

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 1



Enero - Junio 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

CARACTERÍSTICAS DE IRRADIANCIA ESPECTRAL DEL MAR Y DE LA ZONA COSTERA DE MOQUEGUA Y TACNA DURANTE SETIEMBRE 2017

CHARACTERISTICS OF THE SPECTRAL IRRADIANCE IN THE SEA AND COASTAL AREAS OF MOQUEGUA AND TACNA IN SEPTEMBER 2017

Carlos Paulino¹Piero Villegas¹Mario Polar¹

RESUMEN

PAULINO C, VILLEGAS P, POLAR M. 2019. *Características de irradiancia espectral del mar y de la zona costera de Moquegua y Tacna durante setiembre 2017*. Bol Inst Mar Perú. 34(1): 80-90.- Se efectuó un análisis de firmas espectrales colectadas en mar, muestras de sedimentos de fondo marino y de rocas expuestas en playa con el espectroradiómetro Apogee PS-100. El propósito fue identificar características espectrales del ambiente marino. La respuesta espectral de las estaciones en mar estuvo en función del contenido de partículas en suspensión como sedimentos, organismos biológicos (microalgas) e intensidad de radiación solar al momento del registro de la información. Mayores valores de irradiancia se detectaron en las estaciones M-03 (0,069), M-04 (0,122) y M-05 (0,197) watts/m², que coincidieron con incremento de concentración de clorofila-a satelital en cada estación. Se identificó la respuesta espectral de la composición de las rocas expuestas y de pequeñas piedras que caracterizan la playa Escoria en Ilo. En rocas negras se detectó alta absorción y baja irradiancia (<0,04 watts/m²) en todo el rango del espectro, rocas de color ocre presentaron mayor irradiancia entre 600 y 800 nm (0,14 watts/m²) indicando contenido mineral. Rocas con organismos algales verdes mostraron mayor irradiancia 485 nm (0,30 watts/m²) y máxima absorbancia en los 550 nm. Las firmas espectrales de muestras de sedimentos de fondo presentan similar respuesta espectral debido a que contienen diferentes porcentajes del mismo contenido de sedimentos y de organismos biológicos.

PALABRAS CLAVE: irradiancia, espectrorradiómetro, TeraScan, Perú

ABSTRACT

PAULINO C, VILLEGAS P, POLAR M. 2019. *Characteristics of the spectral irradiance in the sea and coastal areas of Moquegua and Tacna in September 2017*. Bol Inst Mar Peru. 34(1): 80-90.- An analysis of the spectral signatures collected at sea, samples of marine bottom sediments and exposed rocks on the beach with the Apogee PS-100 spectroradiometer, was carried out. The purpose was to identify the spectral characteristics of the marine environment. It was evidenced that the spectral response of marine stations was related to the content of suspended particles such as sediments, biological organisms (microalgae) and intensity of solar radiation at the moment of recording the information. Higher irradiance values occurred at stations M-03 (0.069), M-04 (0.122) and M-05 (0.197) watts/m², which coincided with an increase in the satellite chlorophyll-a concentration in each station. The spectral response of the composition of the exposed rocks and small stones that characterize the Escoria beach in Ilo was identified. The black rocks showed high absorption and low irradiance (<0.04 watts/m²) over the entire spectrum range, the ocher-colored ones showed higher irradiance between 600 and 800 nm (0.14 watts/m²) indicating mineral content. Rocks containing green algal organisms showed higher irradiance 485 nm (0.30 watts/m²) and a maximum absorbance at 550 nm. The spectral signatures of the bottom sediment samples have a similar spectral response because they contain different percentages of the same content of sediments and biological organisms.

KEYWORDS: irradiance, spectroradiometer, TeraScan, Peru

1. INTRODUCCIÓN

El uso de imágenes satelitales junto con información recopilada en campo a través de equipos espectrorradiómetros, permite realizar investigaciones sobre propiedades ópticas de los objetos a través de la medición de su irradiancia y reflectancia. La importancia de estos equipos es que permite generar librerías espectrales *in situ* para una posterior validación de eventos biológicos como concentración de clorofila-a y mareas rojas que son registrados

1. INTRODUCTION

The use of satellite images combined with on-site information collected via spectrum radiometer equipment allows research on the optical properties of objects by measuring their irradiance and reflectance. This equipment is important since it allows to generate *in situ* spectral archives for later validation of biological events such as chlorophyll-a concentration and red tides that are registered in the satellite images with the information collected on site.

1 IMARPE, DGIHSA, Área Funcional de Sensoramiento Remoto, Av. Argentina 2245-Callao, Perú, mail: cpaulino@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, DGIA, Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras, Esquina Gamarra y General Valle S/N, Chucuito, Callao

en las imágenes satelitales con la información colectada en campo.

Los cuerpos reflejan o emiten flujos energéticos bajo forma de radiación. La variación relativa de la energía reflejada o emitida en función de la longitud de onda constituye lo que se denomina su firma espectral (SOBRINO et al. 2000). De acuerdo a MEER & JONG (2002) el espectro de reflectancia de la vegetación verde muestra picos de absorción de alrededor de 420 nm (violeta), 490 nm (azul) y 660 nm (rojo) los cuales son causados por una fuerte absorción de la clorofila.

La espectroradiometría es cada vez más utilizada en aplicaciones en el mar, como en el estudio de mareas rojas, permitiendo desarrollar métodos como el Índice de marea roja (RI) propuesto por AHN & SHANMUGAM (2006), en el que se utilizó información bio-óptica *in situ*, imágenes satelitales SeaWiFS y datos colectados con el espectroradiómetro ASD FieldSpec Pro Dual VNIR.

La *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) desarrolló investigaciones sobre las propiedades ópticas inherentes al océano a través de imágenes satelitales a partir de las cuales se implementó el Modelo Global Generalizado de Propiedades Ópticas Inherentes (GIOP siglas en inglés) cuyo algoritmo determina coeficientes de absorción marina y de retro dispersión espectral para los constituyentes de la columna de agua (Material Orgánico Disuelto Coloreado - CDOM) y partículas de algas, con el propósito de estimar la ocurrencia de floraciones algales.

Esta investigación tuvo el objetivo de describir y analizar las características de irradiancia y la firma espectral del agua superficial del mar como base de investigaciones en características ópticas del mar peruano. Así como, relacionar los resultados con información de concentración de clorofila-a del satélite Aqua-Modis y NPP-VIIRS e imágenes del satélite Sentinel-2.

El registro de las firmas espectrales del agua de mar y del litoral costero se obtuvo durante la ejecución del proyecto "Determinación del estado, presión y respuesta ambiental en la zona marino costera de Ilo", el cual estuvo a cargo del Área Funcional de Investigaciones Marino Costera (AFIMC) del Instituto del Mar del Perú y que abarcó la zona marino costera de los departamentos de Moquegua y Tacna, del 12 al 15 setiembre 2017.

Bodies reflect or emit energy flows in the form of radiation. The relative variation of reflected or emitted energy as a wavelength constitutes what is called their spectral signature (SOBRINO et al. 2000). According to MEER & JONG (2002), the reflectance spectrum of green vegetation shows absorption peaks of around 420 nm (violet), 490 nm (blue) and 660 nm (red) which are caused by a strong absorption of chlorophyll.

Spectroradiometry is increasingly used in marine applications such as the study of red tides, allowing the development of methods such as the Red Tide Index (RI) proposed by AHN & SHANMUGAM (2006), which used *in situ* bio-optical information, SeaWiFS satellite images and data collected with the ASD FieldSpec Pro Dual VNIR spectroradiometer.

In order to estimate the occurrence of algal blooms, the National Aeronautics and Space Administration (NASA) developed research on the optical properties inherent to the ocean through satellite images, implementing the Global Generalized Model of Inherent Optical Properties (GIOP). The algorithm determines coefficients of marine absorption and retro-spectral dispersion for the constituents of the water column (Organic Dissolved Organic Material - CDOM) and algae particles.

As a research base in optical characteristics of the Peruvian sea, this investigation had the objective of describing and analyzing the irradiance characteristics and the spectral signature of the surface water of the sea, relating the results with chlorophyll-a concentration information of the Aqua-Modis satellite and NPP-VIIRS and images from the Sentinel-2 satellite.

The registration of spectral signatures of seawater and coastline was obtained during the execution of the project "Determination of the status, pressure and environmental response in the coastal marine area of Ilo", in charge of the Marine Coastal Research Functional Area (AFIMC in Spanish) of the Instituto del Mar del Perú (Alternative: Peruvian Marine Research Institute) covering the coastal marine zone of the Moquegua and Tacna regions, from 12 to 15 September 2017.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El registro de firmas espectrales se realizó en cinco estaciones de muestreo en mar (Tabla 1) en el área comprendida desde Puerto Grau hasta Punta Picata en la zona costera de Tacna (Fig. 1), a bordo de la embarcación artesanal “Huascar”. Mientras que los registros en el litoral se hicieron en la playa Escoria y en la desembocadura de la playa Boca de Río en Ilo. Se registró en laboratorio la firma espectral de muestras de sedimentos de fondo marino.

Para el registro de firmas espectrales se utilizó el espectro-radiómetro Apogee modelo PS-100 que mide la radiancia, reflectancia o transmitancia y la absorbancia de cualquier objeto en un rango de longitud de onda de 350 a 1000 nm. El PS-100 es un equipo que se utiliza principalmente en agricultura, en este caso, se hicieron mediciones en el mar para iniciar investigaciones en espectro-radiometría del océano.

2. MATERIAL AND METHODS

Spectral signatures were recorded at five sampling stations at sea (Table 1) aboard the artisanal vessel “Huascar”, in the area from Puerto Grau to Punta Picata in the coastal zone of Tacna (Fig. 1). The coastal records were made at Escoria beach and the mouth of Boca de Río beach in Ilo. The spectral signature of seabed sediment samples was registered in the laboratory.

The Apogee PS-100 spectroradiometer was used to record spectral signatures. It measures the radiance, reflectance or transmittance, and the absorbance of any object in a wavelength range of 350 to 1000 nm. The PS-100 is an equipment that is mainly used in agriculture; in this case, measurements were made at sea to initiate surveys in ocean spectroradiometry.

Tabla 1.- Estaciones de muestreo en mar y línea de playa

Table 1. Sampling stations at sea and beachline

Estación	Componente	Latitud (S)	Longitud (W)
M-01	Mar	17°58'43,2"	70°53'57,08"
M-02	Mar	17°57'33,1"	70°56'41,66"
M-03	Mar	17°54'37,4"	71°00'43,17"
M-04	Mar	17°54'32,0"	71°03'31,87"
M-05	Mar	17°52'23,8"	71°06'15,05"
P-01	Playa Escoria	17°28'51,2"	71°21'59,2"
P-02	Playa Boca de Río	17°37'19,2"	71°20'32,6"

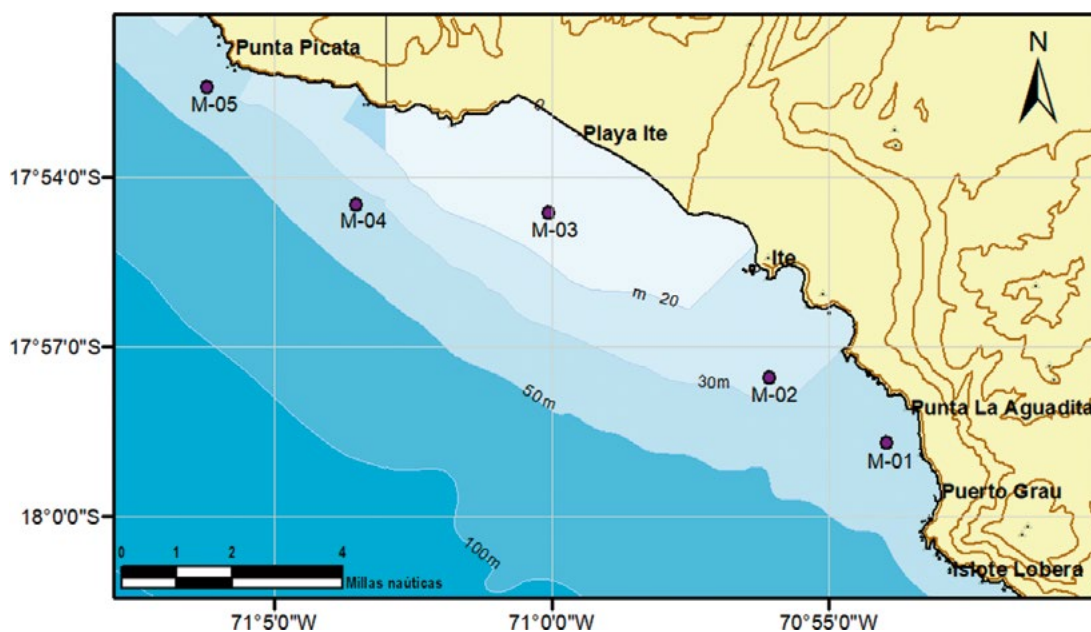


Figura 1.- Mapa del área de estudio y de las estaciones de muestro en mar

Figure 1. Map of the survey area and sampling stations at sea

Se usaron imágenes de concentración de clorofila-a del satélite Aqua-Modis de 1 km de resolución espacial proveniente de la estación receptora TeraScan del IMARPE; imágenes de 4 km del proyecto *Ocean Biology Processing Group* (OBPG) de la NASA (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) e imágenes de falso color (RGB) del satélite Sentinel-2 del programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea - ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) para contrastar el valor digital de la imagen y la firma espectral obtenida en campo de acuerdo a la Tabla 1, para identificar espacialmente las características de los objetos medidos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MAR

El registro espectral del agua de mar, efectuado en cinco estaciones de muestreo en la zona marino costera de Tacna (M-01, M-02, M-03, M-04 y M-05), presentó diferentes valores de irradiancia en watts/m^2 , pero con un comportamiento espectral similar debido a que el agua de mar mostró casi la misma composición en cada estación de muestreo (Fig. 2).

La respuesta espectral del agua de mar a nivel superficial estuvo en función del contenido de partículas en suspensión como sedimentos,

We used chlorophyll-a concentration images from the Aqua-Modis satellite at a 1 km spatial resolution from IMARPE's TeraScan receiving station, 4 km images from NASA's Ocean Biology Processing Group (OBPG) project (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) and false color images (RGB) from the Sentinel-2 satellite of the European Space Agency - ESA Copernicus program (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) to contrast the digital value of the image and the spectral signature obtained in situ according to Table 1, and spatially identify the characteristics of the measured objects.

3. RESULTS AND DISCUSSION

SEA

The spectral recording of seawater, carried out at five sampling stations in the coastal marine area of Tacna (M-01, M-02, M-03, M-04, and M-05), showed different irradiance values in watts/m^2 , but with similar spectral behavior because seawater showed almost the same composition at each sampling station (Fig. 2).

The spectral response of seawater at the surface level depended on the content of suspended particles such as sediments,

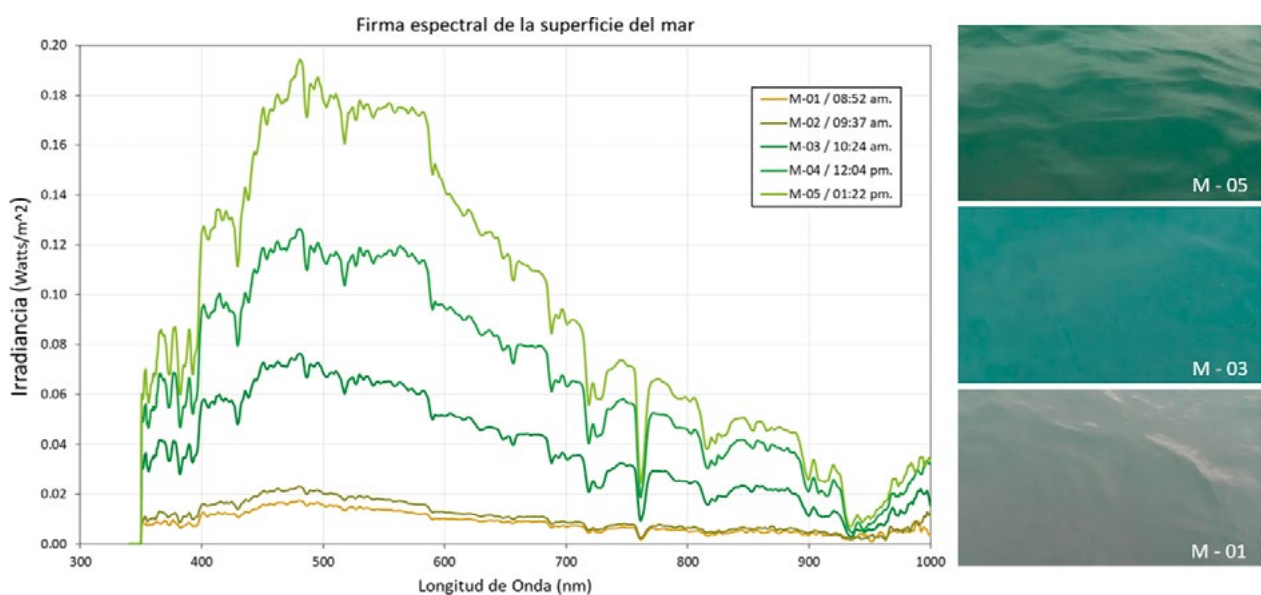


Figura 2.- Firmas espectrales de estaciones de muestro en mar

Figure 2. Spectral signatures of sampling stations at sea

organismos biológicos (fitoplancton), profundidad e intensidad de radiación solar al momento del registro. La descarga de agua del río Locumba en el mar incrementó el contenido de sólidos suspendidos en mayor proporción hacia el norte, marcando una diferencia entre las estaciones M-02 y M-03, tal como se observan en las imágenes RGB del Sentinel-2.

Las firmas espectrales de las estaciones M-01 y M-02 indican baja irradiancia debido al poco contenido de sedimentos y pigmentos, pero principalmente a que ambos muestreos se efectuaron entre las 8:30 y 9:40 horas, como se observa en la foto del lado inferior derecho (M-01) de la figura 2. Las estaciones M-03, M-04 y M-05 muestran mayor irradiancia entre los 450 y 600 nm (campo azul y verde del espectro visible) rango asociado a la firma espectral de pigmentos de clorofila-a.

El valor de irradiancia en todos los registros depende de la hora del día y la potencia incidente de energía recibida por unidad de superficie a lo largo del espectro electromagnético. La Tabla 2 muestra el valor en watts/m² y porcentaje de irradiancia espectral por cada 100 nm, desde 400 hasta 1100 nm. Las estaciones M-01 y M-02 presentaron los valores más bajos de irradiancia debido a que se colectaron a tempranas horas del día (entre 8:00 y 9:00 horas) y con menor radiación solar, mientras que las estaciones M-04 y M-05 presentaron valores más altos ante la mayor radiación solar detectada a las 12:00 y 13:00 horas.

biological organisms (phytoplankton), depth and intensity of solar radiation at the recording time. The water discharge from the Locumba river increased the content of suspended solids in greater proportion towards the north, marking the difference between stations M-02 and M-03, as seen in the Sentinel-2 RGB images.

The spectral signatures of stations M-01 and M-02 indicate a low irradiance due to the poor content of sediments and pigments, but mainly to the fact that both samplings were carried out between 8:30 and 9:40 am, as we can see in the photo on the lower right side (M-01) of figure 2. Stations M-03, M-04 and M-05 show a higher irradiance between 450 and 600 nm (blue and green field of the visible spectrum) range that is associated with the spectral signature of chlorophyll-a pigments.

The irradiance value in all registers depends on the time-of-day and the incident power of energy received per surface unit throughout the electromagnetic spectrum. Table 2 shows the value in watts/m² and the percentage of spectral irradiance per 100 nm, from 400 to 1100 nm. Stations M-01 and M-02 presented the lowest values of irradiance because they were collected early in the day (between 8:00 and 9:00 am) and with less solar radiation, while stations M-04 and M-05 presented higher values due to the higher solar radiation detected at 12:00 and 13:00 pm.

Tabla 2.- Valor y porcentaje de irradiancia solar de la superficie del mar a diferentes rangos del espectro electromagnético

Table 2. Value and percentage of solar irradiance from the sea surface at different ranges of the electromagnetic spectrum

	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm	900-1100 nm	Irradiancia total Total irradiance (watts/m ²)
M-01	1,443 18,8% A	1,336 17,5% A	0,896 11,7% B	0,581 7,6% C	0,472 6,2% C	2,927 38,2% D	7,655
M-02	1,919 20,7% A	1,732 18,7% A	1,092 11,8% B	0,696 7,5% C	0,587 6,3% C	3,251 35,0% D	9,277
M-03	6,548 24,0% B	6,291 23,0% A	4,454 16,3% A	2,767 10,1% B	2,076 7,6% B	5,169 18,9% A	27,3
M-04	10,82 24,2% B	11,24 25,1% B	8,117 18,1% A	5,082 11,4% A	3,756 8,4% B	5,716 12,8% A	44,74
M-05	15,81 25,4% B	17,08 27,4% B	11,68 18,8% A	6,595 10,6% B	4,597 7,4% C	6,535 10,5% B	62,31

Tabla 3.- Concentración de clorofila-a en estaciones de muestreo (mg/m³)

Table 3. Chlorophyll-a concentration at sampling stations (mg/m³)

	Estaciones/Stations				
Satélite/Sensor	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05
Satellite/Sensor					
Aqua Modis - 1km	11,7537	5,5398	63,6321	13,3122	21,169
Aqua Modis - 4km	No data	No data	16,9613	8,3865	No data
NPP VIIRS - 4Km	No data	No data	8,4446	6,9198	No data

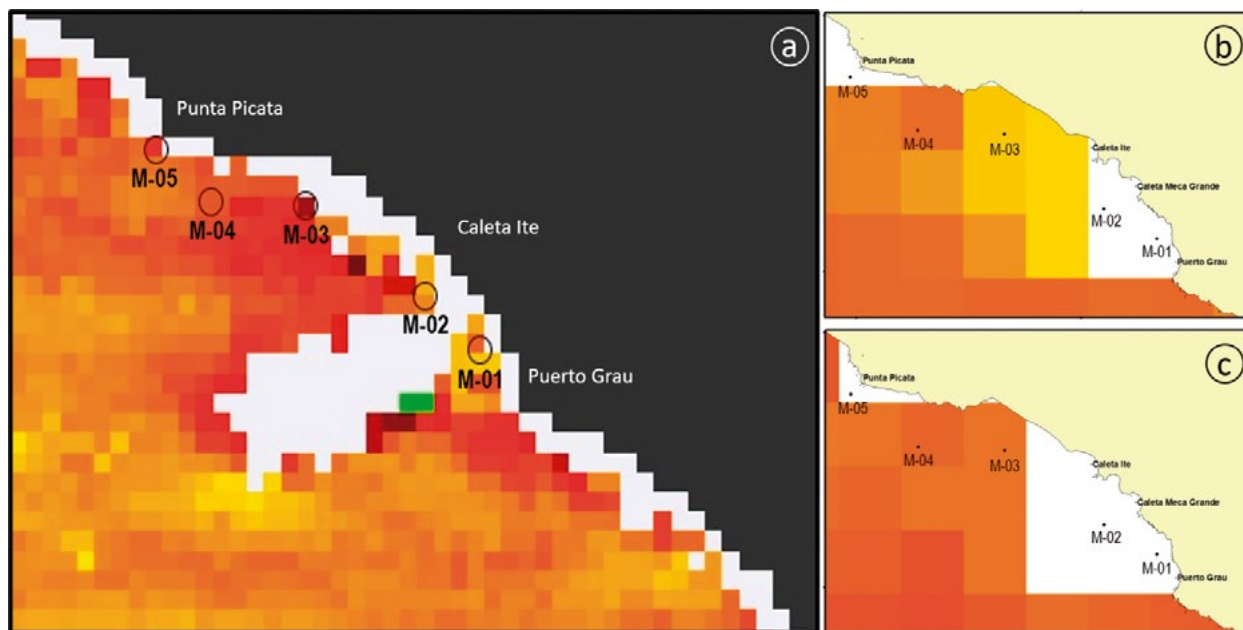


Figura 3.- Imágenes de concentración de clorofila-a del 10 setiembre 2017, a) satélite Aqua-Modis 1km, b) Aqua-Modis de 4 km y c) NPP-VIIRS de 4 km resolución espacial

Figure 3. Chlorophyll-a concentration images from 10 September 2017, a) Aqua-Modis 1km satellite, b) Aqua-Modis 4km, and c) NPP-VIIRS 4km spatial resolution

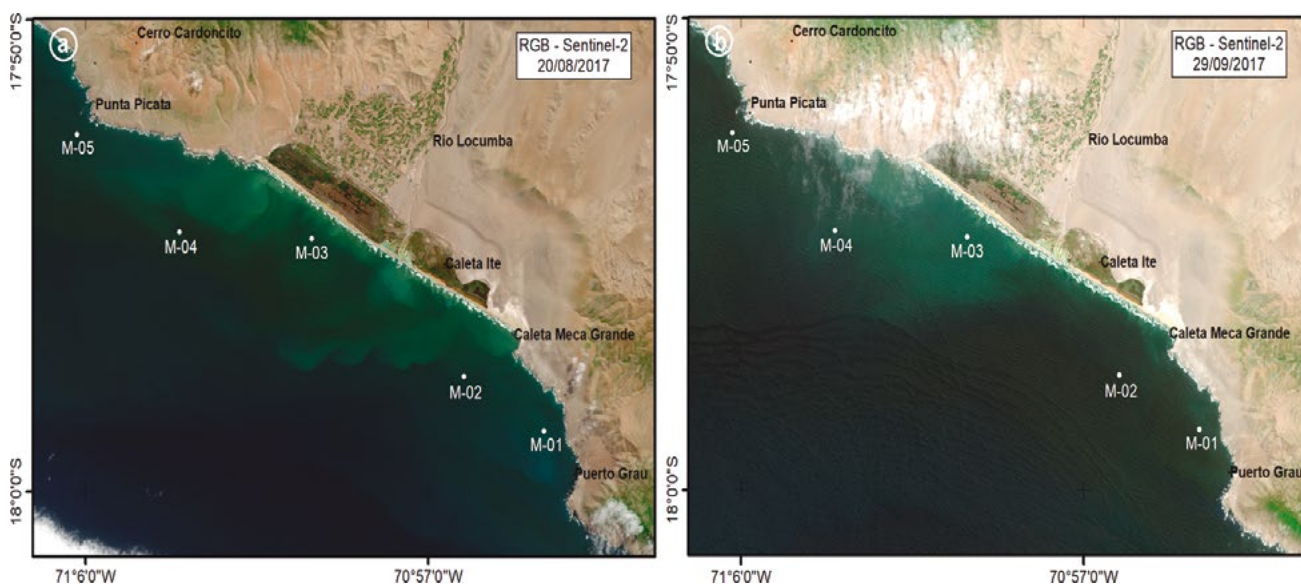


Figura 4.- Imágenes RGB de Sentinel-2 con estaciones de muestreo en mar. a) 20 agosto 2017, b) 29 setiembre 2017

Figure 4. RGB images from Sentinel-2 showing sampling stations at sea. a) 20 August 2017, b) 29 September 2017

La figura 3 muestra la concentración de clorofila-a (mg/m^3) del 10 de setiembre del 2017 a diferentes resoluciones espaciales. Con el satélite Aqua-Modis a 1 km (3a) se observa mayor clorofila-a en las estaciones M-03, M-04 y M-05 confirmando la respuesta espectral obtenida en cada estación en mar, tal como se observa en la figura 2 y en la Tabla 3. Si bien, la información satelital no corresponde al mismo día del registro de las firmas espectrales, debido a la cubierta nubosa que no permitió obtener información durante los días de la prospección, esta información permite contrastar la distribución espacial de la clorofila-a en dicha zona de estudio.

Las figuras 4a y 4b muestran distintas coloraciones del agua de mar captadas por el satélite Sentinel-2 durante días previos y posteriores a la prospección en el mar; en ambas imágenes la diferencia en el color del mar estaría asociada a la concentración de clorofila-a, que según la Tabla 3, son mayores en las estaciones M-03, M-04 y M-05 y también a los sedimentos en suspensión producto de la descarga del río Locumba y asociados a procesos físicos oceánicos. Estos resultados evidencian correspondencia entre las firmas espectrales de las estaciones muestreadas y las imágenes satelitales.

LITORAL COSTERO Y PLAYA

El borde costero de la zona norte de Ilo presenta, en su mayor parte, playas de cantos rodados, arenas y formaciones rocosas accidentadas en permanente estado de erosión causada por el oleaje marino.

Desde una imagen satelital las áreas rocosas muestran coloración oscura por que las playas son de arena negra; durante el recorrido se observó la presencia de rocas de coloración ocre y en pocos casos de rocas con alto recubrimiento de pequeñas algas verdes (Fig. 5).

A nivel de playa, se registraron las firmas espectrales de rocas de diferente color alrededor de la playa Escoria (Tabla 4). El registro de roca negra mostró alta absorción y baja irradiancia $<0,04 \text{ watts}/\text{m}^2$ en todo el rango del espectro analizado. La roca de coloración ocre presentó mayor irradiancia entre los 600 a 800 nm con valor máximo de $0,14 \text{ watts}/\text{m}^2$ en el rango del rojo al infrarrojo cercano. La roca con pigmentos

Figure 3 shows the chlorophyll-a concentration (mg/m^3) on September 10, 2017 at different spatial resolutions. With the Aqua-Modis satellite at 1 km (3a), greater chlorophyll-a is observed at stations M-03, M-04, and M-05, which confirms the spectral response obtained at each station at sea, as shown in Figure 2 and Table 3. Although the satellite information does not correspond to the same day as the recording of spectral signatures, due to the cloudy cover that did not allow us to obtain information on the days of prospecting, this information allows us to contrast the spatial distribution of chlorophyll-a in this study area.

Figures 4a and 4b show different colorations of seawater recorded by the Sentinel-2 satellite during the days before and after prospecting at sea. In both images, the difference in sea color would be associated with the concentration of chlorophyll-a, which according to Table 3 are greater in stations M-03, M-04 and M-05, and also with suspended sediments resulting from the discharge produced by the Locumba river and associated with oceanic physical processes. These results show the correspondence between the spectral signatures of the sampled stations and the satellite images.

COASTLINE AND BEACH

Most of the coastline in the northern part of Ilo has pebble beaches, sands and rugged rock formations in a permanent state of erosion caused by marine waves.

On a satellite image, the rocky areas show dark coloration since the beaches consist of black sand. During the walk, the presence of ochre-colored rocks was observed as well as, in a few cases, rocks with a high covering of small green algae (Fig. 5).

At beach level, spectral signatures from rocks of different color were recorded around Escoria beach (Table 4). The black rock record showed high absorption and a low irradiance $<0.04 \text{ watts}/\text{m}^2$ over the whole range of the analyzed spectrum. The ochre-colored rock showed higher irradiance between 600 and 800 nm with a maximum value of $0.14 \text{ watts}/\text{m}^2$ in the red to near-infrared range. The rock with green algae pigments exhibited the highest irradiance ($0.30 \text{ watts}/\text{m}^2$) between

algales verdes exhibió la mayor irradiancia (0,30 watts/m²) entre los 485 nm y máxima absorbancia entre los 500 a 600 nm (Fig. 6a).

De la misma manera, se obtuvo la firma espectral a nivel de playa en la desembocadura del río Ilo, cuyo valor máximo de irradiancia fue 0,17 watts/m² entre 450 a 700 nm, mostrando permanente absorbancia en todo el espectro (Fig. 6b) debido a las características de irradiancia del agua que al momento del registro presentó poca cantidad de agua y sin partículas de sedimento suspendidos. La firma espectral “rompiente de ola” obtenida en la playa Boca de Río corresponde al momento de rompimiento de la ola en la playa, cuyo valor de irradiancia máxima es de 0,67 watts/m² entre 400 a 480 nm, en tanto que la respuesta espectral entre los 700 a 900 nm es producto de la turbidez del agua por el transporte de partículas de sedimentos suspendidos en el agua.

485 nm and a maximum absorbance between 500 and 600 nm (Fig. 6a).

Similarly, a spectral signature was obtained at beach level at the mouth of the Ilo River, whose maximum irradiance value was 0.17 watts /m², between 450 and 700 nm, showing a permanent absorbance throughout the spectrum (Fig. 6b) due to the irradiance characteristics of the water which, at the recording time, showed little water and no suspended sediment particles. The spectral signature “breaking wave” which was obtained at the Boca de Río beach corresponds to the moment of breaking of the wave in the beach, whose value of maximum irradiance is 0.67 watts/m² between 400 and 480 nm, while the spectral response between 700 and 900 nm is a result of the turbidity of the water due to the transport of suspended sediment particles in the water.

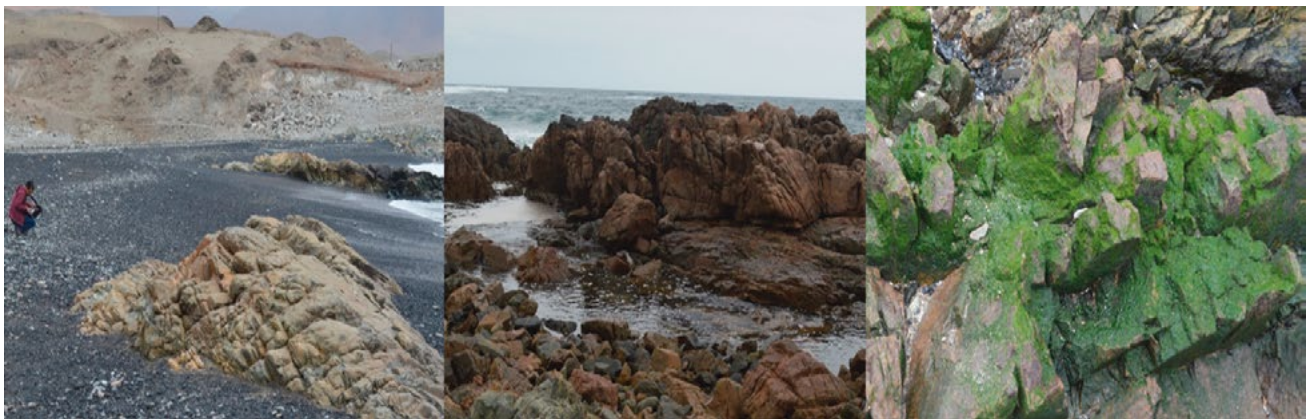


Figura 5.- Áreas rocosas con diferentes coloraciones: oscura por playas de arena negra; coloración ocre y rocas con recubrimiento de algas verdes, playa Escoria, Ilo

Figure 5. Rocky areas with different colorations: dark by black sand beaches; ochre coloration and rocks covered with green algae, Escoria beach, Ilo

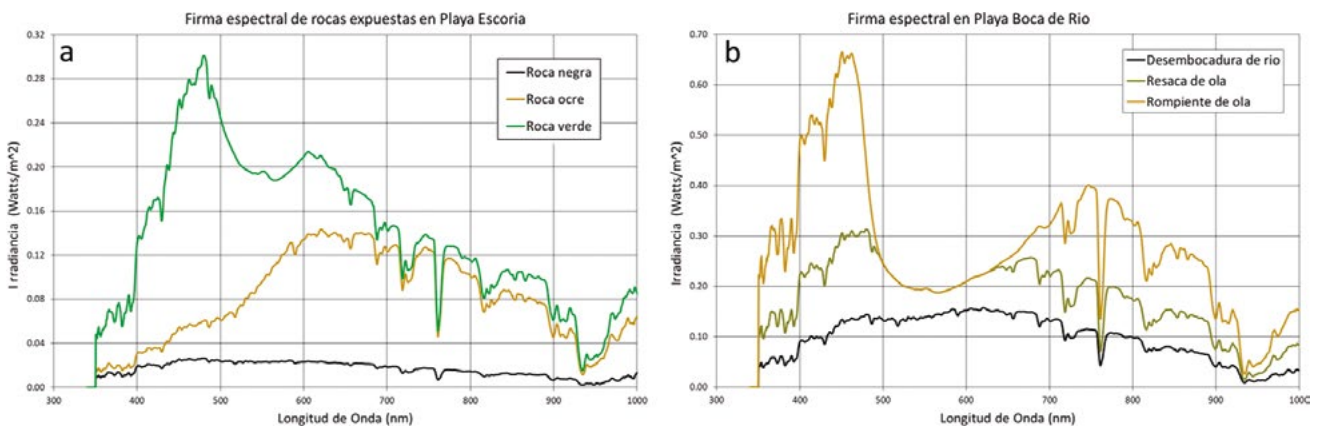


Figura 6.- a) Firma espectral de rocas de la playa Escoria, y b) Firma espectral de la playa Boca de Río

Figure 6. a) Spectral signature of Escoria beach rocks, and b) Spectral signature at Boca de Río beach

Tabla 4.- Valor y porcentaje de irradiancia solar de los tipos de roca de la playa Escoria

Table 4. Value and percentage of solar irradiance of the types of rock at Escoria beach

	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm	900-1100 nm	Irradiancia total Total irradiance (watts/m ²)
Roca negra	2,283	2,325	2,158	1,555	1,167	2,704	12,19
Black rock	18,7% A	19,1% A	17,7% A	12,8% A	9,6% A	22,2% B	
Roca ocre	4,79	9,674	13,53	11,01	7,998	12,3	59,31
Ocher rock	8,1% C	16,3% A	22,8% A	18,6% A	13,5% A	20,7% B	
Roca verde	22,56	20,14	18,36	12,25	9,761	17,16	100,3
Green rock	22,5% A	20,1% A	18,3% A	12,2% A	9,7% A	17,1% A	

Finalmente, el registro “resaca de ola” (que corresponde al momento en que la ola inicia el movimiento de retorno hacia el mar arrastrando menor cantidad de partículas de arena) mostró menor irradiancia (>0,32 watts/m²) en toda la longitud de onda; esta firma espectral es característica de aguas con sólidos suspendidos tal como refiere VELAOCHAGA *et al.* (2018). Por otra parte, se observó la superposición de las firmas espectrales de la “rompiente” y “resaca” de la ola entre 495 y 645 nm, que indica una misma respuesta espectral en dos momentos diferentes en el movimiento de una ola.

SEDIMENTOS DE FONDO DEL MAR

Los registros de la firma espectral de las muestras de sedimentos de fondo marino revelaron aproximación en sus valores de irradiancia a lo largo de la longitud de onda, cuyas características espectrales están en función del contenido de humedad, materia orgánica presente y diversidad de composición de las partículas.

La firma espectral de las muestras de sedimentos y organismos del fondo marino, tuvo características de baja irradiancia debido a que los registros se tomaron directamente de los frascos, los cuales contenían agua y solución preservante para su posterior análisis en laboratorio (Fig. 7a).

La composición de las muestras de sedimentos de fondo marino es diversa. La figura 7b corresponde a una muestra colectada entre 5 y 10 m de profundidad, observándose tubos de poliquetos con partículas adheridas, mientras que en la figura 7c se ve que la muestra está

Finally, the record “undertow” (which corresponds to the moment in which the wave initiates the return movement towards the sea dragging less amount of sand particles) showed less irradiance (>0.32 watts/m²) in all the wavelength; this spectral signature is characteristic of waters with suspended solids as described by VELAOCHAGA *et al.* (2018). Moreover, we observed the superposition of the “breaking wave” and “undertow” spectral signatures of the wave between 495 and 645 nm, which indicates the same spectral response at two different times in the movement of a wave.

SEABED SEDIMENTS

Spectral signature records of seabed sediment samples revealed an approximation in their irradiance values throughout the wavelength, whose spectral characteristics depend on moisture content, the presence of organic matter and particle composition diversity.

The spectral signature of sediment and seabed organisms’ samples had low irradiance characteristics due to the fact that the records were taken directly from the vials, which contained water and preservative solution for later laboratory analysis (Fig. 7a).

The composition of seabed sediment samples is diverse. Figure 7b corresponds to a sample collected at a depth of between 5 and 10 m, with polychaetes tubes with adhering particles, Figure 7c shows that the sample is composed

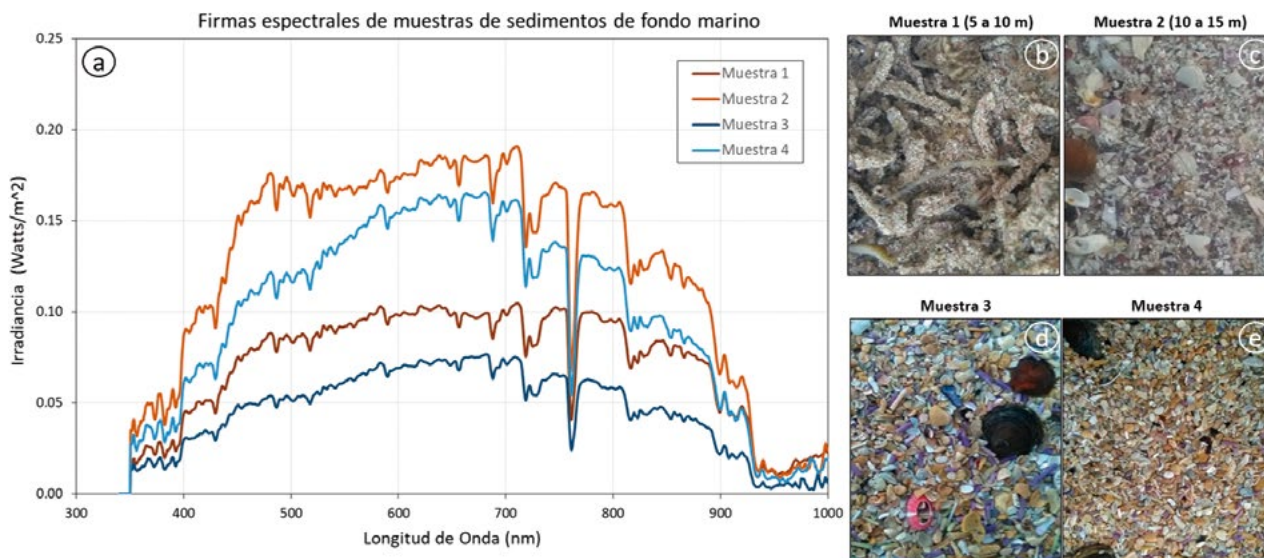


Figura 7.- Firmas espectrales de muestras de sedimentos de fondo marino
 Figure 7. Spectral signatures of seabed sediment samples

Tabla 5.- Valor y porcentaje de irradiancia solar en los tipos de rocas de la playa Escoria
 Table 5. Value and percentage of solar irradiance of the types of rocks at Escoria beach

	400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-900 nm	900-1100 nm	Irradiancia total (watts/m²)
Muestra 1 (5-10 m)	6,766	9,223	9,866	9,275	7,713	5,133	47,97
Sample 1 (5-10 m)	14,1% A	19,2% A	20,6% A	19,3% B	16,1% B	10,7% B	
Muestra 2 (10-15 m)	13,58	16,81	18,01	15,84	12,17	7,305	83,73
Sample 2 (10-15 m)	16,2% A	20,1% A	21,5% A	18,9% B	14,5% A	8,7% C	
Muestra 3	4,297	6,122	7,223	6,034	4,305	2,654	30,63
Sample 3	14,0% A	20,0% A	23,6% B	19,7% B	14,1% A	8,7% C	
Muestra 4	9,406	13,78	15,93	12,87	8,99	5,443	66,42
Sample 4	14,2% A	20,8% A	24,0% B	19,4% B	13,5% A	8,2% C	

compuesta por partículas de diferente tamaño de composición biogénica, aparentemente carbonato. La figura 7d permite observar la muestra de partículas de origen biogénico conformadas por fragmentos de caparzones de moluscos, fragmentos de espículas de erizos y conchas de pelecípodos y finalmente en la figura 7e la muestra está compuesta por fragmentos más pequeños de partículas de origen biogénico y fragmentos de espículas de erizos y arena.

Las cuatro muestras tuvieron similar respuesta espectral dado que todas presentan diferentes porcentajes casi del mismo contenido. Sin embargo, la respuesta espectral de la muestra de fondo entre 5 y 10 m (7b) y la muestra 7d permiten advertir mayor cantidad de organismos biológicos, alcanzando ambos irradiancia hasta de 0,10 watts/m² entre 450 y 800 nm de longitud de onda.

of particles of different sizes of biogenic composition, seemingly carbonate. Figure 7d corresponds to samples of the biogenic particles sample composed by mollusk shell fragments, urchin spicules fragments, and pelecypod shells and finally, in figure 7e, the sample is composed by smaller fragments of biogenic particles and urchin and sand spicules fragments.

All four samples had similar spectral response since, they all present different percentages of almost the same content. However, the spectral response of the seabed sample between 5 and 10 m (7b) and the 7d sample allow us to detect more biological organisms, reaching both an irradiance of up to 0.10 watts/m² between 450 and 800 nm wavelength.

La alta cantidad de fragmentos particulados de origen biogénico que contiene la muestra colectada entre 10 y 15 metros de profundidad (7c) y la muestra (7e) presentan irradiancia hasta de 0,20 watts/m², lo que evidencia la diferencia entre la firma espectral entre organismos biológicos y sedimentos rocosos.

La Tabla 5 muestra el valor en watts/m² y porcentaje de irradiancia espectral por cada 100 nm desde 400 hasta 1100 nm.

4. CONCLUSIONES

Se evidenció un amplio rango de la irradiancia del agua de mar a diferentes horas del día, que van desde 0,01 hasta 0,20 watts/m². Esto indicaría que las diferencias de concentración de clorofila-a que muestran las imágenes satelitales entre un día y otro en una misma área dependen significativamente de la irradiancia reflejada, siendo importante la validación de la concentración de clorofila-a satelital, en la cual se consideren los registros de irradiancia espectral.

La firma espectral de los registros de sólidos suspendidos en mar a nivel de playa permitió identificar características propias de concentración de sedimentos de las olas, evidenciando la potencia del espectrorradiómetro PS-100. El agua clara sin sedimentos en suspensión presentó muy poca irradiancia <0,17 watts/m² como se observa en la figura 6b, mientras que el agua turbia generó altos valores de irradiancia por encima de los 700 nm.

Las imágenes satelitales de alta resolución espacial permiten observar contrastes en la coloración del mar a escala zonal, que indican la ocurrencia de procesos oceanográficos de micro escala temporalmente muy variables que solo son posibles de cuantificarse a través de la aplicación de la espectro radiometría como método de validación de la información satelital.

The high amount of particulate fragments of biogenic origin contained in the sample collected between a depth of 10 and 15 m (7c) and the sample (7e) show an irradiance of up to 0.20 watts/m², evidences difference between the spectral signature between biological organisms and rocky sediments.

Table 5 shows the value in watts/m² and the percentage of spectral irradiance per 100 nm from 400 to 1100 nm.

4. CONCLUSIONS

A wide range of seawater irradiance was evidenced at different times-of-day, ranging from 0.01 to 0.20 watts/m². This would indicate that the differences in chlorophyll-a concentration shown by satellite images between one day and another in the same area depend significantly on the reflected irradiance, being important the validation of the concentration of satellite chlorophyll-a, in which the spectral irradiance records are considered.

The spectral signature of the records of suspended solids in the sea at beach level made it possible to identify the characteristics of wave sediment concentration, thus demonstrating the power of the PS-100 spectroradiometer. The clear water without suspended sediments presented very little irradiance <0.17 watts/m² as can be seen in figure 6b, while the turbid water generated high values of irradiance above 700 nm.

Satellite images of high spatial resolution allow us to observe contrasts in the coloration of the sea at zonal scale, which indicate the occurrence of micro-scale oceanographic processes which are temporarily very variable and that can only be quantified through the application of radiometric spectrum as a method of validation of satellite information.

5. REFERENCIAS / REFERENCES

- AHN Y-H, SHANMUGAM P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment*. 103: 419 - 437.
- MEER F, JONG S. 2002. *Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital Image Processing*. Kluwer Academic Publishers. 4: 111 - 197.
- SOBRINO J, RAISSOUNI N, KERR Y, OLIOSO A, LÓPEZ-GARCIA M, BELAID A, EL KHARRAZ H, CUENCA J, DEMPÈRE L. 2000. *Teledetección*. Servicio de Publicaciones Universidad de Valencia. 467 pp.
- VELAOCHAGA G, PAULINO C, XU H, ALBURQUEQUE E. 2018. Monitoreo de las aguas residuales vertidas en la bahía del Callao utilizando imágenes Landsat (1985-2015). *Bol Inst Mar Perú*. 33(1): 5-12.
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>