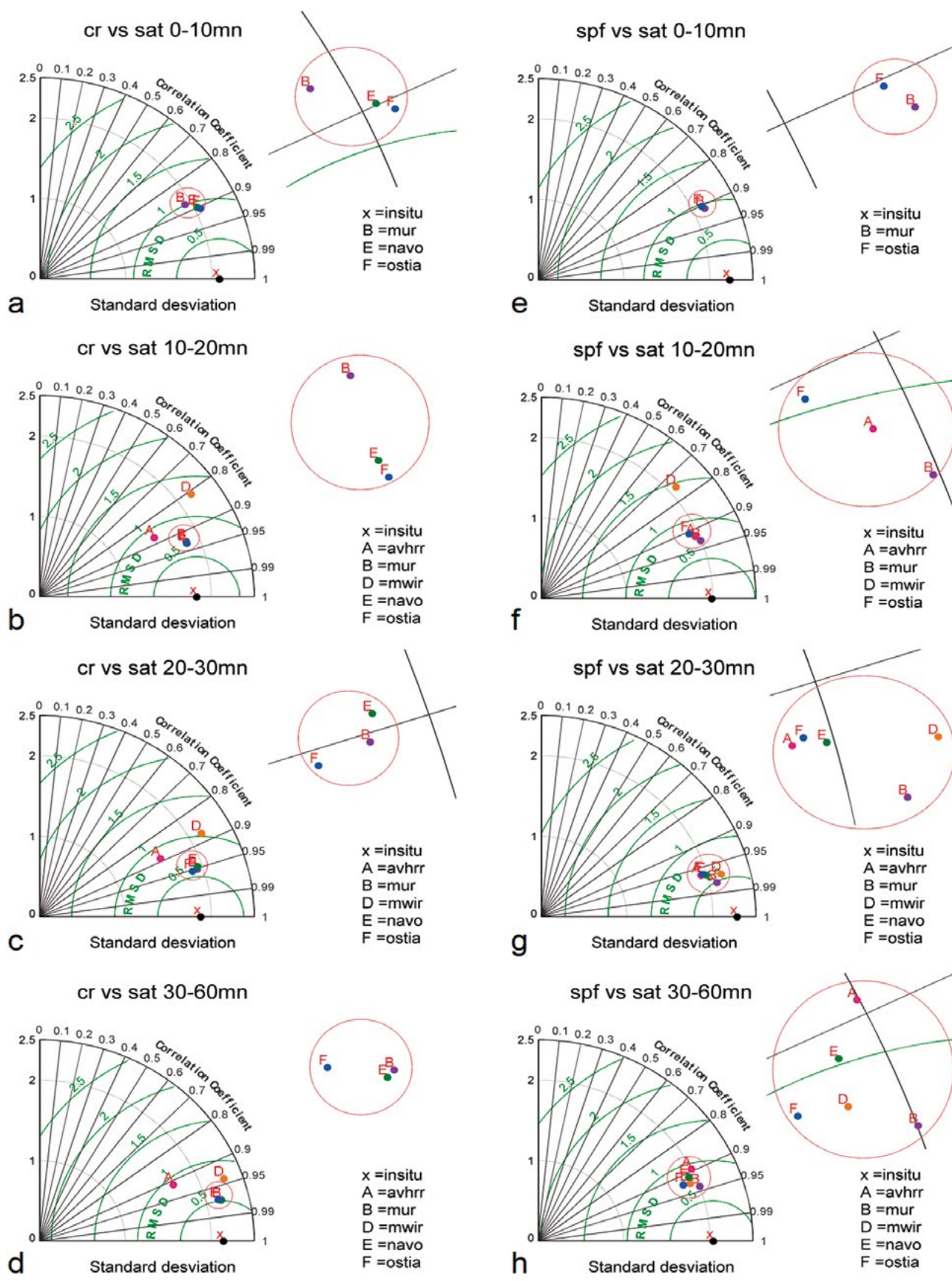


Figura 2.- Comparación a través de diagramas de Taylor, del nivel de correlación (r), la diferencia de errores cuadráticos medios (RMSD) y la desviación estándar (SD), de las estimaciones satelitales de TSM, frente a registros in situ de TSM, durante cruceros (a, b, c, d), y registrados en secciones-puntos fijos (e, f, g, h), en franjas de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn. Los puntos de color representan a la data satelital procedente de AVHRR, MUR, MW, MWIR, NAVO y OSTIA; el punto negro representa a la data *in situ*; en círculos rojos se muestra una ampliación de la zona de puntos menos dispersos en el gráfico. cr (cruceros), sat (satélite), spf (sección-punto fijo).

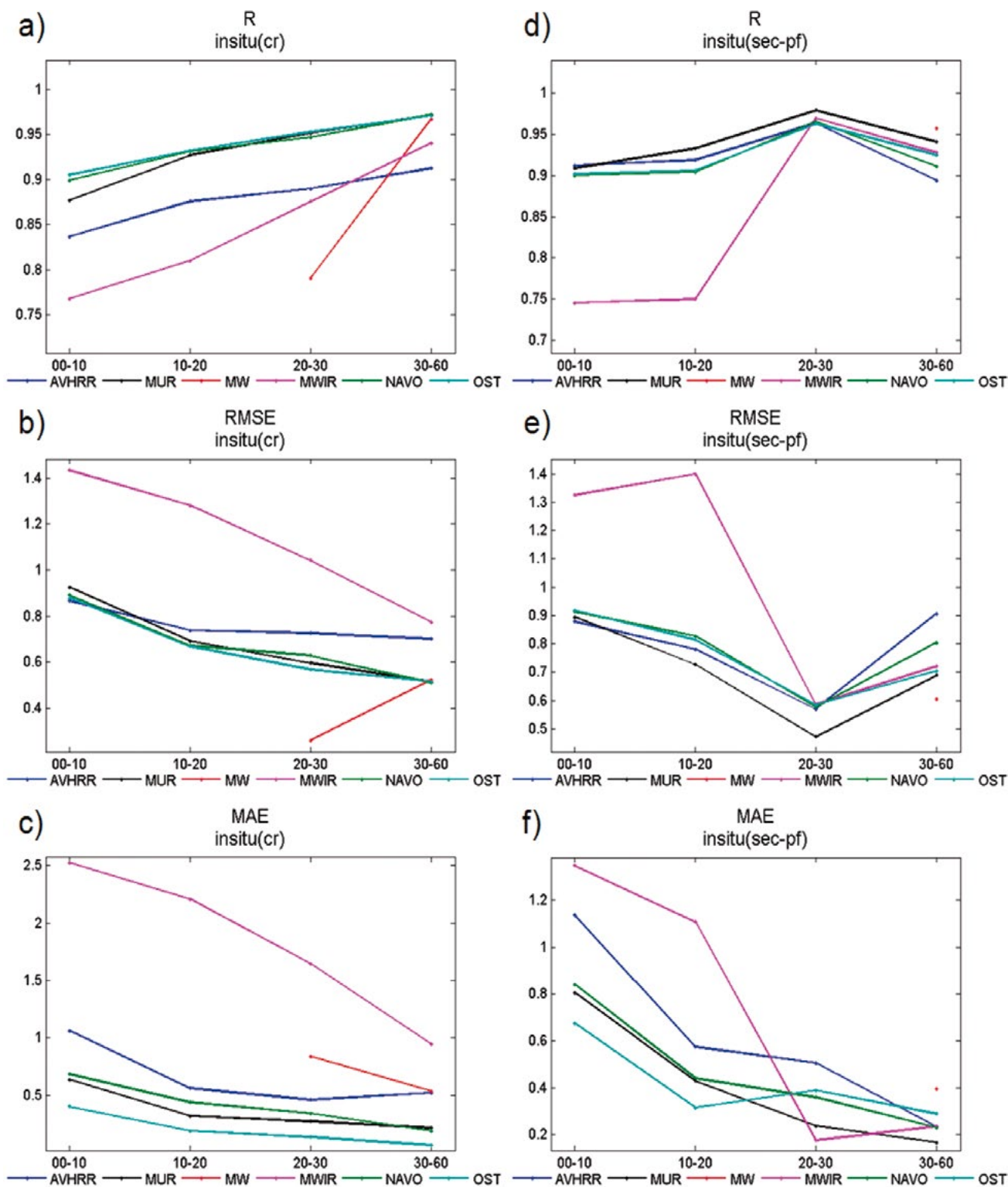


Figura 3.- Coeficientes de correlación (r), error cuadrático medio (RMSE) y error absoluto medio (MAE), procedentes de la relación y regresión lineal de las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital frente a registros *in situ* de TSM, durante cruces oceanográficos (a – c), y durante el monitoreo de secciones-puntos fijos (e – f), asociadas a franjas ubicadas entre 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn de la costa peruana

El efecto de la ubicación espacial en las estimaciones de TSM, se percibió mejor evaluando el error en términos de MAE, encontrándose que el promedio del error presentado por las diferentes bases de información satelital, al igual que su dispersión, tendieron a disminuir conforme se alejaron de la costa. Esta característica fue notoria tanto frente a registros de TSM en secciones-puntos fijos como de cruceros (Fig. 3 c, f). En secciones-puntos fijos, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn los promedios del error medio absoluto fueron MAE = 0,9602, respectivamente. Mientras que frente a registros de cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn los promedios del error medio absoluto fueron MAE = 1,0612; 0,7420; 0,6153 y 0,4105, con desviaciones estándar de $SD = 0,8521$; 0,8306; 0,5587 y 0,3227, respectivamente. Cabe resaltar que los valores de error más bajos en su mayoría correspondieron a OSTIA.

4. DISCUSIÓN

(i) No todas las bases de información satelital poseen el mismo nivel de aproximación a los registrados *in situ*, incluso respecto al tipo de registro, ya sea este durante cruceros o en estaciones fijas.

Las características de exactitud y precisión, evaluadas a partir de mediciones de error y desviación estándar (RMSD y SD), frente a registros de TSM en cruceros, indicaron que OSTIA tuvo mayor consistencia, al mostrar en las franjas de 10-20 mn y en 20-30 mn, un nivel de mayor aproximación, mientras que en la franja de 30-60 mn, fue superado ligeramente por MUR y NAVOCEANO por mostrar menor error. Por otro lado, NAVOCEANO también mostró buena aproximación en la franja de 10-20 mn, indicando exactitud y precisión similar a OSTIA; sin embargo, fue de menor consistencia al no sostener valores de mejor aproximación en las demás franjas. Por su parte MUR, en las franjas de 10-20 y 20-30 mn, también mostró buena aproximación habiendo sido superado ligeramente por menores valores de error de OSTIA.

En cambio, las características de aproximación evaluadas frente a registros en secciones-puntos fijos, hicieron notar que MUR posee en todas las franjas mayor consistencia al mostrar nivel de exactitud mayor que las demás bases satelitales; mientras que, sus valores de desviación estándar, que superaron ligeramente a las demás bases, indicaron menor precisión. Estas diferencias obtenidas frente a registros *in situ*, se podrían atribuir, por un lado

a la resolución espacial de las estimaciones de TSM, donde los datos de mayor resolución suelen presentar mayor error, y por otro, a las estrategias en la fusión de datos y métodos de interpolación, que usaron las diferentes agencias para completar los vacíos de información, tal como se pudo encontrar en comparaciones de los *root-mean-squares* (RMS) realizadas con datos MUR frente a los productos de análisis de TSM, identificados como OI-SST, CMC-SST y OSTIA, procedentes de la *National Center for Environmental Information* - NOAA, del *Canadian Meteorological Center* y del *UK Met Office*, respectivamente, donde se mostró que los datos OI-SST presentaron valores de RMS más altos que MUR y OSTIA indicando mayor error, así como la aplicación favorable del análisis de multiescala con el método de interpolación MRVA (CHIN *et al.*, 2017).

Haciendo una analogía a los cuatro escenarios de precisión y exactitud (JCGM, 2012), se encontró que: (i) OSTIA se caracterizó con mayor exactitud y precisión frente a registros *in situ* durante cruceros en las franjas de 10-20 y 20-30 mn. (ii) MUR se caracterizó por mayor exactitud y menor precisión frente a registros *in situ* durante el monitoreo de secciones-puntos fijos en todas las franjas, (iii) OSTIA se caracterizó por mayor precisión y menor exactitud en todas las franjas frente a registros *in situ* tanto durante cruceros como durante el monitoreo en secciones-puntos fijos (iv), las demás bases de información satelital se caracterizaron por su baja exactitud y precisión, con excepciones de menor persistencia como la de mayor precisión por AVHRR en la franja de 10-20, 20-30 y 30-60 mn y la aparición de NAVOCEANO mostrando mayor exactitud en la franja de 30-60 mn durante cruceros (Fig. 4).

Cabe mencionar que las diferencias de los parámetros que evalúan la exactitud y precisión entre MUR y OSTIA, fueron muy pequeños, los cuales estarían atribuidos a las variaciones de temperatura en los primeros centímetros de la capa superficial del mar, a diferencia de los sensores de menor resolución espacial

Un valor de TSM representativo de los primeros centímetros de la capa superficial del mar y los procesos que ocurren durante un mismo día, incluyendo la actividad biológica y su desplazamiento vertical, estarían mejor relacionados a las estimaciones de TSM por OSTIA.

(ii) El gradiente costa-océano sí tiene efecto en el nivel de aproximación de las estimaciones de TSM satelital). Generaron mayor nivel de error en zonas cercanas a la costa.

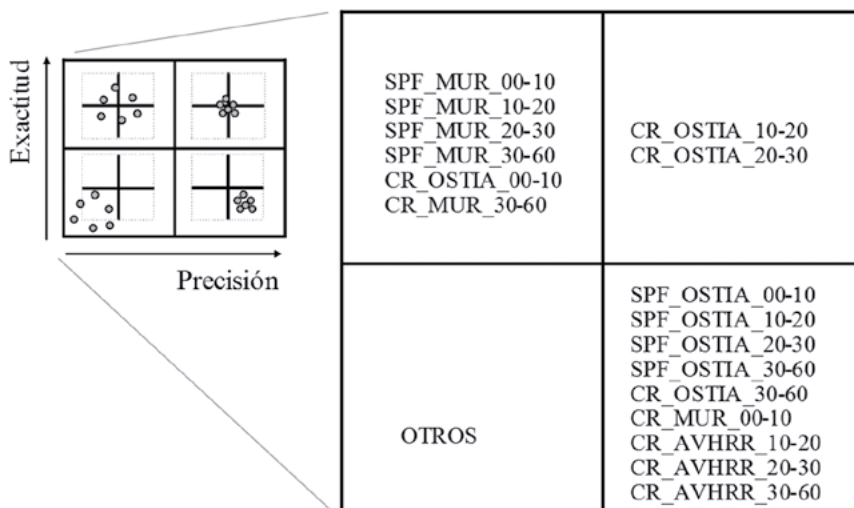


Figura 4.- Analogía de exactitud y precisión, en las estimaciones de TSM de bases satelitales que poseen mayor aproximación a los registros *in situ*, durante cruceros de investigación oceanográfica (CR) y durante monitoreo de secciones-puntos fijos (SPF), dentro de las 60 mn de la costa peruana

Las características obtenidas dentro de las 60 mn de la costa, mostraron en la franja de 0 a 10 mn, los más bajos coeficientes de correlación, en comparación con las franjas de mayor distancia a la costa, lo cual estaría indicando que las zonas costeras poseen mayores factores que influyen negativamente en las estimaciones de TSM, en comparación a zonas más oceánicas, corroborando estudios hechos en otras zonas (GENTEMANN *et al.*, 2010). Por otro lado, se sabe que a nivel de superficie, la dinámica del sistema costero genera una distribución espacial de estructuras térmicas con mayor heterogeneidad que en zonas más oceánicas. Estas características podrían estar influyendo en las diferencias de estimación entre las bases de información satelital.

En particular, los coeficientes de correlación obtenidos frente a registros de TSM en puntos fijos, hicieron notar el efecto de la ubicación en el gradiente costa-océano solo hasta las 30 mn, mientras que frente a los registros de cruceros este efecto se extendió hasta las 60 mn. Estas diferencias en la percepción del efecto espacial en las estimaciones de TSM, estarían afectadas por la profundidad y tipo de equipo empleado en el registro de TSM *in situ*, indicando que en los primeros centímetros de la capa superficial del mar, la variabilidad térmica captada por el CTD, es mayor que en una capa más amplia percibida por los sensores de las embarcaciones (aprox. 2 m).

En cuanto a las diferencias de profundidad, DONLON *et al.* (2002) mostraron que desde la temperatura sub-superficial (*SST depth*), se puede proveer satisfactoriamente temperaturas de superficie

(*SSTskin*), cuando las condiciones de viento son mayores a 6 m.s^{-1} . En el caso del sistema costero peruano, los vientos predominantes dentro de los 40 km se hallan entre 4 y 6 m.s^{-1} (Informes internos del GTI-IMARPE), lo cual estaría habilitando este tipo de comparación.

En términos de error, los RMSE obtenidos frente a registros en secciones y puntos fijos, mostraron que asociados a la ubicación espacial presentan una tendencia a disminuir conforme se alejan de la costa solo hasta la franja de 30 mn. El error cuadrático medio (MSE) incorpora conceptos de sesgo y precisión (WALTHER & MOORE, 2005); así mismo, el MSE como el RMSE, se calcula usando la diferencia cuadrática, por lo que son dominados por estimaciones que se alejan del valor real. Este inconveniente de estimaciones alejadas, se evitó tomando el valor absoluto de la diferencia del error, en términos de error absoluto medio (MAE), dado que siempre será positivo (STAUFFER & SEAMAN, 1990). Entonces el error en términos de MAE frente a registros en secciones-puntos fijos, mostró tendencia a disminuir conforme se aleja de la costa hasta la franja de 30-60 mn en todas las bases de información satelital evaluadas, siendo concordante con las características obtenidas desde los registros en cruceros (Fig. 3 c, f).

En el gradiente costa-océano dentro de las 60 mn, las tendencias a disminuir los errores en la estimación de TSM satelital, conforme se alejan de la costa, asociado a las tendencias de elevarse el nivel de correlación en el mismo gradiente, reflejaron el efecto de la variabilidad de diferentes parámetros del sistema costero.

La variabilidad de condiciones térmicas en zonas cercanas a la costa estaría asociado al proceso de afloramiento y las variaciones de la intensidad de vientos, generando diferentes condiciones de estratificación y mezcla inducido por procesos de turbulencia y la profundización estacional de la capa de mezcla (ECHEVIN *et al.*, 2008). Estas características de variabilidad en zonas costeras también han sido observadas en patrones de variación espacial de clorofila-a, cuya variabilidad en superficie es de proporción significativa en escala anual e interanual, dominada por el estrés de vientos y la propagación de ondas Rossby, así como por la perturbación de El Niño, a través de ondas Rossby y eddies (CORREA-RAMÍREZ *et al.*, 2012).

En el sistema costero peruano la diferencia de TSM entre zonas costeras y de océano abierto dentro de las 60 mn, puede sobrepasar los 5 °C en condiciones de verano (años 2017, 2018). La presencia de aguas frías por efecto del afloramiento en zonas costeras genera condiciones de inversión térmica y favorece a la formación de neblina (KORACIN *et al.*, 2014; HEO & HA, 2010) y nubes bajas o estratos. Estas condiciones de poca visibilidad se vuelven en una limitante para los sensores infrarrojos, como también en sensores con canales de microondas.

5. CONCLUSIONES

OSTIA y MUR presentaron de manera persistente, estimaciones de TSM con mejor aproximación a los registros *in situ*, tanto en registros durante cruceros como en el monitoreo de secciones-puntos fijos. Frente a registros durante cruceros, OSTIA resaltó por mayor exactitud y precisión, en las franjas de 10-20 y 20-30 mn al presentar en promedio RMSD = 0,6250 y promedio de SD = 1,8550. En cambio, frente a registros *in situ* en secciones-puntos fijos, en todas las franjas la base MUR resaltó, por mayor exactitud (media RMSD = 0,7150) y OSTIA por mayor precisión (media SD = 1,9475).

La ubicación en el gradiente costa-océano, afectó a las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital, presentando en franjas cercanas a la costa (0-10 mn) mayor nivel de error asociados a bajos coeficientes de correlación y en franjas más distantes (30-60 mn) menor error, asociados a más altos coeficientes de correlación. El error tendió a disminuir de costa a océano, elevando su nivel de correlación conforme se fue alejando de la costa. El error expresado en términos de MAE desde la franja de 0-10 mn a 30-60 mn disminuyó progresivamente en promedio desde

0,96 a 0,26 frente a registros en secciones-puntos fijos, y de 1,06 a 0,41 frente a registros en cruceros. Así mismo, frente a cruceros, en promedio, el nivel de correlación se incrementó de $r = 0,85$ a $0,95$.

Agradecimientos

Al Instituto del Mar del Perú, y personal científico que participó en la obtención de información *in situ*.

REFERENCIAS

- CHAI T, DRAXLER R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.* 7: 1247 - 1250. doi:10.5194/gmd-7-1247-2014
- CHAMORRO A, ECHEVIN V, COLAS F, OERDER, VERA, TAM J, QUISPE-CCALLUARI C. 2018. Mechanisms of the intensification of the upwelling-favorable winds during El Niño 1997-1998 in the Peruvian upwelling system. *Climate Dynamics.* 17 pp. doi.org/10.1007/s00382-018-4106-6
- CHAVEZ F, 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: 95 - 105. doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.012
- CHIN T M, VÁSQUEZ J, ARMSTRONG E. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment.* 200: 154 - 169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>
- CORREA-RAMÍREZ M A, HORMAZABAL S E, MORALES C E. 2012. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru-Chile current system. *Progress in oceanography.* 92-95: 8 - 17. doi.org/10.1016/j.pocean.2011.07.008
- DASH P, IGNATOV A, MARTIN M, DONLON C, BRASNETT B, REYNOLDS R W, BANZON V, BEGGS H, CAYULA J-F, CHAO Y, GRUMBINE R, MATURI E, HARRIS A, MITTASZ J, SAPPER J, CHIN T M, VAZQUEZ-CUERVO J, ARMSTRONG E M, GENTEMANN CH, CUMMINGS J, PIOLLE J-F, AUTRET E, ROBERTS-JONES J, ISHIZAKI S, HOYER J L, POULTER D. 2012. Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSST) analysis fields inter-comparisons—Part 2: Near real time web-based level 4 SST Quality Monitor (L4-SQUAM). *Deep Sea Research. Part II.* 77-80: 31 - 43. dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.04.002
- DONLON C J, MARTIN M, STARK J, ROBERTS-JONES J, FIEDLER E, WIMMER W. 2012. The operational sea surface temperature and sea ice analysis (OSTIA) system. *Remote Sensing of Environment.* 116: 140 - 158. doi:10.1016/j.rse.2010.10.017
- DONLON C J, MINNETT P J, GENTEMANN C, NIGHTINGALE T J, BARTON I J, WARD B, MURRAY M J. 2002. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research. *American Meteorological Society.* 15: 353 - 369.
- ECHEVIN V, AUMONT O, LEDESMA J, FLORES G. 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the peruvian upwelling system: a modelling study. *Prog. Oceanogr.* 79: 167 - 176. doi:10.1016/j.pocean.2008.10.026

- FIEDLER P C. 1983. Satellite remote sensing of the habitat of spawning anchovy in the southern California bight. *CalCOFI Rep.* 24: 202 - 209
- FGDC (Federal Geographic Data Committee). 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. NSDI [on line] <http://giscenter.isu.edu/pdf/FGDCSpatialDataAccuracy.pdf>
- GENTEMANN CH L, MEISSNER T, WENTZ F. 2010. Accuracy of satellite sea surface temperatures at 7 and 11 Ghz. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing.* 48(3): 1009 - 1018. doi:10.1109/TGRS.2009.2030322
- GOUBANOVA K, ILLIG S, MACHU E, GARCON V, DEWITTE B. 2013. SST subseasonal variability in the central Benguela upwelling system as inferred from satellite observations (1999-2009). *Journal of geophysical research oceans.* 118:4092 - 4110. doi:10.1002/jgrc.20287
- HEO K-Y, HA K-J. 2010. A coupled model study on the formation and dissipation of sea fogs. *Monthly weather review.* 138: 1186 - 1205. doi:10.1175/2009MWR3100.1
- JCGM (Comité Conjunto para las Guías en Metrología). 2012. Vocabulario internacional de metrología conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ra ed. Centro Español de Metrología.
- KORACIN D, DORMAN C E, LEWIS, J M, HUDSON J G, WILCOX E M, TORREGROSA A. 2014. Marine fog: a review. *Atmospheric Research.* 143: 142 - 175, dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.012
- MADHAVAN N, THIRUMALAI VASAN D, 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 & Geoscience.* 2(3): 1 - 7.
- MATELLINI B, TAM J, QUISPE C. 2007. Modelo empírico para previsión de la temperatura superficial del mar peruano. *Revista peruana de biología.* 14: 101 - 108.
- MAY D A, PARMETER M M, OLSZEWSKI D S, MCKENZIE B D. 1998. Operational processing of satellite sea surface temperature retrievals at the Naval Oceanograph Office. *Bulletin of the American Meteorology Society,* 79(3): 397 - 407
- PITERS A J M, BUCHMANN B, BRUNNER D, COHEN R C, LAMBERT J C, LEEUW G, STAMMES P, WEEK M, WITTRICK F. 2011. Data Quality and validation of satellite measurements of tropospheric composition. *Burrows JP, Platt U, Borrell P (Eds). The remote sensing of tropospheric composition from space.* 315 - 364. doi 10.1007/978-3-642-14791-3
- PRIYA R, RANJANI R, THAMIZHARASI M. 2016. Prediction of coastal upwelling using remote sensing. *International journal of advanced research in computer and communication engineering.* 5(1): 43 - 47. doi 10.17148/IJARCCCE.2016.5110
- QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, ARELLANO C, CHAMORRO A, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, ROMERO C, RAMOS J. 2017. Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para la vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana. *Inf Inst Mar Perú.* 44: 28 - 34.
- QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, DEMARCO H, ROMERO C, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, CHAMORRO A, RAMOS J, OLIVEROS-RAMOS R. 2016. El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). *Bol. Trim. Oceanog. IMARPE.* 2(1): 7 - 11
- REYNOLDS RW. 2009. What's new in version 2. [on line] https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/Reynolds2009_oisst_daily_v02r00_version2-features.pdf
- REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, CHELTON D B, CASEY K S, SCHLAX M.G. 2007. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *Journal of Climate.* 20: 5473 - 5496. doi:10.1175/2007JCLI1824.1
- RICHTER K, ATZBERGER C, HANK T B, MAUSER W. 2012. Derivation of biophysical variables from earth observation data: validation and statistical measures. *Journal of Applied Remote Sensing.* 6: 063557-1 - 063557-23. doi: 10.1117/1.JRS.6.063557
- SALVATTECI R, FIELD D, GUTIERREZ D, BAUMGARTNER T, FERREIRA V, ORTLIEB LUC, SIFEDDINE A, GRADOS D, BERTRAND A. 2018. Multifarious anchovy and sardine regimes in the Humboldt Current System during the last 150 years. *Glob Change Biol.* 24: 1055 - 1068. doi.org/10.1111/gcb.13991
- STAUFFER D R, SEAMAN N L. 1990. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: experiments with synoptic-scale data. *Monthly Weather Review.* 118: 1250 - 1277.
- TAYLOR K E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal Geoph. Research.* 106(D7): 7183 - 7192.
- VALAVANIS V D, PIERCE G J, ZUUR A F, PALIALEXIS A, SAVELIEV A, KATARA I, WANG J. 2008. Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS. *Hydrobiologia.* 612: 5 - 20. doi:10.1007/s10750-008-9493-y
- WALTHER B A, MOORE J L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography.* 28: 815 - 829.
- WENTZ F J, GENTEMANN CH, SMITH D, CHELTON D. 2008. Satellite measurements of sea surface temperature through clouds. *Science* 288: 847 - 850.
- XU F, IGNATOV A. 2010. Evaluation of *in situ* sea surface temperatures for use in the calibration and validation of satellite retrievals. *Journal of Geophysical Research.* 115. C09022, doi.org/10.1029/2010JC006129