

# TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN PARA IDENTIFICAR POSIBLES ÁREAS CONTAMINADAS POR COLECTORES RESIDUALES EN EL LITORAL PERUANO

## REMOTE SENSING TECHNIQUES TO IDENTIFY POSSIBLE AREAS POLLUTED BY WASTEWATER COLLECTION SYSTEMS ON THE COAST OF PERU

Germán Velaochaga<sup>1</sup> Raúl Espinoza Villar<sup>2</sup> Edward Alburqueque<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.53554/boletin.v37i1.364>

### RESUMEN

VELAOCHAGA G., ESPINOZA R., ALBURQUEQUE E. (2022). *Técnicas de teledetección para identificar posibles áreas contaminadas por colectores residuales en el litoral peruano*. Bol Inst Mar Perú. 37(1): 162-174.- Se recolectaron datos de reflectancia de las zonas de Piura, Áncash e Ica, desde el 7 de junio hasta el 22 de setiembre 2019. Se realizó un análisis de correlación de los datos recolectados con datos del satélite Sentinel-2, obteniéndose baja correlación debido a factores tales como la geometría de adquisición, la diferencia temporal entre otros. Se realizó una clasificación supervisada a un mosaico compuesto por imágenes del satélite Sentinel-2 desde la zona de Tumbes hasta Tacna para identificar posibles áreas contaminadas por colectores residuales, reconociendo un colector que se encuentra a 50 metros de profundidad y que genera una pluma de hasta 3 km en la superficie frente a Chorrillos y a 2 km de la costa.

PALABRAS CLAVE: teledetección de áreas contaminadas, satélite Sentinel-2

### ABSTRACT

VELAOCHAGA G., ESPINOZA R., ALBURQUEQUE E. (2022). *Remote sensing techniques to identify possible areas polluted by wastewater collection systems on the coast of Peru*. Bol Inst Mar Peru. 37(1): 162-174.- We collected reflectance data from Piura, Ancash, and Ica, from June 7 to September 22, 2019. Correlation analysis of the data collected with data from the Sentinel-2 satellite obtained a low correlation caused by acquisition geometry, and temporal difference, among others. A supervised classification was performed on a mosaic formed by Sentinel-2 satellite images, from Tumbes to Tacna, to identify possible areas polluted by wastewater collector systems, identifying a 50-meter-deep collector generating a plume of up to 3 km on the surface off Chorrillos and 2 km offshore.

KEYWORDS: remote sensing of polluted areas, Sentinel-2 satellite

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la agenda 2030 aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en setiembre 2015 en la Cumbre del Desarrollo Sostenible, hay 17 objetivos de aplicación universal para lograr un mundo sostenible en el año 2030.

Si bien dichos objetivos no son jurídicamente obligatorios, el IMARPE contribuye a través del seguimiento al objetivo 14 vida submarina, conservando y utilizando de manera sostenible los océanos, mares y recursos marinos (NACIONES UNIDAS, 2015).

La gran mayoría de los problemas de contaminación costera están directamente relacionados con descargas puntuales, clandestinas o bien producto de un mal diseño, como el caso de las descargas

## 1. INTRODUCTION

According to the 2030 agenda adopted by the United Nations General Assembly in September 2015 at the Sustainable Development Summit, there are 17 universally applicable goals to achieve a sustainable world in 2030.

Although these objectives are not legally binding, IMARPE contributes through the monitoring of goal 14 to conserve and sustainably use the oceans, seas, and marine resources (UNITED NATIONS, 2015).

In most cases, coastal pollution is directly related to specific, clandestine, or poorly designed discharges, as in the case of urban and industrial discharges through submarine outfalls. The pollutants associated with these

1 Área Funcional de Sensoramiento Remoto – DGIHSA – Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Av. Argentina 2245-Callao, Lima-Perú, E-mail: gvlaochaga@imarpe.gob.pe

2 Universidad Nacional Agraria La Molina

urbanas e industriales a través de los emisarios submarinos. Entre las sustancias contaminantes asociadas a ese vertido de aguas residuales tenemos: contaminantes físicos, bioquímicos y químicos (PASCUAL, 2013).

Las aguas costeras del litoral peruano bordean regiones densamente pobladas como Callao, Chorrillos, Chimbote, entre otros; y se ven cada vez más afectadas por la contaminación producida por las descargas de aguas residuales, debido al aumento del crecimiento demográfico y la urbanización.

Los sistemas de monitoreo de calidad de aguas basados en muestras, si bien son altamente precisos, son sumamente costosos y no proporcionan los datos necesarios para el monitoreo espacio temporal adecuado para grandes masas de agua (DUAN *et al.*, 2013). Por otro lado, la teledetección por satélite es una herramienta eficaz para monitorear los impactos biofísicos de la contaminación costera con gran cobertura tanto espacial como temporal. Algunos parámetros pueden ser estudiados usando las imágenes de satélite como la turbidez (DEKKER, 1993; MERTES *et al.*, 1993), pigmentos fotosintéticos (GOHIN *et al.*, 2002; SCHALLES *et al.*, 1998) y materia orgánica disuelta (VODACEK *et al.*, 1995). El programa europeo Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA) y su política de datos libres sobre diferentes satélites y servicios ha hecho posible el acceso a información del satélite Sentinel-2, que con su resolución espacial en el rango visible (10 metros) permite realizar estudios con mayor detalle, tal como la clasificación supervisada, que es un método utilizado para detectar grupos o conjuntos de píxeles en una imagen satelital (CASAL, 2011).

A través de información compartida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se pretende realizar un seguimiento de los vertimientos autorizados al océano a nivel nacional utilizando técnicas de teledetección, con los objetivos 1) de establecer la confiabilidad de la reflectancia obtenida del satélite Sentinel-2 con la reflectancia tomada *in situ* utilizando un espectrorradiómetro, 2) determinar la efectividad de la clasificación supervisada aplicada a un mosaico elaborado a partir de imágenes Sentinel-2, con el fin de identificar posibles impactos antropogénicos, específicamente en zonas donde están ubicados colectores residuales.

wastewater discharges include the physical, biochemical, and chemical ones (PASCUAL, 2013).

In Peru, the coastal waters border densely populated regions such as Callao, Chorrillos, and Chimbote, among others, and are increasingly affected by pollution from sewage discharges due to increased population growth and urbanization.

Sample-based water quality monitoring systems, while highly accurate, are extremely expensive and do not provide the data needed for adequate spatio-temporal monitoring for large water masses (DUAN *et al.*, 2013). On the other hand, satellite remote sensing is an effective tool for monitoring biophysical impacts of coastal pollution with large spatial as well as temporal coverage. Some parameters can be studied using satellite imagery such as turbidity (DEKKER, 1993; MERTES *et al.*, 1993), photosynthetic pigments (GOHIN *et al.*, 2002; SCHALLES *et al.*, 1998) and dissolved organic matter (VODACEK *et al.*, 1995). The European Space Agency (ESA) Copernicus program and its free data policy on different satellites and services have enabled access to information from the Sentinel-2 satellite, which with its spatial resolution in the visible range (10 meters) allows studies with greater detail, such as supervised classification, which is a method used to detect groups or sets of pixels in a satellite image (CASAL, 2011).

Through information shared by the *Autoridad Nacional del Agua* - ANA (Peruvian organism in charge of managing water resources), we intend to monitor nationwide authorized discharges into the ocean using remote sensing techniques, with the following goals: 1) to establish the reliability of the reflectance obtained from the Sentinel-2 satellite with the reflectance taken *in situ* using a spectroradiometer, 2) to determine the effectiveness of the supervised classification applied to a mosaic made from Sentinel-2 images, to identify possible anthropogenic impacts, specifically in areas where wastewater collectors are located.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos se recolectaron firmas espectrales para las zonas de Piura, Áncash e Ica (Tabla 1) utilizando un espectrorradiómetro ASD FieldSpec 4 Hi-res que brinda información en el rango espectral de 350 a 2500 nanómetros (nm). Los puntos fueron ubicados utilizando un GPS/Glonass de marca Garmin. Las mediciones fueron realizadas entre 08:00 am y 02:00 pm.

A partir de esas firmas espectrales se realizó la validación para cada fecha cuando se tomaron los datos *in situ*, utilizando la metodología descrita en la Figura 1, luego se realizó el análisis de correlación lineal para comprobar la calidad de los datos obtenidos con el satélite Sentinel-2.

Para realizar la correlación se utilizaron imágenes con fechas próximas a la toma de información *in situ*, de acuerdo a la disponibilidad de adquisición y si se encontraban libres de nubes (Tabla 2).

Para el segundo objetivo, se realizó un mosaico a partir de imágenes Sentinel-2 nivel 2A que fueron descargadas de la página de la Agencia Espacial Europea (ESA), el nivel 2A es un producto que incluye la corrección atmosférica.

## 2. MATERIAL AND METHODS

We collected spectral signatures for the Piura, Ancash, and Ica areas (Table 1) using an ASD FieldSpec 4 Hi-res spectroradiometer that provides information in the spectral range of 350 to 2500 nanometers (nm). The points were located using a Garmin GPS/Glonass. Measurements were taken between 08:00 am and 02:00 pm.

Based on these spectral signatures, validation was performed for each date when the data were taken *in situ*, using the methodology described in Figure 1, then a linear correlation analysis was performed to check the quality of the data obtained with the Sentinel-2 satellite.

Images with dates close to the *in situ* data collection were used for the correlation, depending on the availability of acquisition and if they were free of clouds (Table 2).

For the second goal, a mosaic was made from Sentinel-2 level 2A images that were downloaded from the European Space Agency (ESA) website. Level 2A is a product that includes atmospheric correction.

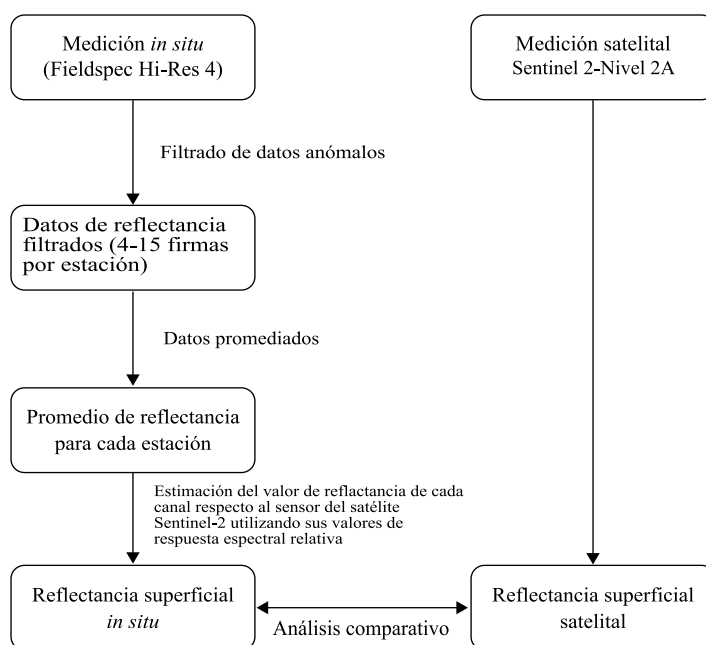


Figura 1.- Diagrama de flujo del procedimiento empleado en el análisis comparativo de ambas fuentes de información

Figure 1. Flowchart of the procedure used in the comparative analysis of both sources of information

Tabla 1.- Estaciones de Piura, Ancash e Ica

Table 1. Piura, Ancash, and Ica Stations

Estación	Longitud W	Latitud S	Nombre de estación	Zona	Fecha
1	-81,29034	-4,5749	Plataforma petrolera activa 1 (Talara)		
2	-81,33852	-4,49842	Plataforma petrolera activa 2 (Talara)		
3	-81,36231	-4,48232	Plataforma petrolera activa 3 (Talara)		7/6/2019
4	-81,28667	-4,34532	Plataforma abandonada (Talara)		
5	-81,29223	-4,30594	Intermedio entre plataformas (Talara)	Piura	
6	-80,98425	-5,80886	Zona de cultivo de conchas (Sechura)		
7	-80,87712	-5,72951	Zona ubicada entre costa y cultivo (Sechura)		
8	-80,85567	-5,70783	Vertedero Gam Corp. S.A.C. (Sechura)		8/6/2019
9	-80, 85342	-5,69984	Vertedero Perú Pez SAC (Sechura)		
10	-80,86739	-5,77164	Muelle de Parachique (Sechura)		
1	-78,56432	-9,12452	Servicios industriales de la Marina (Chimbote)		
2	-78,57241	-9,10697	Terminales Del Perú (Chimbote)		
3	-78,62809	-9,112001	Vertedero Pesquera 1313 (Chimbote)		
4	-78,63603	-9,10954	Vertedero Pesquera Jada (Chimbote)		
5	-78,62837	-9,0187	Vertedero Pesquera Hayduck (Chimbote)		16/8/2019
6	-78,62984	-9,01694	Vertedero Pesquera Cantabria (Chimbote)		
7	-78,63366	-9,01933	Vertedero Pesquera Austral (Chimbote)		
8	-78,64394	-9,10466	Colector APRO Chimbote 2		
9	-78,64371	-9,10598	Colector APRO Chimbote 1	Áncash	
10	-78,5178	-9,26584	Concesión Pacífico 1 (Samanco)		
11	-78,54077	-9,28295	Estación 2 (Samanco)		
12	-78,56456	-9,26489	Estación 3 (Samanco)		
13	-78,56117	-9,23759	Estación 4 (Samanco)		
14	-78,54224	-9,22448	Estación 5 (Samanco)		17/8/2019
15	-78,52287	-9,21275	Estación 6 (Samanco)		
16	-78,53834	-9,2061	Estación 7 (Samanco)		
17	-78,54765	-9,18121	Estación 8 (Samanco)		
18	-78,50023	-9,21408	Pesquera Tasa (Samanco)		
1	-76,23984	-13,76865	Vertedero Planta Pluspetrol (Pisco)		
2	-76,27359	-13,75568	Punta Pejerrey (Pisco)		
3	-76,31122	-13,73692	Isla Blanca (Pisco)		
4	-76,316	-13,69	Colector APRO Pisco		21/9/2019
5	-76,27572	-13,68804	Agua Clara (Pisco)		
6	-76,22555	-13,68813	Boca de Río (Pisco)		
7	-76,22771	-13,72164	Muelle San Andrés (Pisco)	Ica	
8	-76,20099	-13,47471	Vertedero Pesquera Hayduck (Tambo de Mora)		
9	-76,19771	-13,45079	Vertedero Pesquera Pacífico Centinela (Tambo de Mora)		
10	-76,19529	-13,44749	Vertedero Pesquera Exalmar (Tambo de Mora)		
11	-76,19099	-13,44091	Vertedero Pesquera CPG (Tambo de Mora)		22/9/2019
12	-76,19705	-13,43935	Vertedero Pesquera Exalmar (Tambo de Mora)		
13	-76,24319	-13,33405	Vertedero Pesquera Milpo (Tambo de Mota)		

Tabla 2.- Lista de imágenes satelitales procesadas en cada estación

Table 2. List of satellite images processed at each station

Imagen	Zona	Fecha
S2A_MSIL2A_20190609T155221_N0212_R111_T17MMP_20190609T212842.SAFE	Piura	9/06/2019
S2A_MSIL2A_20190609T155221_N0212_R111_T17MMQ_20190609T212842.SAFE	Piura	9/06/2019
S2A_MSIL2A_20190609T155221_N0212_R111_T17MMR_20190609T212842.SAFE	Piura	9/06/2019
S2A_MSIL2A_20190609T155221_N0212_R111_T17MNP_20190609T212842.SAFE	Piura	9/06/2019
S2A_MSIL2A_20190911T152641_N0213_R025_T17LQK_20190911T225027.SAFE	Ancash	11/09/2019
S2A_MSIL2A_20190911T152641_N0213_R025_T17LQL_20190911T225027.SAFE	Ancash	11/09/2019
S2B_MSIL2A_20191003T151709_N0213_R125_T18LUK_20191003T205503.SAFE	Ica	3/10/2019
S2B_MSIL2A_20191003T151709_N0213_R125_T18LUL_20191003T205503.SAFE	Ica	3/10/2019

Para realizar el mosaico del litoral desde Tumbes hasta Tacna se descargaron 33 imágenes en el periodo desde el 16 de abril hasta el 12 de mayo 2020. Esas imágenes se escogieron debido a que presentaban menor nubosidad en las zonas de estudio.

We downloaded 33 images for the mosaic of the coast from Tumbes to Tacna during the period from April 16 to May 12, 2020. These images were chosen because they showed less cloud cover in the study areas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### Selección y promedio de reflectancias en cada estación

#### Selection and averaging of reflectance at each station

Se realizó un filtrado de firmas por cada estación y luego se calculó el promedio. Las firmas y estaciones se encuentran en las figuras 2, 3 y 4. Se puede observar que las firmas no superan los valores de 0,1 como es característico para la reflectancia en el agua, excepto en la estación 10 de la zona de Piura, que fue una estación cercana al estuario de Virrilá donde hay una alta concentración de sedimentos.

The signatures were filtered for each station and then averaged. Figures 2, 3, and 4 show the signatures and stations. We can observe that the signatures do not exceed values of 0.1 as is characteristic for reflectance in water, except for station 10 in the Piura area, which was a station close to the Virrilá estuary where there is a high concentration of sediments.

#### Comparación de los datos *in situ* y satelitales

#### Comparison of *in situ* and satellite data

El análisis de correlación entre los datos satelitales (Sentinel 2) e *in situ* (FieldSpec-4) se realizó comparando los valores de las bandas que van desde 0,443 hasta 0,865 nanómetros; el diagrama de dispersión para las 41 estaciones divididas entre Piura, Áncash e Ica mostraron coeficientes de determinación desde 0,0038 hasta 0,3069, indicando una baja correlación (Figs. 5, 6, 7).

The correlation analysis between satellite (Sentinel 2) and *in situ* (FieldSpec-4) data was performed by comparing the values of the bands ranging from 0.443 to 0.865 nm. The scatter plot for the 41 stations divided between Piura, Ancash, and Ica showed coefficients of determination from 0.0038 to 0.3069, indicating a low correlation (Figs. 5, 6, 7).

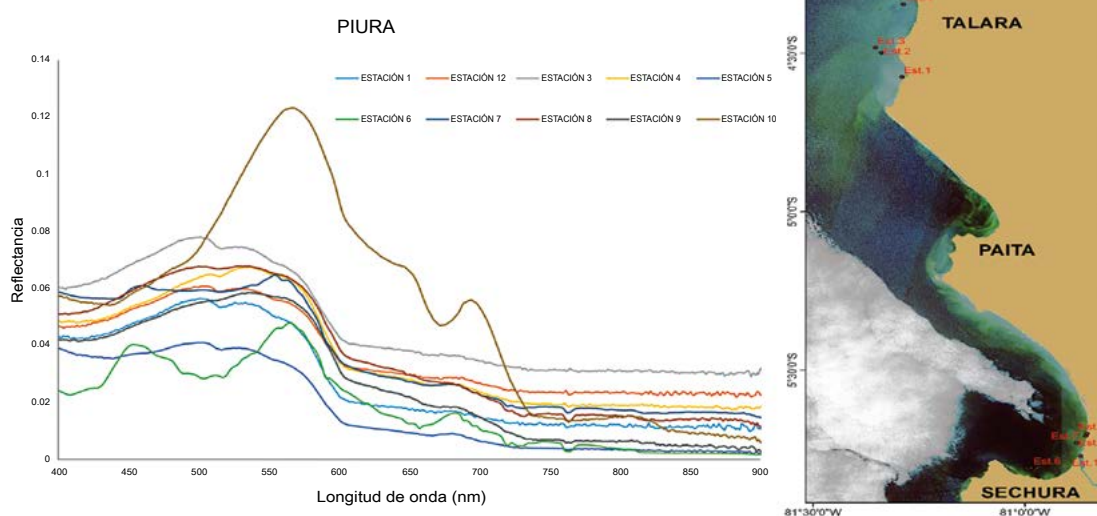


Figura 2.- Firma espectral de las 10 estaciones de Piura (imagen izquierda). Mosaico del satélite Sentinel-2 del 9 de junio 2019 visualizando la zona desde Talara hasta Sechura y la ubicación de las 10 estaciones. Este compuesto se ha generado usando las bandas en el espectro visible (imagen derecha)

Figure 2. Spectral signature of the 10 stations in Piura (left image). Sentinel-2 satellite mosaic of June 9, 2019, visualizing the area from Talara to Sechura and the location of the 10 stations. This composite has been generated using the bands in the visible spectrum (right image)

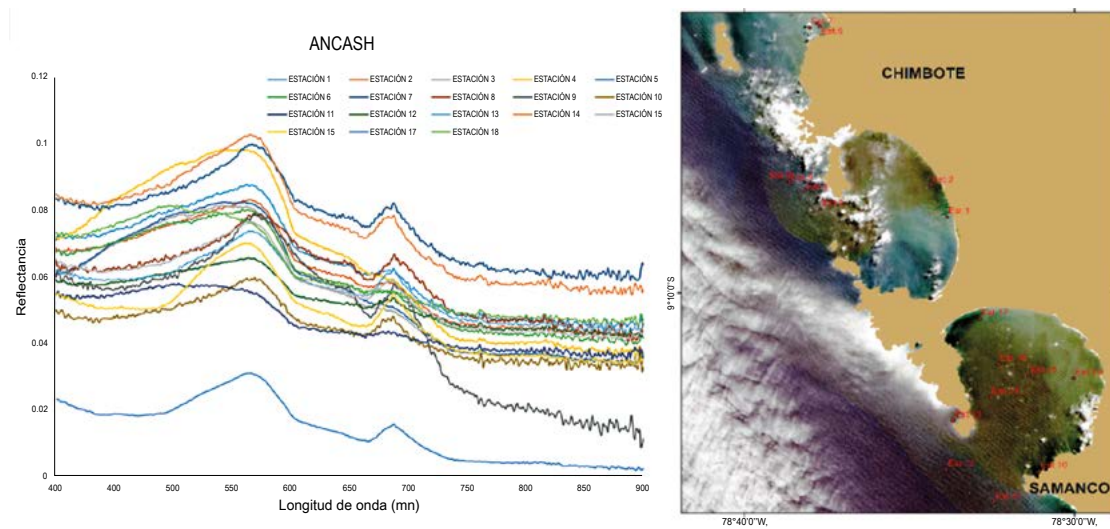


Figura 3.- Firma espectral de las 18 estaciones de Ancash (imagen izquierda). Mosaico del satélite Sentinel-2 del 11 de setiembre 2019 visualizando la zona desde Chimbote hasta Samanco y la ubicación de las 18 estaciones. Compuesto generado por las bandas en el espectro visible

Figure 3. Spectral signature of the 18 stations in Ancash (left image). Sentinel-2 satellite mosaic of September 11, 2019, visualizing the area from Chimbote to Samanco and the location of the 18 stations. Composite generated by the bands in the visible spectrum

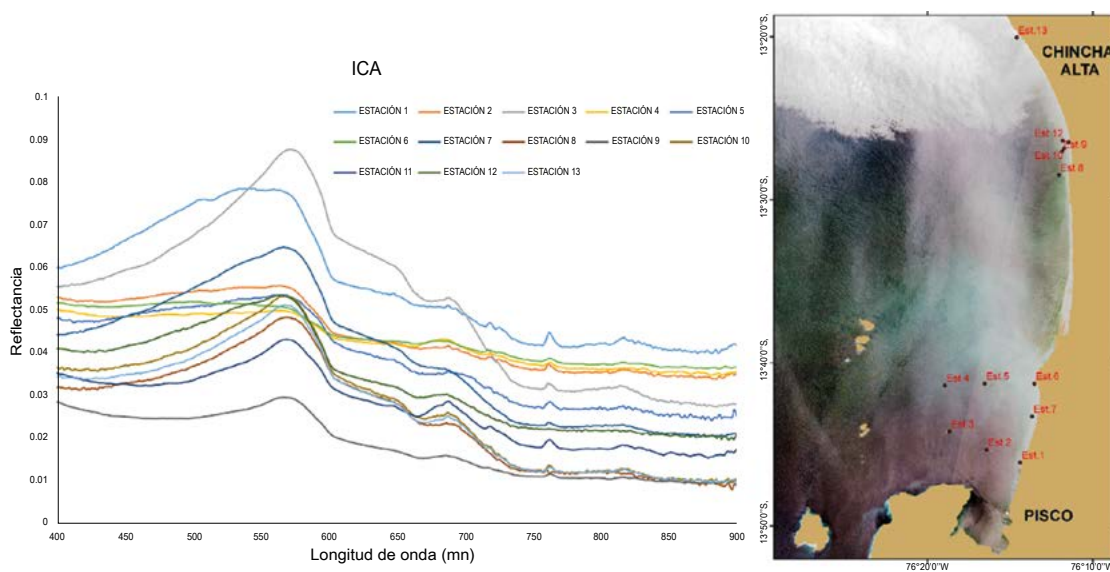


Figura 4.- Firma espectral de las 13 estaciones de Ica (imagen izquierda). Mosaico del satélite Sentinel-2 del 3 de octubre 2019 visualizando la zona desde Pisco hasta Chincha Alta y la ubicación de las 13 estaciones. Compuesto generado por las bandas en el espectro visible

Figure 4. Spectral signature of the 13 stations in Ica (left image). Sentinel-2 satellite mosaic of October 3, 2019, visualizing the area from Pisco to Chincha Alta and the location of the 13 stations. Composite generated by the bands in the visible spectrum



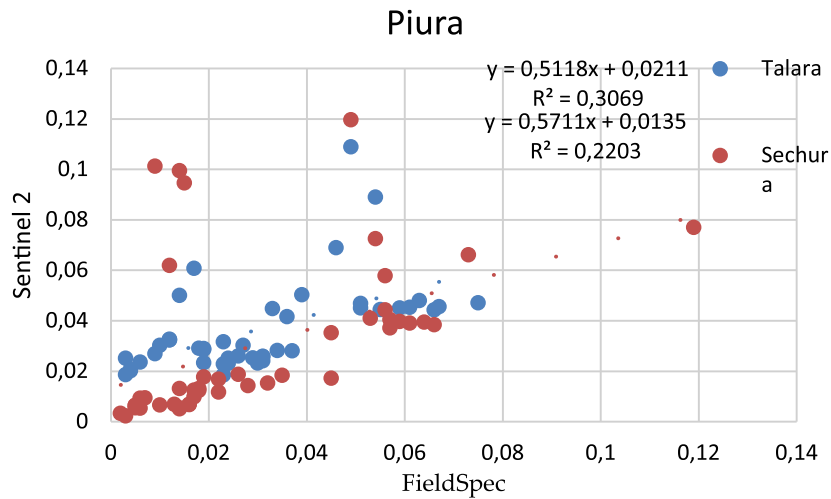


Figura 5.- Gráfico de dispersión para la zona de Piura (Talara y Sechura)  
 Figure 5. Scatter plot for the Piura zone (Talara and Sechura)

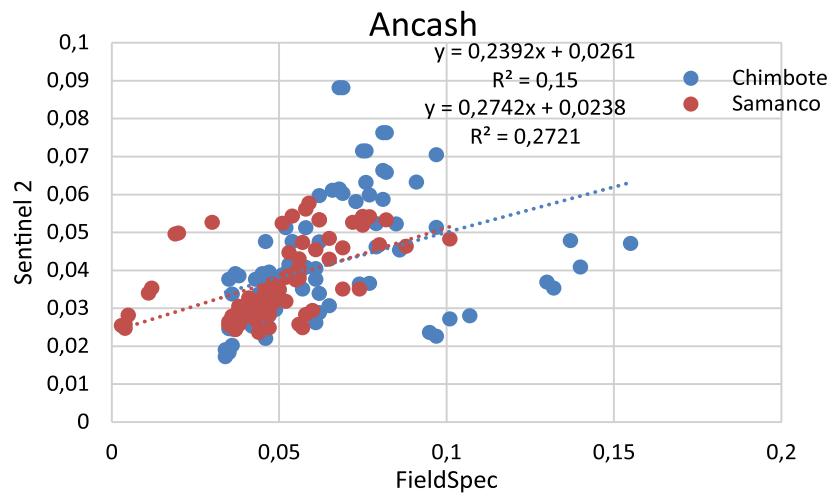


Figura 6.- Gráfico de dispersión para la zona de Ancash (Chimbote y Samanco)  
 Figure 6. Scatter plot for the Ancash zone (Chimbote and Samanco)

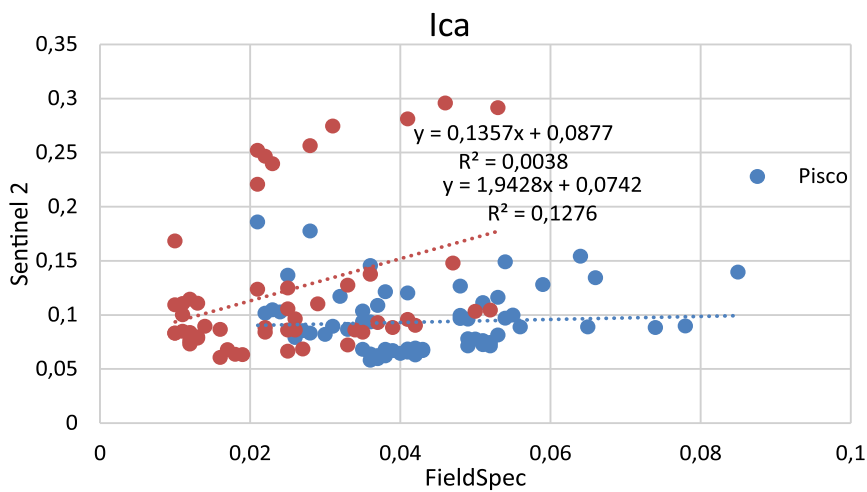


Figura 7.- Gráfico de dispersión para la zona de Ica (Pisco y Tambo de Mora)  
 Figure 7. Scatter plot for the Ica zone (Pisco and Tambo de Mora)

Esta baja correlación puede deberse al movimiento de la embarcación en el momento de las tomas, como indica MOBLEY (1999) la geometría de adquisición de datos de reflectancia de cuerpos de agua es sumamente importante, esta variación es causada por el efecto de reflejo que causa el agua en ciertos ángulos. El mismo autor indica que una fracción de la luz captada por el espectrorradiómetro proviene del cielo ( $f \cdot L_d$ ) en dirección a la medición; para evitar este efecto, es necesario contar con otro medidor de radiancia que capte la energía de esa sección del cielo (Fig. 8). En el caso del uso del espectrorradiómetro FielSpec 4 la medición fue realizada con un solo sensor en dirección al cuerpo de agua ( $L_u$ ).

Otra fuente de error es la causada por los efectos atmosféricos en las imágenes de satélite, a pesar que ya estén corregidas atmosféricamente quedan rezagos de estos efectos que, para los niveles de reflectancia del agua (muy bajos) son considerables. A esto se le suma la diferencia de fecha entre la imagen del satélite y la información tomada por el radiómetro FieldSpec 4.

This low correlation may be due to the movement of the vessel at the time of the shots, as MOBLEY (1999) indicates that the geometry of acquisition of reflectance data from water masses is of utmost importance, this variation is caused by the reflection effect caused by the water at certain angles. The same author indicates that a fraction of the light captured by the spectroradiometer comes from the sky ( $f \cdot L_d$ ) in the direction of the measurement. Therefore, to avoid this effect, it is necessary to have another radiance meter that captures the energy from that section of the sky (Fig. 8). For the FielSpec 4 spectroradiometer, the measurement was performed with a single sensor in the direction of the water mass ( $L_u$ ).

Another source of error is caused by atmospheric effects in the satellite images, even though they are already atmospherically corrected, there are still some lags of these effects which, for the water reflectance levels (very low) are considerable. Furthermore, there is a date difference between the satellite image and the information taken by the FieldSpec 4 radiometer.

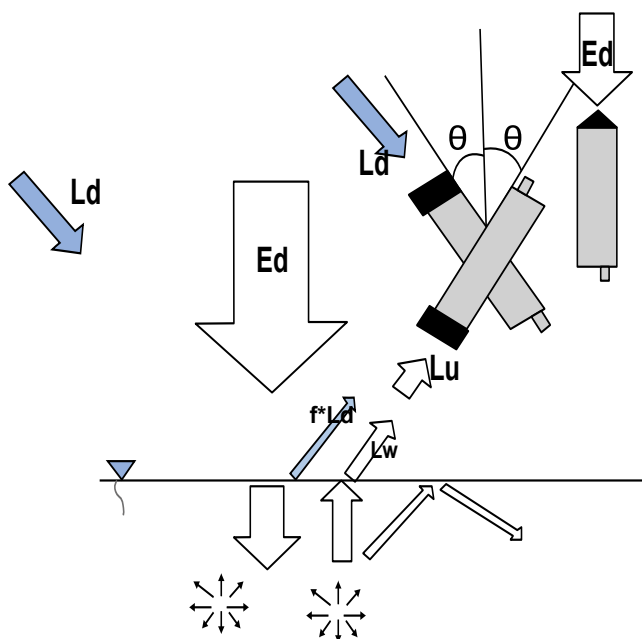


Figura 8.- Esquema para medir la reflectancia y la interacción de la luz con la superficie de la columna de agua. Irradiancia ( $E_d$ ), Radiación del cielo ( $L_d$ ) y Radiación del agua ( $L_w$ ).  $\theta = 30^\circ$ . (Adaptado de ESPINOZA, 2013)

Figure 8. Schematic for measuring reflectance and the interaction of light with the surface of the water column. Irradiance ( $E_d$ ), Sky radiance ( $L_d$ ), and Water radiance ( $L_w$ ).  $\theta = 30^\circ$ . (Adapted from ESPINOZA, 2013)



### Elaboración de mosaico con imágenes Sentinel-2

Al elaborar el mosaico tal como se observa en la figura 9, se presentó el problema de la nubosidad, por lo cual se utilizaron, para algunas zonas, imágenes de fechas próximas. A pesar que estas imágenes se encontraban libres de nubes para las zonas de interés en el informe, tenían diferentes características espectrales debido a la iluminación, ángulo del satélite, bruma, coloración diferente en las aguas, etc. Esto trae como consecuencia que la clasificación no sea uniforme a partir de las zonas de entrenamiento para todo el mosaico.

### Clasificación supervisada

Se utilizó el método de clasificación “Máxima verosimilitud” para las bandas visibles (rojo, verde y azul) del satélite Sentinel-2 y como zonas de entrenamiento se seleccionó la parte costera del Callao, debido a que en esa zona se encuentra el colector submarino Taboada, del cual emergen sus aguas tratadas a la superficie generando plumas según las imágenes satelitales presentadas por VELAUCHAGA *et al.* (2018). Las aguas tratadas que emergen a la superficie en dicha zona generan coloraciones que se han utilizado para caracterizar a todo el mosaico.

### Mosaic elaboration with Sentinel-2 imagery

Cloudiness was a problem when elaborating the mosaic as shown in Figure 9, so images from nearby dates were used for some areas. Although these images were cloud-free for the areas of interest in the report, they had different spectral characteristics due to illumination, satellite angle, haze, different coloration in the water, etc. This results in a non-uniform classification of the training zones for the entire mosaic.

### Supervised classification

The “Maximum Likelihood” classification method was used for the visible bands (red, green, and blue) of the Sentinel-2 satellite and the coastal part of Callao was selected as the training area since the Taboada submarine collector is located in that area, where treated water emerges to the surface generating plumes according to the satellite images presented by VELAUCHAGA *et al.* (2018). The treated waters emerging to the surface in this area generate colorations that have been used to characterize the entire mosaic.

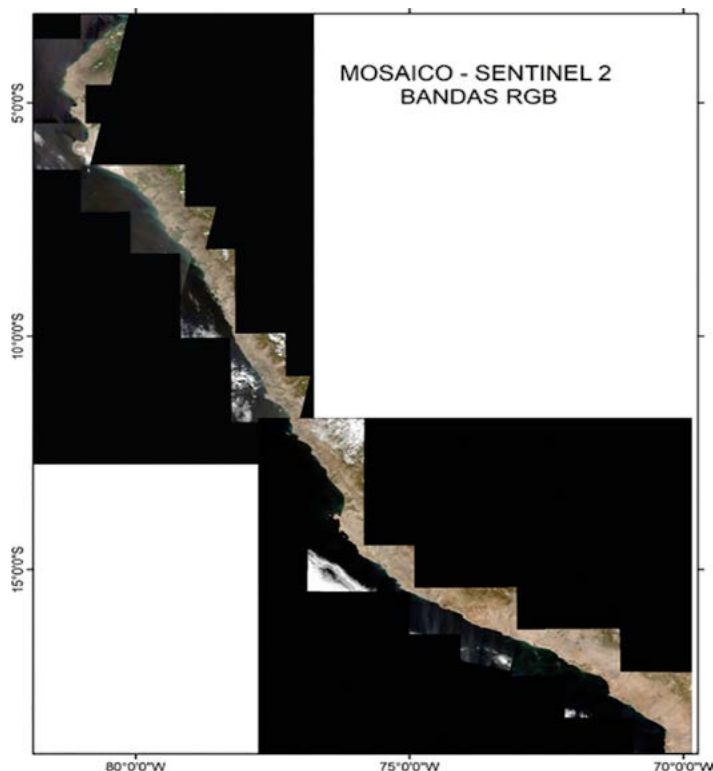


Figura 9.- Mosaico en falso color elaborado con 33 imágenes del satélite Sentinel-2

Figure 9. False-color mosaic made with 33 Sentinel-2 satellite images

Una vez realizada la clasificación supervisada, se procedió a identificar zonas con el mismo color que las marcadas en las zonas de entrenamiento del colector Taboada, primero en los colectores señalados por la Autoridad Nacional del Agua que brinda información a través de su plataforma, luego a lo largo del litoral, cerca de ríos y desembocaduras, puertos y principales ciudades costeras; es necesario señalar que la clasificación aplicada al mosaico (generado con imágenes de distintas fechas) no se realizó de manera correcta.

En la zona marítima frente a Chorrillos se identificó una zona de entrenamiento clasificada como aguas residuales cercanas al colector Taboada. El área observada se encuentra a 2 km de la costa (Fig. 10).

After the supervised classification, we identified areas with the same color as those marked in the training areas of the Taboada collector, first in the collectors indicated by the *Autoridad Nacional del Agua*, which provides information through its platform, then along the coastline, near rivers and mouths, ports, and major coastal cities. It is noteworthy that the classification applied to the mosaic (generated with images of different dates) was not performed correctly.

In the maritime area off Chorrillos, we identified a training area classified as sewage near the Taboada collector. The observed area is located 2 km offshore (Fig. 10).

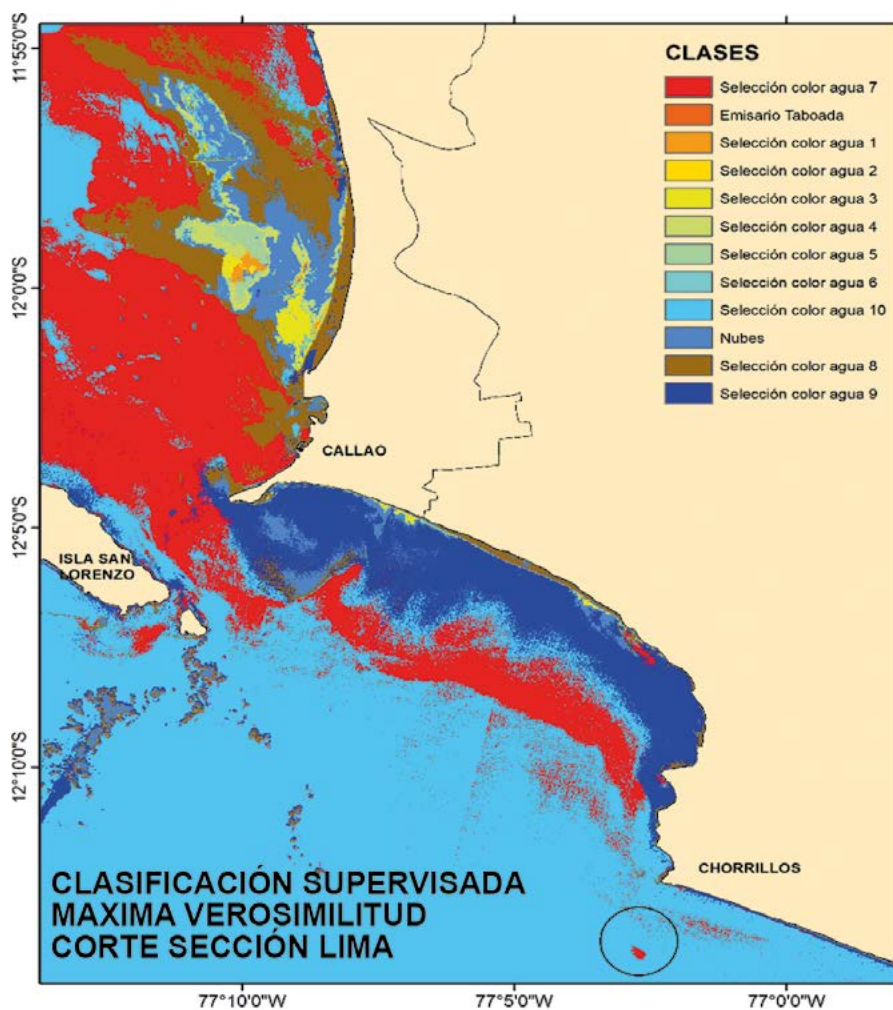


Figura 10.- Clasificación supervisada aplicada a la zona frente a Callao y Chorrillos. La zona observada se encuentra señalada con una circunferencia

Figure 10. Supervised classification applied to the area off Callao and Chorrillos. The observed area is marked with a circumference

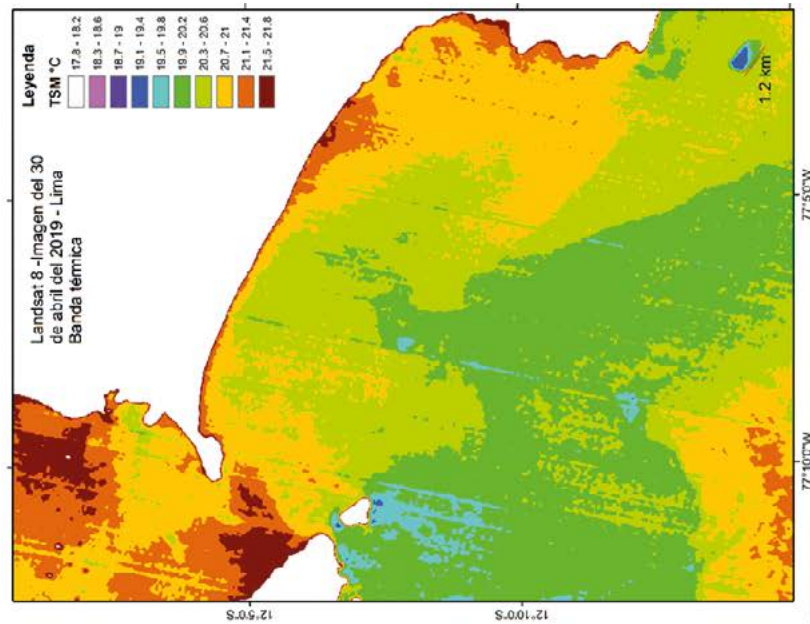


Figura 13.- Imagen del Satellite Landsat 8 (banda térmica) del 30 de abril 2019. Se observa disminución de la temperatura con respecto a su entorno en la posición en donde ubica el colector La Chira

Figure 13. Landsat 8 satellite image (thermal band) of April 30, 2019. A decrease in temperature compared to its surroundings is observed where the La Chira sewage collector is located



Figura 12.- Imagen del Satellite Landsat 8, (banda visible) del 30 de abril 2019. Se observa una pluma con una longitud de 1.2 km en la posición donde se ubica el colector La Chira

Figure 12. Landsat 8 satellite image, (visible band) of April 30, 2019. A 1.2 km long plume is observed where the La Chira sewage collector is located



Figura 11.- Imagen del Satellite Sentinel-2, (banda visible) del 2 de enero 2020. Se observa una pluma con una longitud de 3 km en la posición donde se ubica el colector La Chira

Figure 11. Sentinel-2 satellite image (visible band) of January 2, 2020. A 3 km long plume is observed at the position where the La Chira sewage collector is located

### Caso PTAR La Chira

Se descargaron imágenes Sentinel 2 (Fig. 11) de otras fechas para la misma zona, encontrándose una anomalía similar en esa ubicación. Con el satélite Landsat 8 (imagen del 30 de abril 2019) tanto en sus bandas visibles como térmica se encontró la misma mancha (Figs. 12, 13). Esto se observó en el PTAR Taboada cuando las aguas producto de la descarga del colector submarino emergían a la superficie.

Se buscó información al respecto sobre dicha zona y se pudo identificar un colector que no había sido incluido por la ANA en su plataforma, el PTAR La Chira que se encuentra en funcionamiento desde el 2016 y descarga a 50 metros de profundidad a 2 km de la costa.

Lo que se puede concluir sobre dicho colector es que existe un debilitamiento en la estratificación de las densidades, lo que permite que emerjan a la superficie las aguas tratadas del colector (VELAOCHAGA *et al.*, 2018).

### 4. CONCLUSIONES

El satélite Sentinel-2 tuvo correlación baja con los datos que fueron tomados con el espectrorradiómetro Hi-Res FieldSpec 4 para las zonas de Piura, Áncash e Ica, Esto puede deberse a diversos factores, siendo el principal la geometría de adquisición de datos que es ocasionada por el efecto de reflejo que causa el agua en ciertos ángulos y la falta de un sensor que capte la energía del cielo por parte del equipo FieldSpec 4.

Gracias al método empleado de clasificación supervisada se pudo identificar el funcionamiento de un colector no disponible en la información brindada por la Autoridad Nacional del Agua. En este colector existe un debilitamiento en la estratificación de las densidades de acuerdo a las imágenes que fueron procesadas, lo que permite que emerjan a la superficie las aguas tratadas del colector generando plumas de hasta 3 km.

Es necesario continuar con el monitoreo de los colectores y su funcionamiento, para establecer un sistema de alerta temprana y prevenir impactos ambientales.

### Case of La Chira sewage collector

Sentinel 2 images (Fig. 11) from other dates were downloaded for the same area, finding a similar anomaly in that location. With the Landsat 8 satellite (image of April 30, 2019), both in its visible and thermal bands, the same stain was found (Figs. 12, 13). This was observed at the Taboada sewage collector when the waters from the discharge of the submarine outfalls emerged to the surface.

Information on the area was sought and we identified a collector that had not been included by ANA in its platform, the La Chira sewage collector, which has been operating since 2016 and discharges at a depth of 50 meters, 2 km offshore.

What can be concluded about this collector is that there is a weakening in the stratification of densities, which allows the treated water to emerge to the surface from the submarine outfalls (VELAOCHAGA *et al.*, 2018).

### 4. CONCLUSIONS

The Sentinel-2 satellite had a low correlation with the data taken with the Hi-Res FieldSpec 4 spectroradiometer for the Piura, Ancash, and Ica areas. This may be due to several factors, the main one being the data acquisition geometry caused by the reflection effect of the water at certain angles and the lack of a sensor that captures the energy from the sky by the FieldSpec 4 equipment.

We identified the operation of a sewage collector not available in the information provided by the *Autoridad Nacional del Agua* using the supervised classification method. There is a weakening in the stratification of densities in this collector according to the images that were processed, which allows treated water to emerge to the surface from the submarine outfalls, generating 3 km long plumes.

Further monitoring of the collectors and their operation is necessary to establish an early warning system and prevent environmental impacts.

## REFERENCIAS

- ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS. (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de setiembre de 2015 - Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Acceso a la información. [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe). Y catálogo de metadatos: <http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search?jsessionid=4899A9D0FA294B1C2069F3552AE-FBD49#/metadata/118b8617-003e-4b10-a668-da456b-f270f5>
- CASAL, G., SÁNCHEZ, N., SÁNCHEZ, E., FREIRE, J. (2011). Remote sensing with SPOT-4 for mapping kelp forests in turbid waters on the south European Atlantic shelf. DOI: 10.1016/j.ecss.2010.10.024
- DEKKER, A. G. (1993). Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution Remote sensing. PhD thesis, Proefschrift Vrije Universiteit (Free University), Earth and Life Sciences, Amsterdam, The Netherlands.
- DUAN, W., HE, B., TAKARA, K., LUO, P., NOVER, D., SAHU, N., YAMASHIKI, Y. (2013). Spatiotemporal evaluation of water quality incidents in Japan between 1996 and 2007. *Chemosphere*, 93, 946–953.
- ESPIÑOZA VILLAR, R. (2013). Suivi de la dynamique spatiale et temporelle des flux sédimentaires dans le bassin de l'Amazone à partir d'images satellite (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- GOHIN, F., DRUON, J. N., LAMPERT, L. (2002). A five-channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *Int. J. Remote Sens.* 23 (8), 1639–1661. <https://doi.org/10.1080/01431160110071879>
- MERTES, L. A., SMITH, M. O., ADAMS, J. B. (1993). Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sens. Environ.* 43(3), 281–301. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90071-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90071-5)
- MOBLEY, D. (1999). Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. <https://doi.org/10.1364/AO.38.007442>
- PASCUAL, A. (2013). Estudio numérico - experimental de la dispersión de efluentes de emisarios submarinos en la costa valenciana. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis para la obtención de grado de doctor.
- SCHALLES, J. F., GITELSON, A. A., YACOBI, Y. Z., KROENKE, A. E. (1998). Estimation of chlorophyll a from time series measurements of high spectral resolution reflectance in a eutrophic lake. *J. Phycol.* 34 (2), 383–390.
- 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), p. 5-12
- VODACEK, A., HOGEL, F., SWIFT, R., YUNGEL, J., PELTZER, E., BLOUGH, N. (1995). The use of in situ and airborne fluorescence measurements to determine UV absorption coefficients and DOC concentrations in surface waters. *Limnol. Oceanogr.*, 40 (2), 411–415.