



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE MANCHAS DE PETROLEO EN EL MAR  
DE LA COSTA PERUANA**

**Línea de investigación:**

Procesamiento digital de imágenes y señales

Informe del Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero

Geógrafo

**Autor/a:**

Villon Huaman, Carlos Antonio

**Asesor/a:**

Llactayo León, William Augusto

(ORCID: 0000-00032-0508-5472)

**Jurados:**

Jose Alberto Huiman Sandoval

Angelica Ysabel Miranda Jara

Braulio Armando Valdivia Orihuela

Lima – Perú

2023

# METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE MANCHAS DE PETROLEO EN EL MAR DE LA COSTA PERUANA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>8%</b>	<b>13%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>www.telematica.com.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>www.dspace.uce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>es.mongabay.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>www.scielo.org.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>es.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>doku.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>issuu.com</b> Fuente de Internet	

## ÍNDICE

RESUMEN .....	5
ABSTRACT.....	6
I. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1. Trayectoria del autor.....	7
1.2. Descripción de la Empresa .....	8
1.3. Organigrama de la Empresa .....	10
1.4. Áreas y funciones desempeñadas .....	11
1.4.1. Dirección de Aviación Policial (DIRAVPOL). .....	11
1.4.2. TELEMATICA S.A. ....	11
A. Soporte Técnico GIS. ....	11
B. Especialista de Industria en el Sector Agrícola. ....	12
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA.....	13
2.1. Objetivos.....	15
2.1.1. Objetivo General .....	15
2.1.2. Objetivo Especifico .....	15
2.2. Área de estudio .....	15
2.2.1. Ubicación geográfica.....	15
2.3. Áreas Naturales Protegidas.....	16
2.4. Recopilación de datos:.....	18
2.5. Marco Teórico .....	21

2.5.1.	Sistema de Información Geográfica (GIS).....	21
2.5.2.	Teledetección. ....	22
A.	Fundamentos Físicos.....	25
A1.	Radiación electromagnética.....	25
A2.	Espectro Electromagnético.....	26
A3.	Interacción entre radiación y materia.....	28
2.5.2.	Misiones exploratorias.....	29
A.	Sentinel-2.....	29
B.	Programa Landsat.....	30
C.	PlanetScope.....	31
2.5.3.	Petróleo.....	32
A.	Impactos de los derrames de petróleo en el mar peruano.....	33
2.6.	Metodología y análisis.....	35
2.6.1.	Análisis visual.....	36
2.6.2.	Análisis espectral.....	37
2.7.	Flujo de trabajo.....	41
2.7.1.	Búsqueda y descarga de imágenes.....	42
2.7.2.	Procesamiento de Imágenes.....	43
2.7.3.	Análisis de Imágenes.....	43
A.	Condiciones meteorológicas desfavorables.....	43
A1.	Ubicación Visual.....	44

A2. Validación Espectral.....	44
B. Condiciones meteorológicas favorables. ....	46
B1. Creación de librería espectral.....	46
B2. Búsqueda automatizada. ....	49
2.7.4. Delimitación de la extensión de la mancha de petróleo .....	50
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA INSTITUCIÓN.....	53
IV. CONCLUSIONES .....	54
V. RECOMENDACIONES.....	56
VI. REFERENCIAS .....	57
VII. ANEXOS.....	60

## RESUMEN

El presente informe es desarrollado a partir de la experiencia profesional del autor en el ejercicio de su profesión como GIS Consultant o consultor en sistemas de información geográfico en TELEMATICA S.A. Las funciones desarrolladas y aportes destacables generados, se dan dentro de la especialidad de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección o Percepción remota, formando parte en la iniciativa para realizar un monitoreo de manchas de petróleo en mar peruano, originadas por el derrame de mismo, por uno de los buques de la refinería La Pampilla, durante las operaciones de descarga. Dicha iniciativa dio paso a la generación de la “Metodología para la detección de manchas de petróleo, y derivados, presentes en el mar peruano”. La elaboración de esta metodología sirve como base o precedente para la identificar, ubicar y estimar la extensión de manchas de petróleo u otros contaminantes suspendidos en el mar peruano a través de imágenes ópticas de satélite. Así mismo, se logró identificar el potencial y alcance de los softwares GIS, en posibles eventos similares.

*Palabras clave:* análisis espectral, análisis visual, espectro electromagnético, firmas espectrales, teledetección, sistema de información geográfico

## ABSTRACT

This report is developed from the professional experience of the author in the exercise of his profession as a GIS Consultant or consultant in geographic information systems, at TELEMATICA S.A. The functions developed and notable contributions generated are within the specialty of Geographic Information Systems and Remote Sensing or Remote Sensing, forming part of the initiative to monitor oil slicks in the Peruvian sea, caused by the oil spill, by one of the La Pampilla refinery vessels, during unloading operations. This initiative gave way to the generation of the "Methodology for the detection of oil slicks, and derivatives, present in the Peruvian sea". The development of this methodology serves as a basis or precedent for identifying, locating and estimating the extent of oil slicks or other pollutants suspended in the Peruvian sea through optical satellite images. Likewise, it was possible to identify the potential and scope of GIS software, in possible similar events.

*Keywords:* spectral analysis, visual analysis, electromagnetic spectrum, spectral signatures, remote sensing, geographic information system.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Trayectoria del autor

Soy Bachiller en Ingeniería Geográfica, desde octubre del 2019, egresado de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), con más de 4 años de experiencia en entidades públicas y privadas, aplicando conocimientos en el uso de sistemas de información geográfica y teledetección, comprendiendo el procesamiento, análisis y administración de datos tabulares, archivos vectoriales, datos ráster, imágenes multiespectrales, imágenes de radar de apertura sintética (SAR) e imágenes adquiridas por Drones.

Desde Junio del 2019 hasta Septiembre del 2020, desempeñé el cargo de Analista en Geomática en la División de Operaciones Áreas (DIVOPAER) en la Dirección de Aviación Policial (DIRAVPOL), realicé labores relacionadas a la generación de cartografía temática de cultivos ilícitos, monitoreo y detección de pistas de aterrizaje clandestinas, identificación de cambios en las áreas de operaciones de la división mediante el uso de imágenes de satélite ópticas y de radar de apertura sintética, y otras actividades de análisis orientadas a las operaciones de la DIVOPAER.

Desde abril del 2021 hasta la fecha, desempeño el cargo de GIS Consultant, o Consultor GIS, en la empresa TELEMATICA S.A., realizo labores de soporte técnico GIS a usuarios ante el surgimiento incidencias o el correcto uso de las plataformas ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space. También viene realizando actividades como Industry Specialist, o Especialista de Industria, en el sector agrícola, elaborando solución GIS que cubran necesidades en dicho sector, aplicando conocimientos en los sistemas de información geográfica y teledetección. Así mismo, eventualmente participo en iniciativas de monitoreo y análisis aplicando los conocimientos anteriormente mencionados.

## 1.2. Descripción de la Empresa

La empresa, como distribuidor autorizado de distintas plataformas GIS, se describe de la siguiente manera:

TELEMATICA S.A. es representante exclusivo en el Perú de Esri Inc., la empresa líder en mapeo e inteligencia de ubicación. Mas de 350,000 organizaciones a nivel mundial utilizan la plataforma ArcGIS de Esri para crear, gestionar, analizar y compartir información geoespacial en todo momento, en cualquier lugar y desde cualquier dispositivo. TELEMATICA además es distribuidor exclusivo de NV5, representantes de la plataforma ENVI, el mejor software de análisis y procesamiento de imágenes del mundo; de Planet, compañía que opera la más grande constelación de satélites que toman imágenes y monitorean diariamente la Tierra, haciendo que el cambio sea visible, accesible y accionable; y de Capella Space, empresa líder en Radar de Apertura Sintética (SAR), que proporciona datos de observación de la Tierra con cualquier condición atmosférica, desde los satélites SAR más avanzados, obteniendo los productos de imágenes SAR más frecuentes, oportunos y de alta calidad disponibles (TELEMATICA S.A., s.f.).

Según TELEMATICA S.A. (s.f.), realiza sus funciones bajo el siguiente enfoque:

- Impulsar con tecnología y servicios, relacionados al sistema de información geográfica, a los sectores que promuevan el desarrollo y bienestar de las comunidades peruanas, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de dicha comunidad.

Así mismo, de forma puntual, TELEMATICA S.A. realiza las siguientes actividades:

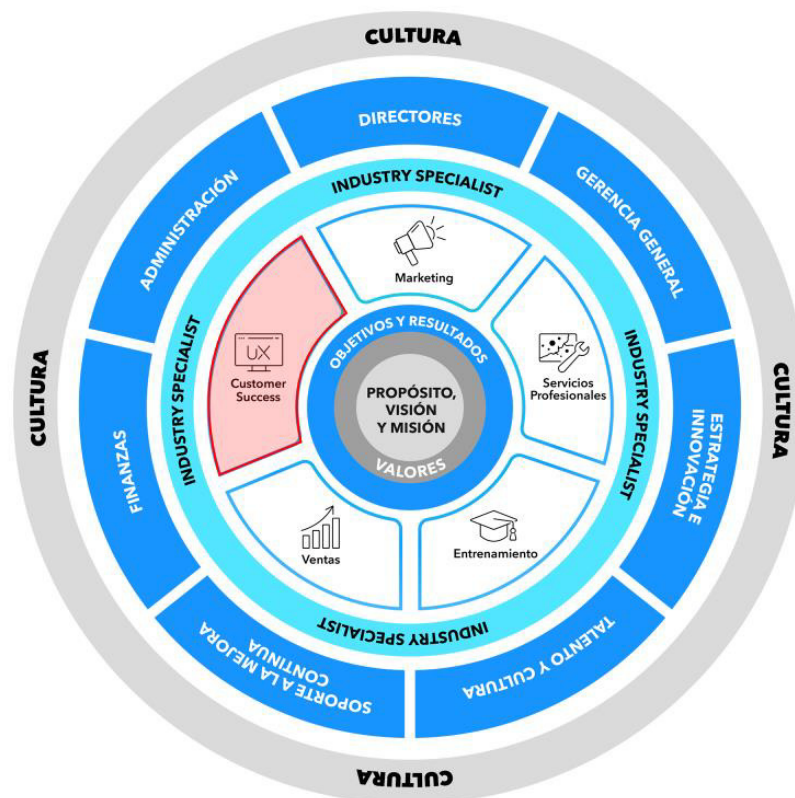
- Comercialización de productos relacionados a las plataformas de ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space.
- Elaboración y comercialización de soluciones con enfoque GIS, a necesidades identificadas en distintos sectores de la industria
- Brinda servicio de soporte técnico GIS, ante el surgimiento de incidencias con las plataformas comercializados, y servicios profesionales, en caso se requiera la implementación de alguna solución a pedido.
- Elaboración y comercialización de cursos con enfoque GIS, a través del uso de las plataformas comercializadas.
- Implementación de iniciativas con enfoque GIS, ante eventos, fenómenos o desastres naturales de interés nacional.

### 1.3. Organigrama de la Empresa

TELEMATICA S.A. contempla un organigrama circular, como se aprecia en la Figura 1.

**Figura 1**

*Organigrama de la empresa TELEMATICA S.A.*



*Nota:* Adoptado de Organigrama de TELEMATICA SA., por TELEMATICA SA, s.f.,  
TELEMATICA SA (<https://www.telematica.com.pe/organigrama-de-telematica/>)

## 1.4. Áreas y funciones desempeñadas

### 1.4.1. Dirección de Aviación Policial (DIRAVPOL).

Las funciones que desarrolló en la División de Operaciones Aéreas en la Dirección de Aviación Policial, fueron las siguientes:

- Detección y monitoreo de pistas de aterrizaje clandestinas a partir de imágenes de satélite multiespectral.
- Detección y monitoreo de cultivos ilícitos a partir de imágenes de satélite multiespectral.
- Detección y monitoreo de cambios en las áreas de operaciones de la división, a partir de imágenes de satélite multiespectral y de radar de apertura sintética.
- Elaboración de cartografía temática.

### 1.4.2. TELEMATICA S.A.

Las funciones que desarrollado en TELEMATICA S.A. se realizan bajo 2 enfoques, en el área de Customer Success, como Soporte Técnico GIS, y como Especialista de Industria en el Sector Agrícola.

#### **A. Soporte Técnico GIS.** Funciones destacadas:

- Análisis, diagnóstico y solución de incidencias o conflictos presentados por los usuarios relacionadas a las plataformas ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space.
- Orientación del correcto uso y funcionalidad de herramientas y datos disponibles en las plataformas ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space.
- Elaboración de manuales de instalación, licenciamiento y operaciones complementarias relacionadas a las plataformas de ArcGIS y ENVI.

- Elaboración de artículos técnicos sobre descarga, configuración, reparación y activación y operaciones complementarias relacionadas a las plataformas de ArcGIS y ENVI.
- Elaboración de especificaciones técnicas y funcionalidades de las plataformas ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space.
- Elaboración de videos sobre casos relevantes relacionados a soporte técnico, instalación, licenciamiento y buenas prácticas relacionadas a las plataformas ArcGIS, ENVI, Planet y Capella Space.

**B. Especialista de Industria en el Sector Agrícola.** Funciones destacadas:

- Investigación sobre el uso potencial de los sistemas de información geográfica y teledetección en el sector agrícola.
- Materialización de soluciones basadas en necesidades identificadas a lo largo del ciclo de producción en el sector agrícola, a través del sistema de información geográfica y teledetección.
- Elaboración de artículos sobre el desempeño y utilidad de las plataformas GIS comercializadas por TELEMATICA S.A. en el sector agrícola.
- Elaboración de material para presentaciones comerciales sobre las soluciones creadas para el sector.
- Participación en conferencias, webinars y talleres sobre implementación de las plataformas comercializadas por TELEMATICA S.A. en el sector agrícola, en temas de agricultura de precisión.
- Elaboración de cursos de especialización GIS para el sector agrícola, basado en conocimientos avanzados en agricultura de precisión.

## II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

Los derrames de petróleo resultantes de la extracción y el transporte de petróleo en alta mar tienen graves consecuencias ambientales, biológicas, sociales y económicas que amenazan y dañan los ecosistemas marinos (Keramea et al., 2021). La rápida detección y respuesta a estos derrames son cruciales para minimizar su impacto y facilitar la limpieza oportuna. En el caso del mar peruano, una de las principales fuentes de riqueza y biodiversidad, es esencial contar con métodos eficientes para detectar manchas de petróleo y tomar medidas adecuadas en tiempo real.

Actualmente hay tres zonas petroleras de alto impacto: la costa noroccidental en el departamento de Piura (La Brea, Pariñas, Lobitos, El Alto, Talara y los Órganos), el zócalo continental en Piura y Loreto en la Amazonia que distribuye el petróleo en siete refinerías a nivel nacional (Tamayo et al., 2017).

Los derrames ocurren cuando se libera petróleo en las refinerías debido a daños en los oleoductos y plataformas petrolíferas durante el transporte de petróleo, derrames accidentales durante la extracción de petróleo y colisiones o hundimientos de buques petroleros (Keramea et al., 2021). Lamentablemente, la información sobre derrames accidentales suele ser incompleta y, a veces, imprecisa, lo que pone de relieve la necesidad de mejorar la detección y el seguimiento.

Por otro lado, investigaciones recientes han demostrado la efectividad de las imágenes satelitales en la detección de manchas de petróleo en el mar peruano (Velaochaga & Xu, 2019; Capurro et al., 2022).

La detección temprana de manchas de petróleo en el mar peruano permitirá una respuesta rápida y coordinada, facilitando la implementación de medidas de contención y limpieza. Además, este sistema de monitoreo continuo puede servir como una herramienta de

vigilancia a largo plazo para identificar posibles fuentes de contaminación y evaluar el impacto ambiental a lo largo del tiempo.

En conclusión, la detección de manchas de petróleo en el mar peruano a partir de imágenes satelitales es una herramienta fundamental en la conservación del medio ambiente marino y la gestión de derrames de petróleo. La combinación de tecnología satelital y procesamiento de imágenes ofrece una solución eficaz para la detección temprana y el seguimiento de los derrames de petróleo en las costas peruanas. Asimismo, con este proyecto, se busca brindamos una herramienta eficiente para la detección y respuesta oportuna a derrames de petróleo, al mismo tiempo contribuir al manejo sostenible y la conservación de los ecosistemas marinos del mar peruano.

La actividad que se detalla en el presente informe, se enfoca en la detección de manchas de petróleo, para el seguimiento o monitoreo del derrame del mismo, ocurrido en el mar de la costa peruana, ocasionado durante las operaciones de descarga del Buque Tanque Mare Doricum, en las instalaciones del Terminal Multiboyas N° 2, de la refinería La Pampilla S.A.A., a cargo de Repsol, en Ventanilla. Lo cual, derivó en la elaboración de la “Metodología para la detección de manchas de petróleo, y derivados, presentes en el mar” a partir de imágenes multiespectrales de satélite. La presente metodología logró ser expuesta y explicada a entidades como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), La Marina de Guerra del Perú y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

## **2.1. Objetivos**

### **2.1.1. *Objetivo General***

- Detectar manchas de petróleo suspendidas en la costa peruana a partir de imágenes de satélite multiespectrales en momentos específicos.

### **2.1.2. *Objetivo Específico***

- Identificar manchas de petróleo en el mar peruano a partir de valores espectrales y/o firmas espectrales e interpretación visual.
- Calcular la extensión o superficie abarcada por las manchas de petróleo en el mar peruano.
- Definir criterios para la detección de objetos u elementos contaminantes en el mar peruano a través análisis de valores espectrales.

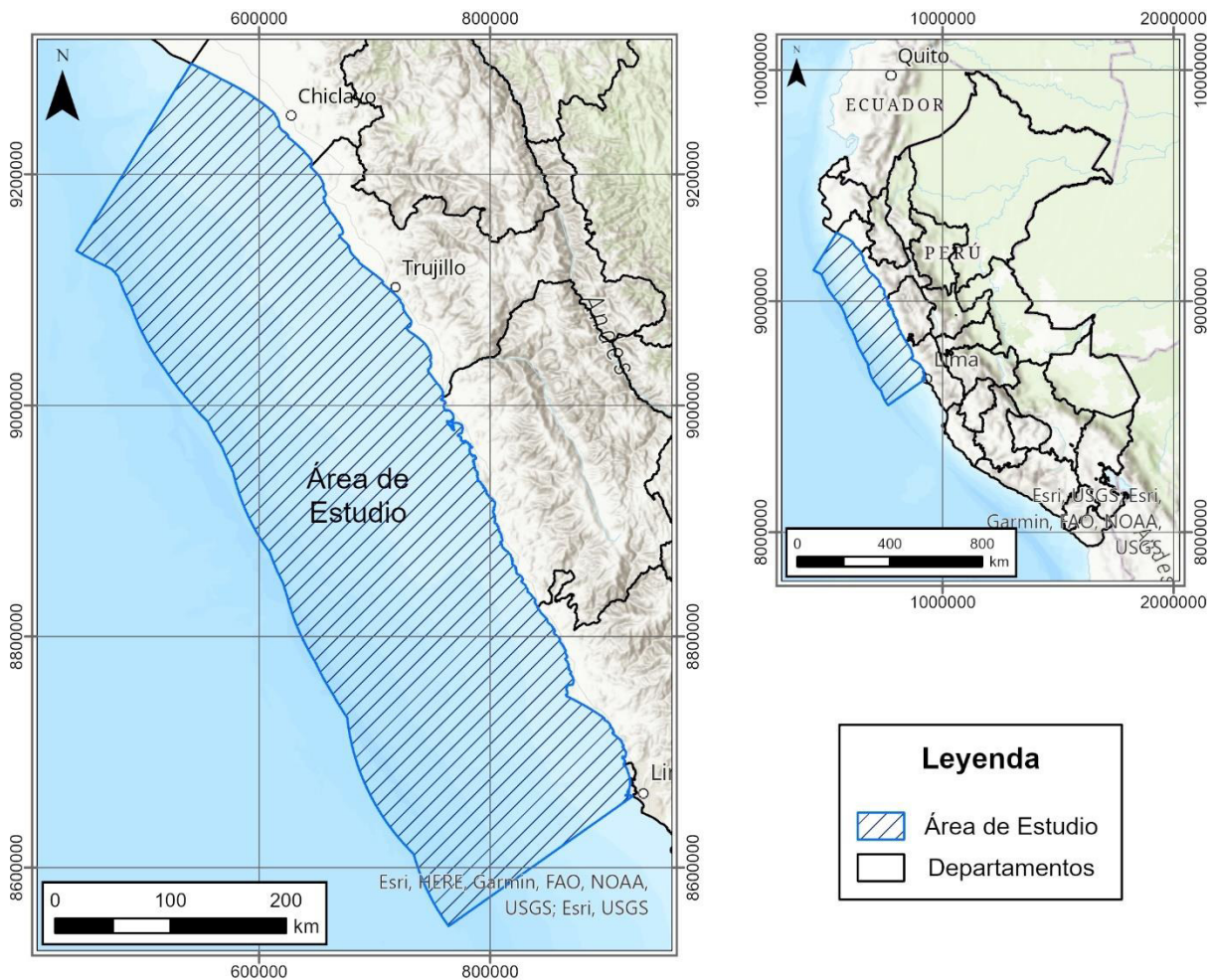
## **2.2. Área de estudio**

### **2.2.1. *Ubicación geográfica***

La superficie del mar peruano considerada para el análisis en la iniciativa, se encuentra delimitada de la siguiente forma:

- Por el Norte: Extremo Norte de la Provincia de Lambayeque, en el departamento de Lambayeque.
- Por el Sur: Extremo Sur de la Provincia constitucional del Callao.
- Por el Este: Costa Peruana.
- Por el Oeste: Océano Pacífico a una distancia de 190 km de la costa peruana.

Abarcando una extensión aproximada de  $139,505.83 \text{ km}^2$ . En la figura 2, se aprecia la ubicación geográfica del área de estudio.

**Figura 2***Mapa de ubicación del área de estudio*

*Nota.* Superficie del mar peruano considerado como área de estudio.

### 2.3. Áreas Naturales Protegidas

El servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas (SERNANP) dio a conocer que el petróleo vertido en el mar peruano había llegado hasta las áreas protegidas Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras. (Praeli, 2022)

La Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras se estableció en diciembre de 2009, a partir del decreto supremo N° 024-2009-MINAM, como la primera red

de áreas naturales protegidas en América del Sur. La reserva está formada por 22 islas y 11 puntas que albergan aves guaneras en toda la costa del Perú con una superficie de 140 833, 47 hectáreas de islas, costa y océano. (SERNANP, 2019)

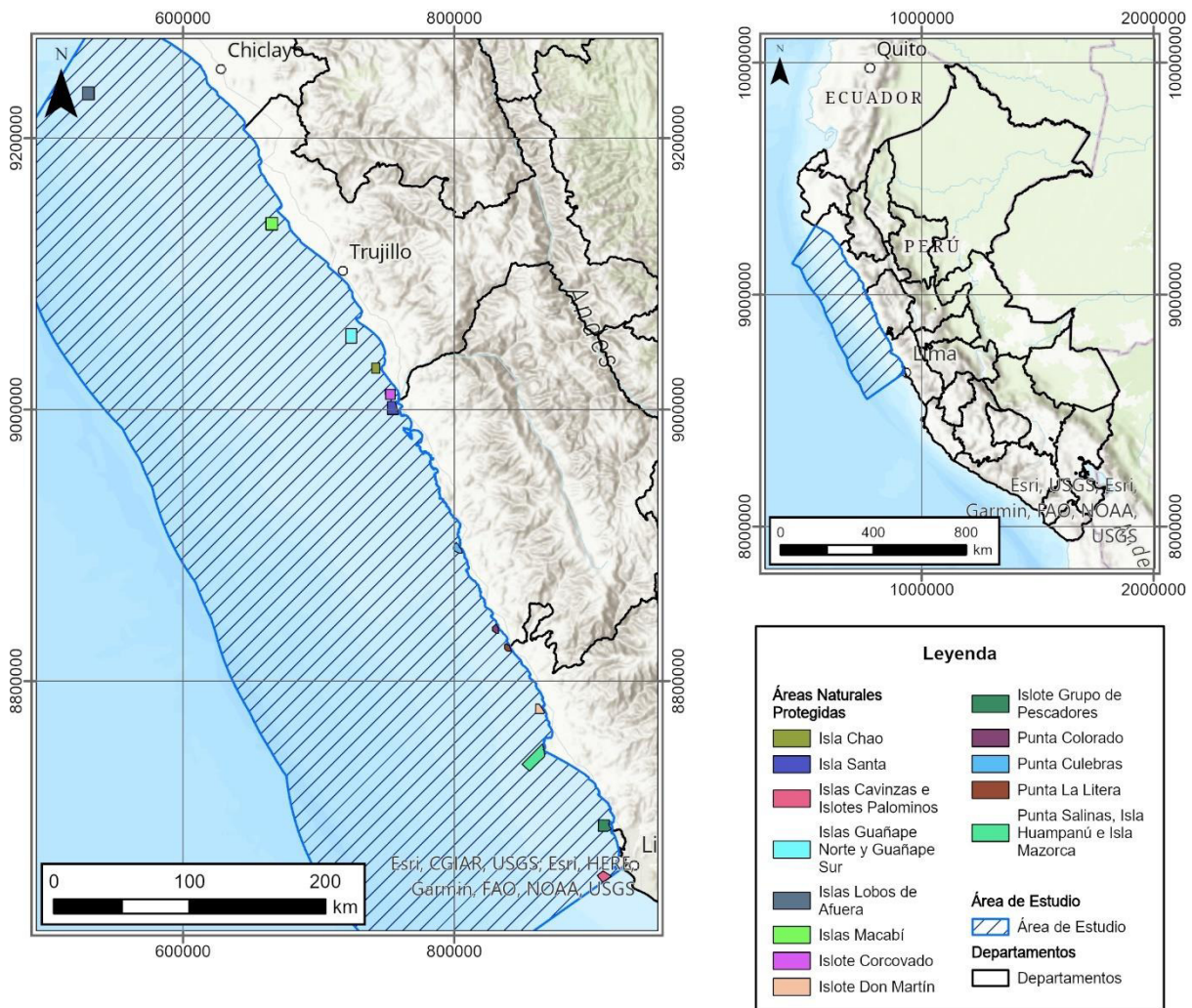
Las Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras ubicadas dentro del área de estudio son las siguientes:

- Punta Culebras
- Isla Santa
- Punta Colorado
- Punta La Litera
- Islote Don Martín
- Islote Grupo de Pescadores
- Islas Cavinzas e Islotes Palominos
- Islas Lobos de Afuera
- Islas Macabí
- Islas Guañape Norte y Guañape Sur
- Isla Chao
- Islote Corcovado
- Punta Salinas, Isla Huampanú e Isla Mazorca

En la figura 3, se aprecia la ubicación geográfica de las áreas naturales protegidas dentro del área de estudio.

**Figura 3**

*Mapa de áreas naturales protegidas comprendidas en el área de estudio*



*Nota.* Áreas naturales protegidas que podrían ser afectadas por las manchas de petróleo.

#### 2.4. Recopilación de datos:

La presente actividad se basó en análisis de información espacial y espectral, por lo cual, se procedió a recopilar imagen de satélite multiespectrales, con las bandas espectrales necesarias para el análisis, que abarquen el área comprendida por Área de Estudio. Como resultado se obtuvieron las imágenes descritas en la Tabla 1.

**Tabla 1:***Lista de imágenes utilizadas en la iniciativa*

Ítem	Misión	Fecha de adquisición (AA-MM-DD)	Nombre del Archivo
1	Sentinel-2A	2022- 01-15	S2A_MSIL2A_20220115T151711_N0301_ R125_T18LTM_20220115T185825.SAFE
2	Sentinel-2A	2022-01-18	S2A_MSIL2A_20220118T152641_N0301_ R025_T17LRH_20220118T194213.SAFE
3	Sentinel-2A	2022-01-18	S2A_MSIL2A_20220118T152641_N0301_ R025_T18LTM_20220118T194213.SAFE
4	Sentinel-2A	2022-01-18	S2A_MSIL2A_20220118T152641_N0301_ R025_T18LTN_20220118T194213.SAFE
5	Sentinel-2A	2022-01-25	S2A_MSIL2A_20220125T151701_N0400_ R125_T17LRG_20220125T200344.SAFE
6	Sentinel-2A	2022-01-25	S2A_MSIL2A_20220125T151701_N0400_ R125_T18LTM_20220125T200344.SAFE
7	Sentinel-2A	2022-01-25	S2A_MSIL2A_20220125T151701_N0400_ R125_T18LTN_20220125T200344.SAFE
8	PlanetScope	2022-01-25	PS_20220125_psscene_analytic_sr_udm2
9	Landsat-8	2022-02-01	LC08_L1TP_007068_20220201_20220201_ 02_RT
10	PlanetScope	2022-02-01	PS_20220201_psscene_analytic_sr_udm2
11	Sentinel-2B	2022-02-02	S2B_MSIL2A_20220202T152639_N0400_R 025_T17LRH_20220202T201134.SAFE

---

12	Sentinel-2B	2022-02-02	S2B_MSIL2A_20220202T152639_N0400_R025_T18LTM_20220202T201134.SAFE
13	Sentinel-2B	2022-02-02	S2B_MSIL2A_20220202T152639_N0400_R025_T18LTN_20220202T201134.SAFE
14	PlanetScope	2022-02-02	PS_20220202_psscene_analytic_sr_udm2
15	Sentinel-2A	2022-02-07	S2A_MSIL2A_20220207T152641_N0400_R025_T17LPJ_20220209T133108.SAFE
16	Sentinel-2B	2022-02-12	S2B_MSIL2A_20220212T152639_N0400_R025_T17LRJ_20220212T200049.SAFE
17	PlanetScope	2022-02-12	PS_20220212_psscene_analytic_sr_udm2
18	Sentinel-2B	2022-02-22	S2B_MSIL2A_20220222T152639_N0400_R025_T17LRH_20220222T200000.SAFE
19	Landsat-9	2022-02-23	LC09_L1TP_009067_20220223_20220223_02_T1
20	Landsat-8	2022-03-03	LC08_L1TP_009066_20220303_20220303_02_RT
21	PlanetScope	2022-03-03	PS_20220223_psscene_analytic_sr_udm2
22	Sentinel-2A	2022-03-12	S2A_MSIL2A_20220312T153621_N0400_R068_T17LNL_20220312T202402.SAFE
23	Sentinel-2A	2022-03-12	S2A_MSIL2A_20220312T153621_N0400_R068_T17MNM_20220312T202402.SAFE
24	Sentinel-2A	2022-03-12	S2A_MSIL2A_20220312T153621_N0400_R068_T17MNN_20220312T202402.SAFE

---

*Nota.* Se consideraron imágenes multiespectrales con bandas en la región del infrarrojo de onda corta (SWIR) para el análisis espectral, e imágenes de alta resolución como apoyo visual. La

elección de las imágenes estuvo condicionado a las condiciones meteorológicas de la superficie.

## **2.5. Marco Teórico**

### **2.5.1. Sistema de Información Geográfica (GIS).**

Un GIS, se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para capturar, almacenar, analizar, transformar y representar toda la información geográfica y sus atributos. Es una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Romero, 2018).

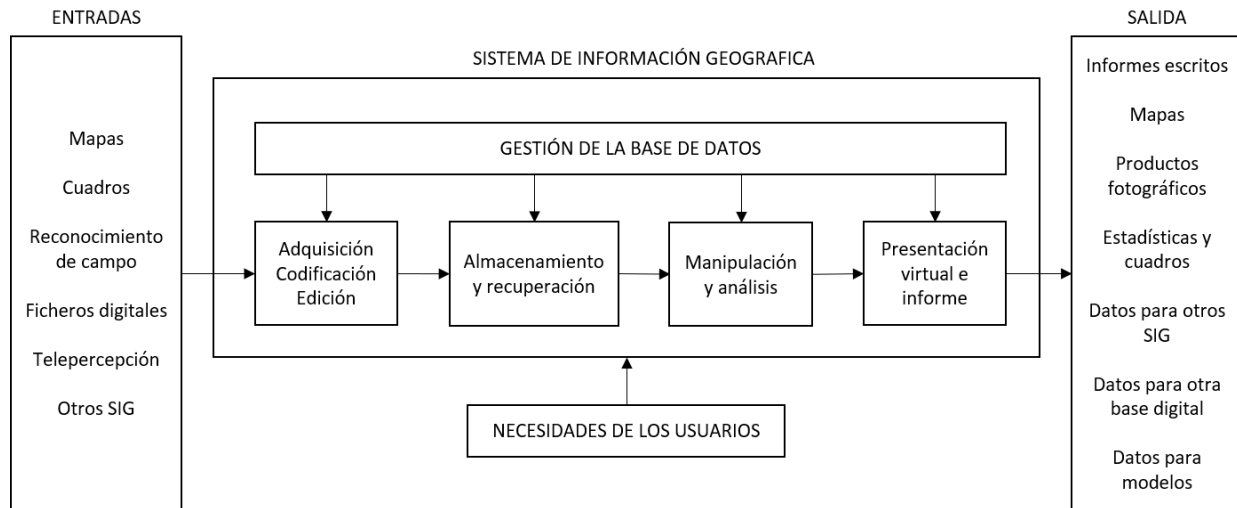
Según Olaya (2014) un GIS, permitir la realización las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas, hasta la elaboración de modelos complejos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la ubicación de cada valor o elemento), como, sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc (p.7).

La figura 4, muestra la estructura de un sistema de información geográfica.

**Figura 4**

*Estructura del Sistema de Información Geográfica.*



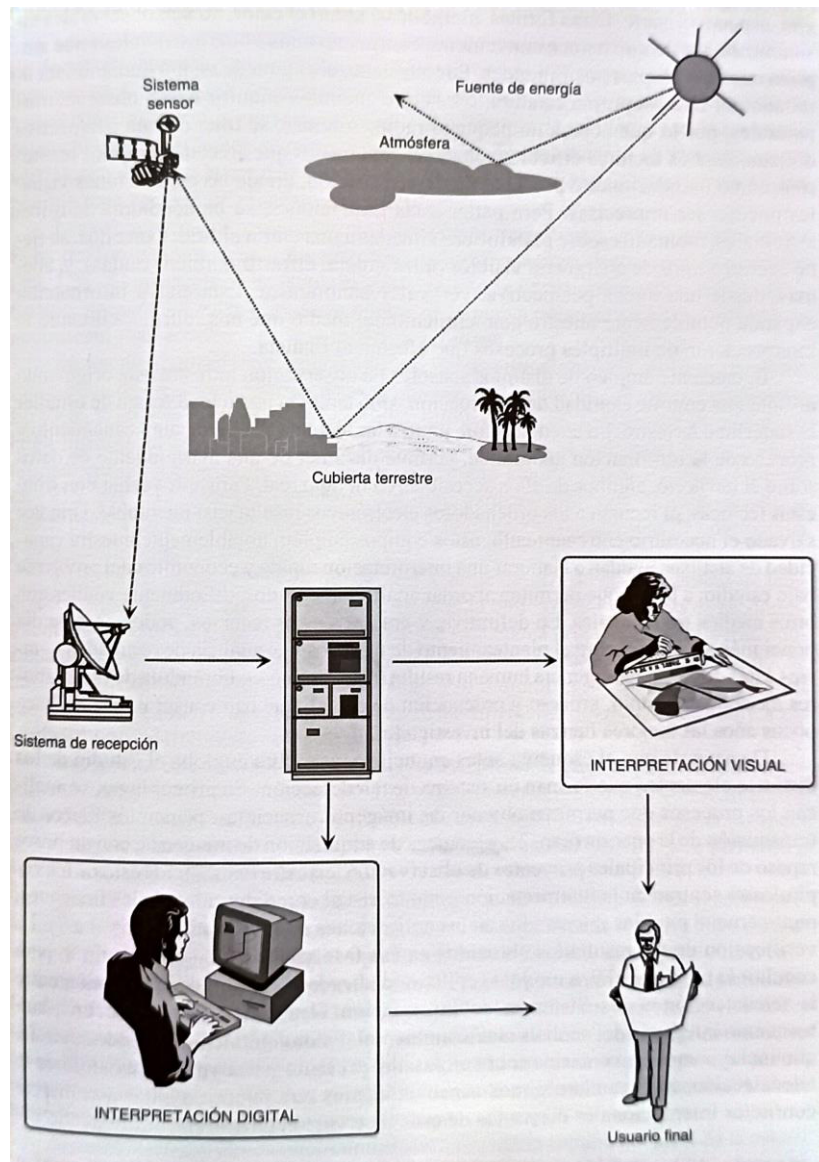
*Nota.* Adaptado del *Diagrama de sistemas que ilustra un SIG*, por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f., FAO (<https://www.fao.org/3/t0446s/T0446S07.htm>)

### 2.5.2. Teledetección.

Según Chuvieco (2010) la teledetección o percepción remota, es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre, a través de sensores aéreos o espaciales, a distancia, sin que haya un contacto material con la superficie, considerando, que entre la superficie y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, permitiendo el estudio y medida de las características, elementos o coberturas presentes en la superficie terrestre. Como se muestra en la Figura 5, un sistema de teledetección espacial, está compuesto por los siguientes elementos:

- Una fuente de energía, es la fuente de la radiación electromagnética, esta puede ser de origen natural o artificial.

- Cubierta terrestre, puede estar compuesta por distintas por distintas superficies, como, vegetación, suelo, agua o construcciones humanas que interaccionan con la radiación.
- Sistema sensor, compuesto por el sensor y la plataforma que lo alberga. Tiene el objetivo de captar la energía reflejada por la cubierta terrestre, codificarla y registrarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción-comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se registra en un formato apropiado, se realizan las correcciones apropiadas, y luego se distribuye a los interesados.
- Interprete, extrae y convierte esos datos en información temática de interés, ya sea bajo procedimientos visuales o digitales, con el objetivo de contribuir con la evaluación del problema en estudio.
- Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como la toma de decisión que se derivan de él.

**Figura 5***Sistema de teledetección espacial*

*Nota.* Adaptado de TELEDETECCIÓN AMBIENTAL (edición nº1, p.19), por Emilio Chuvieco, 2010, Ariel.

**A. Fundamentos Físicos.** La teledetección, tiene como base fundamental a conceptos enfocados en la radiación, y su interacción con la materia (objetos y/o coberturas presentes en la superficie terrestre), estos conceptos son importantes para entender la manera en la cual se generan las imágenes o escenas, a través del registro de la radiación reflejada por la superficie, a partir de sensores transportados en plataformas espaciales o aéreas (Olaya, 2014; Velaochaga & Xu, 2019).

#### *A1. Radiación electromagnética*

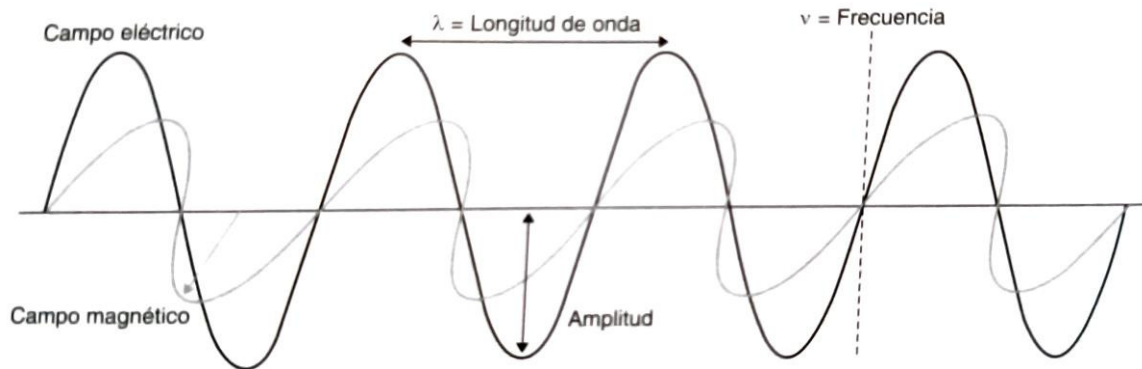
Según la teoría ondulatoria:

La energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí, eléctrico y magnético (...). Las características de este flujo energético pueden describirse por dos elementos: longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $\nu$ ). La primera hace referencia a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda, mientras que la frecuencia designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo. (Chuvienco, 2010, págs. 44-45)

La Figura 6 describe el comportamiento y los elementos presentes en una onda electromagnética.

### Figura 6

*Esquema de una onda electromagnética*



*Nota.* Adaptado de TELEDETECCIÓN AMBIENTAL (edición n°1, p.45), por Emilio Chuvieco, 2010, Ariel.

### A2. Espectro Electromagnético

La sucesión de valores de longitud de onda es continua, y suele establecerse y agruparse en una serie de bandas, en las cuales, la radiación electromagnética manifiesta comportamientos similares, la organización de estas bandas se denomina espectro electromagnético. Como de muestra en la Figura 7, el espectro electromagnético comprende desde la longitud de onda más cortas, hasta kilométricas (Chuvieco, 2010).

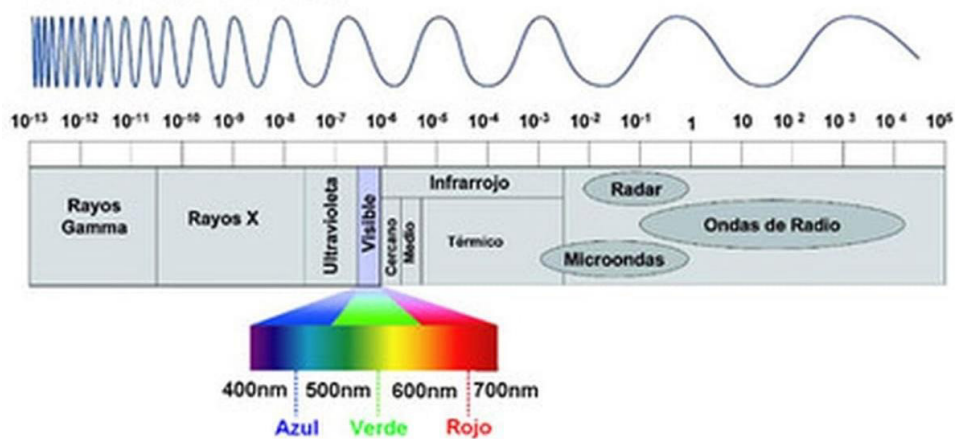
Según Chuvieco (2010) desde el punto de la teledetección, conviene destacar la importancia de ciertas bandas espectrales:

- Espectro visible (0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$ ). Abarca la radiación electromagnética que el ojo humano puede percibir. En esta región del espectro, resalta la presencia de tres

bandas elementales, que se denominan azul (A: 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$ ), verde (V: 0,5 – 0,6  $\mu\text{m}$ ), y rojo (R: 0,6 – 0,7  $\mu\text{m}$ ). • Infrarrojo cercano (IRC: 0,7 – 1,2  $\mu\text{m}$ ). Esta región es útil para discriminar cobertura vegetal y concentraciones de humedad. • Infrarrojo medio. En esta región se entre mezclan los procesos de reflexión de la radiación solar y emisión de la superficie terrestre. En el primer caso, se denomina como infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared – SWIR), situado entre 1,2 y 2,5  $\mu\text{m}$ , útil para estimar el contenido de humedad en la vegetación o suelos. Para el segundo caso, se denomina como infrarrojo medio (IRM), situado entre los 2,5 y 8  $\mu\text{m}$ , útil para identificar focos de altas temperaturas y estimación de algunos gases atmosféricos. • Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 – 14  $\mu\text{m}$ ). incluye la porción emisiva del espectro terrestre, útil para detectar el calor proveniente de la mayor parte de las coberturas presentes en la superficie terrestres. • Microondas (M, por encima de 1 mm). Destaca por ser un tipo de energía capas de traspasar la cobertura nubosa. (p.46)

**Figura 7**

*Espectro electromagnético*



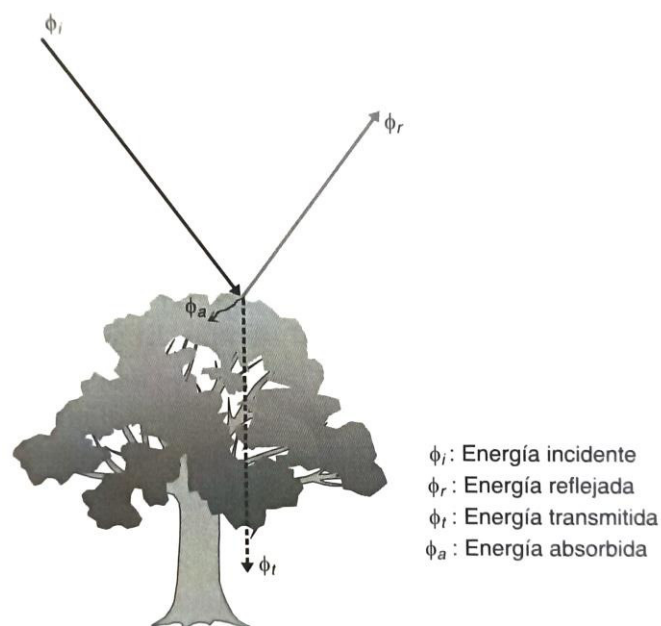
*Nota.* Esquema de las regiones que forman parte del espectro electromagnético. Adaptado de *Espectro electromagnético*, por Christian Hagedorn, 2023, Vilap (<https://www.vilab.cl/p/espectro-electromagnetico>)

### A3. *Interacción entre radiación y materia*

Según Chuvieco (2010) para detectar una cubierta por medio de la teledetección, es preciso explicar, cómo interactúa la superficie con la radiación solar incidente. En este sentido, es importante mencionar que el flujo incidente ( $\phi_i$ ) puede descomponerse en tres términos: flujo reflejado ( $\phi_r$ ), flujo absorbido ( $\phi_a$ ), y flujo transmitido ( $\phi_t$ ). La Figura 8 remarca el comportamiento del flujo incidente con los objetos presentes en la superficie terrestre.

#### **Figura 8**

*Descomposición del flujo de radiación solar*



*Nota.* Adaptado de TELEDETECCIÓN AMBIENTAL (edición n°1, p.54), por Emilio Chuvieco, 2010, Ariel.

### 2.5.2. Misiones exploratorias

**A. Sentinel-2.** “Es una misión europea de imágenes multispectrales de gran alcance y alta resolución (...) Lleva una carga útil de instrumentos ópticos que muestra 13 bandas espectrales (...) Tiene el objetivo de proporcionar datos de observación para la generación de productos operativos, como mapas de cobertura del suelo, mapas de detección de cambio de tierra y variables geofísicas” (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, s.f.). La Tabla 2 muestra las características del sensor transportado por la misión Sentinel-2

**Tabla 2**

*Información de las bandas espectrales de la misión Sentinel-2*

Nº	Bandas	Resolución (m)	S2A		S2B	
			Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)
1	Costal aerosol	60	442,7	21	442,2	21
2	Blue	10	492,4	66	492,1	66
3	Green	10	559,8	36	559	36
4	Red	10	664,6	31	664,9	31
5	Vegetation red edge 1	20	704,1	15	703,8	16
6	Vegetation red edge 2	20	740,5	15	739,1	15
7	Vegetation red edge 3	20	782,8	20	779,7	20
8	NIR 1	10	832,8	106	832,9	106

8A	NIR 2	20	864,7	21	864	22
9	Water vapour	60	945,1	20	943,2	21
10	SWIR - Cirrus	60	1373,5	31	1376,9	30
11	SWIR 1	20	1613,7	91	1610,4	94
12	SWIR 2	20	2202,4	175	2185,7	185

*Nota.* Adaptado de *Table 1: Wavelengths and Bandwidths of the three Spatial Resolutions of the MSI instruments*, por THE EUROPEAN SPACE AGENCY, s.f., Sentinel Online (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>)

**B. Programa Landsat.** Es un programa de imágenes multiespectrales de resolución media, impulsado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), y cuentan con un catálogo amplio de observaciones de la Tierra a nivel global (GOBIERNO DE ESPAÑA, s.f.).

Como menciona el GOBIERNO DE ESPAÑA (s.f.) los últimos satélites lanzados por el programa Landsat, son los Landsat 8 y 9. Los sensores con los que cuenta estos satélites son el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), dando un total de 11 bandas espectrales, con una resolución 15, 30 y 100 metros de resolución, abarcando las regiones desde el espectro visible, hasta el infrarrojo de onda corta, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3***Bandas espectrales e información complementaria de los satélites Landsat 8 y 9*

N°	Sensor	Resolución (m)	Banda	Longitud de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Ancho de banda ( $\mu\text{m}$ )
1	OLI	30	Coastal/Aerosol	0,443	0,020
2	OLI	30	Blue	0,483	0,065
3	OLI	30	Green	0,563	0,075
4	OLI	30	Red	0,655	0,050
5	OLI	30	Near Red	0,865	0,040
6	OLI	30	SWIR 1	1,610	0,100
7	OLI	30	SWIR 2	2,200	0,200
8	OLI	15	Panchromatic	0,590	0,180
9	OLI	30	Cirrus	1,375	0,030
10	TIR	100/30	TIR 1	10,800	1,000
11	TIR	100/30	TIR 2	12,000	1,000

*Nota.* Los satélites Landsat-8 y Landsat-9 cuentan con sensores con las mismas características.

Adaptado de *LANDSAT 8 BANDS*, por Charlie Loyd, 2013, Landsat Science (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/landsat-8-bands/>)

**C. PlanetScope.** Es una constelación con la capacidad de observar la superficie terrestre con una frecuencia diaria, actualmente las imágenes que viene registrando la constelación tienen una resolución aproximada de 3 metros, y cuentan un total de 8 bandas, abarcando las regiones a lo largo, desde el espectro visible hasta el infrarrojo cercano, del

espectro electromagnético (Planet, 2023). PlanetScope actualmente cuenta 8 bandas espectrales como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Bandas espectrales e información complementaria de la misión PlanetScope*

N°	Bandas	Resolución (m)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)
1	Coastal Blue	3	441,5	21
2	Blue	3	490	50
3	Green I	3	531	36
4	Green II	3	565	36
5	Yellow	3	610	20
6	Red	3	665	30
7	Red - Edge	3	705	16
8	NIR	3	865	40

*Nota.* Adaptado de *Table 3-E: PlanetScope Analytic Ortho Scene Product Attributes*, por

Planet, PLANETSCOPE PRODUCT SPECIFICATIONS  
([https://assets.planet.com/docs/Planet\\_PSScene\\_Imagery\\_Product\\_Spec\\_letter\\_screen.pdf](https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf))

### 2.5.3. *Petróleo*

El petróleo, actualmente, es una de las fuentes más importantes de energía, está conformado por compuestos orgánicos, principalmente por hidrocarburos insolubles en agua, no se tiene precisión sobre los procesos químicos comprometidos en su formación, pero se tiene conocimiento que dichos procesos se realizan en el interior de la Tierra, suele acumularse

en trampas geológicas naturales, de donde se extrae mediante la perforación de pozos (Huaracha Vilchez, 2018).

**A. Impactos de los derrames de petróleo en el mar peruano.** Si bien es cierto, el petróleo y sus derivados han demostrado ser parte fundamental para el desarrollo de actividades económicas, pero, este al ser vertido accidentalmente en el ambiente por prácticas inadecuadas, puede llegar a ser extremadamente perjudicial para la biodiversidad presente en la zona afectada, como se muestra en la Figura 9 y Figura 10. Con respecto a ello Gonzales (2022) afirma lo siguiente:

Nuestra sociedad es enteramente dependiente de combustibles fósiles, entre ellos el petróleo. Gracias al petróleo se fabrica la gasolina y derivados (...). Sin embargo, cuando este petróleo cae en el agua o se mezcla con el suelo de las playas se vuelve un contaminante peligroso. La consistencia aceitosa del petróleo hace que flote sobre el agua, impidiendo que pase la luz solar. Se vuelve una trampa para los seres vivos; matando peces, invertebrados, aves y mamíferos marinos. Un derrame de petróleo en el mar es un desastre ecológico. Daña completamente los ecosistemas marino-costeros y cancela el estilo de vida de los pescadores, operadores turísticos y personas dependientes de la playa. Zonas en las que se podía pescar, estarán sin peces por mucho tiempo. Aves y mamíferos marinos tendrán una muerte lenta por intoxicación e hipotermia. Áreas protegidas como la zona reservada de Ancón y la reserva nacional del sistema de islas, islotes y puntas guaneras estarán severamente afectadas.

**Figura 9**

*Petróleo suspendido en el mar de la costa peruana.*



*Nota. Adaptado de IMPACTO. A casi un mes del derrame de más de 10.000 barriles de petróleo, la limpieza continúa -principalmente- en playas de Ventanilla y Ancón, por Marco Garro, 2022, OJO PUBLICO (<https://ojo-publico.com/3295/el-derrame-repsol-expone-los-vacios-la-fiscalizacion>)*

**Figura 10**

*Impacto del derrame de petróleo en la zona marina costera de Ventanilla.*



*Nota.* Adaptado de *Nota de prensa*, por Instituto del Mar del Perú, 2022, Plataforma digital única del Estado Peruano (<https://www.gob.pe/institucion/imarpe/noticias/577662-imarpe-realiza-evaluacion-biologico-ambiental-en-zona-marina-costera-de-ventanilla-afectada-por-derrame-de-petroleo>)

## **2.6. Metodología y análisis**

Para la detección de manchas de petróleo y derivados, a partir de imágenes multiespectrales, se recurrió a un análisis con un enfoque visual y espectral de manera conjunta. Opté por la utilización de los productos de las misiones Landsat-8, Landsat-9 y Sentinel-2, ya que estas cuentan con resoluciones espectrales, espaciales y temporales adecuadas, a comparación de otras misiones de adquisición libre. Así mismo, también utilicé imágenes de

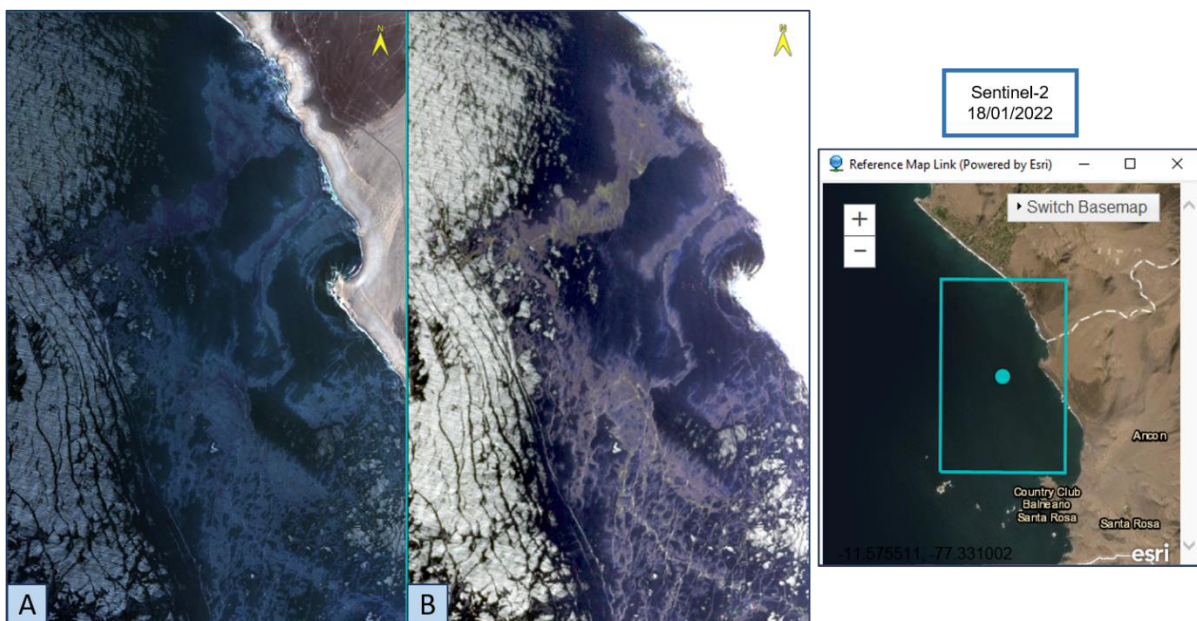
la misión PlanetScope como apoyo visual, debido a su alta resolución espacial. A continuación, se detallan los enfoques utilizados en la metodología:

### 2.6.1. *Análisis visual*

El análisis visual se basa en ubicar, identificar y discriminar distintos objetos o coberturas presentes en una imagen de satélite de manera visual, a partir de combinaciones de banda, ajustes de histogramas, o realces de brillo y contraste, que favorezcan la visualización y discriminación de la mancha de petróleo de otras superficies, como se muestra en la Figura 11, así mismo, también se pueden integrar imágenes de alta resolución espacial, que faciliten la interpretación visual, como se muestra en la Figura 12.

#### **Figura 11**

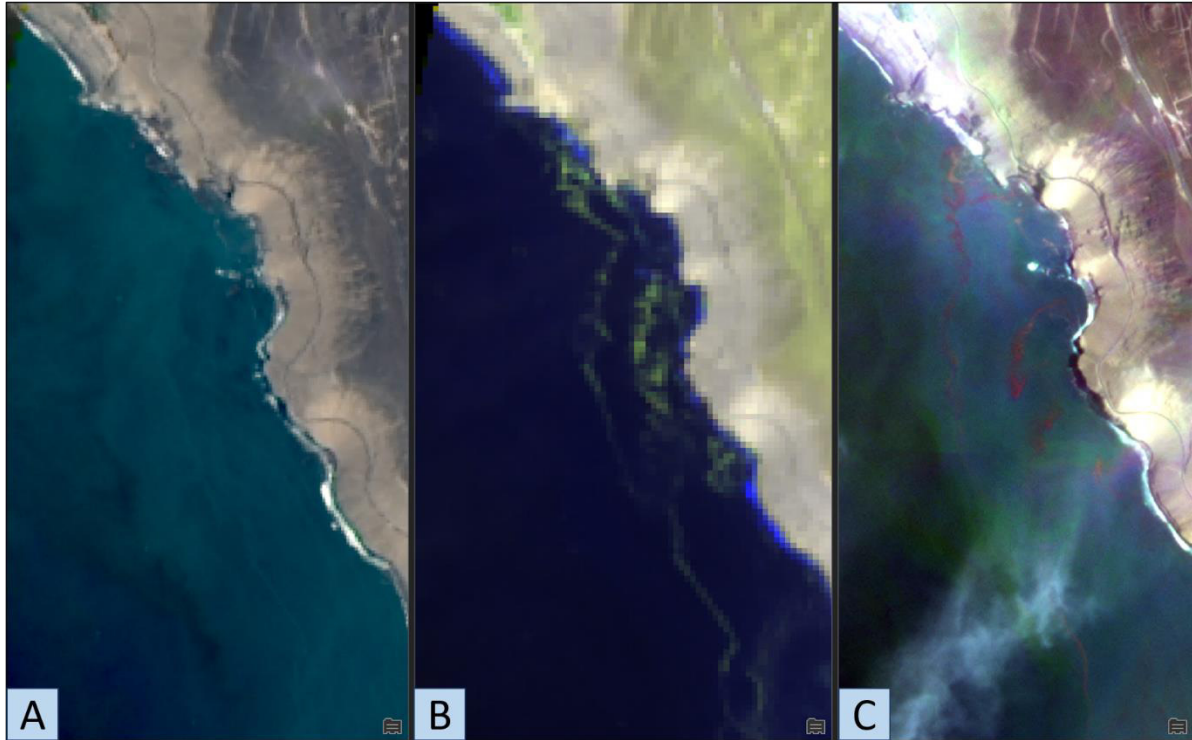
*Mancha de petróleo identificada en Imagen Sentinel-2 adquirida el 18/01/2022*



*Nota.* Identificación de mancha de petróleo suspendida en el mar a nivel visual.

## Figura 12

*Mancha de petróleo identificada en imágenes Landsat-8 y PlanetScope adquiridas el 01/02/2022*



*Nota.* En la imagen A, se muestra una imagen Landsat-8 en verdadero color, que por el tamaño de pixel, no se aprecia fácilmente la mancha de petróleo; en la imagen B, se muestra la misma imagen Landsat-8, utilizando las bandas SWIR y Blue, logrando visibilizar la presencia de petróleo; y en la imagen C, se muestra una imagen PlanetScope en verdadero color, que gracias a su alta resolución espacial, se logra apreciar fácilmente la presencia de petróleo suspendido en el mar.

### 2.6.2. *Análisis espectral*

El análisis espectral se basa en ubicar, identificar y discriminar objetos o coberturas a partir del análisis de los valores espectrales, o de reflectancia superficial, registrados en cada uno de los píxeles que conforman a la imagen de satélite. Para ello, es importante realizar un

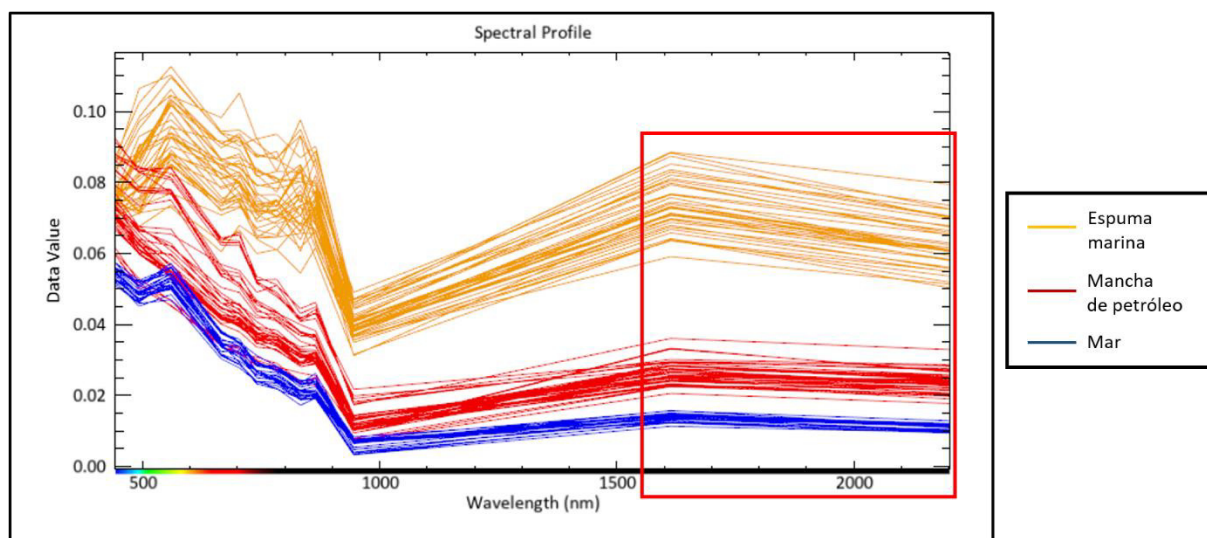
muestreo de valores espectrales de las coberturas presentes en la imagen, que para este caso son: el mar, la mancha de petróleo y la espuma marina,

A partir de lo mencionado, logré identificar que la mancha de petróleo presenta una diferencia marcada de valores de reflectancia en la región del infrarrojo de onda corta (SWIR), del espectro electromagnético (EEM), a comparación del resto de coberturas presentes, esto hace posible discriminar la mancha de petróleo del resto coberturas presentes en el mar con mayor facilidad. No obstante, también identifiqué que, en otras regiones del espectro electromagnético, existe un traslape considerable o una diferencia no relevante en los valores de reflectancia.

La Figura 13 muestra las coberturas o elementos presentes en una de las imágenes de satélite analizadas, a las cuales, se les extrajeron valores de reflectancia a partir de muestras, con el objetivo de analizar la reflectancia superficial a lo largo del espectro electromagnético, a través de un software para análisis espectral, como se puede observar en la Figura 14. Cabe resaltar que el conjunto de valores espectrales o de reflectancia superficial, a lo largo del espectro, se le conoce como firma espectral.

**Figura 13***Coberturas presentes en el mar*

*Nota.* Imagen multiespectral de satélite de la misión Sentinel-2, con fecha de adquisición 18/01/2022, la imagen se encuentra en una combinación de bandas en verdadero color.

**Figura 14***Firmas espectrales de las coberturas presentes en el mar*

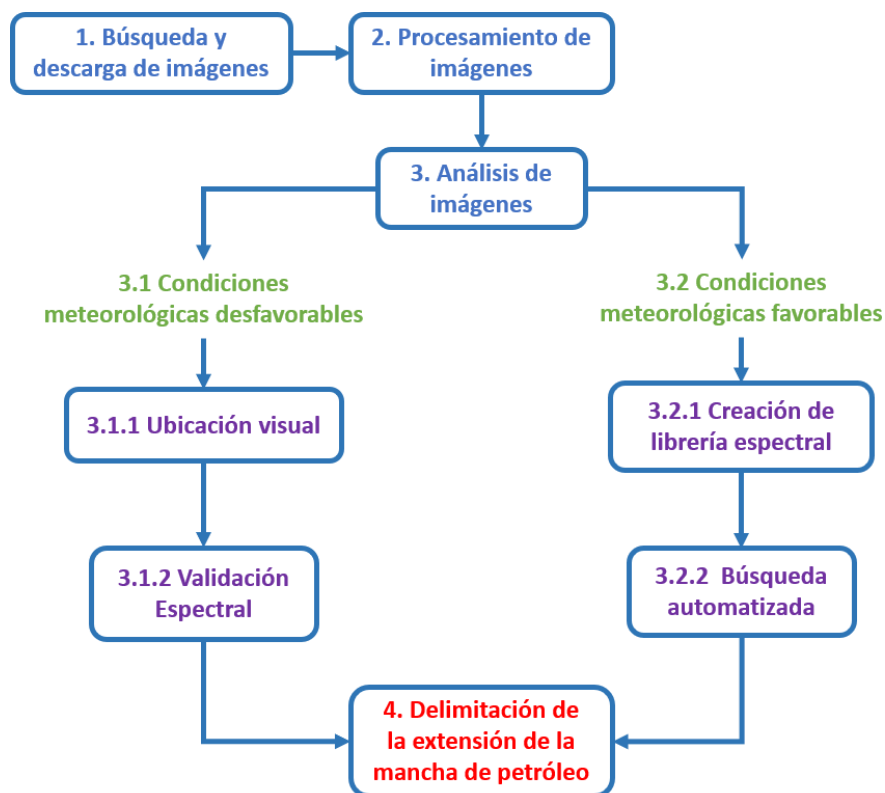
*Nota.* Valores de reflectancia superficial, o firmas espectrales, de los tres elementos analizados a lo largo de las bandas disponibles en la imagen adquirida por el satélite Sentinel-2, el cuadro rojo resalta los valores en la región del infrarrojo de onda corta (SWIR).

## 2.7. Flujo de trabajo

La presente metodología, abarca desde la búsqueda y descarga de imágenes útiles para la tarea, su procesamiento, y posterior análisis, visual y espectral, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas presentes en la imagen, culminando con la detección y delimitación de la mancha de petróleo. La metodología sigue el flujo de trabajo descrito en la Figura 15.

**Figura 15**

*Esquema de la Metodología para la Detección de manchas de petróleo, y derivados, presentes en el mar*



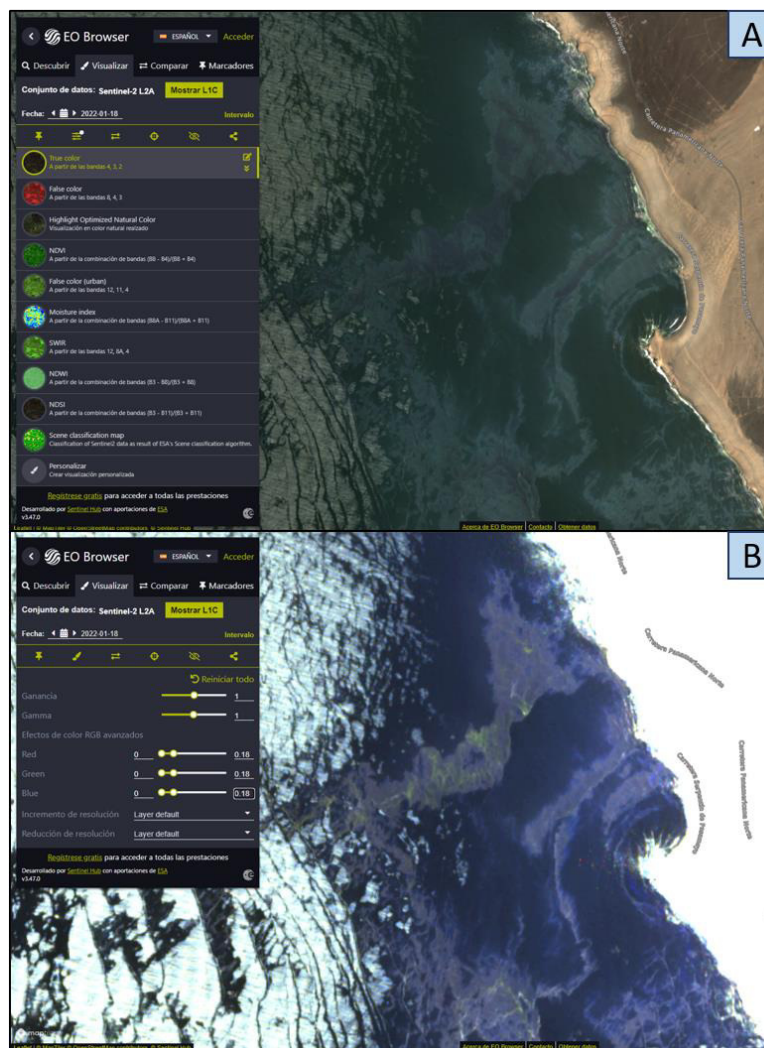
*Nota.* La imagen muestra el flujo de la metodología para la detección de manchas de petróleo presentes en el mar.

### 2.7.1. Búsqueda y descarga de imágenes

Realicé la búsqueda de imágenes mediante la plataforma EO Browser, la cual permite visualizar imágenes obtenidas de distintas misiones, entre ellas Landsat-8, Landsat-9 y Sentinel-2. La plataforma EO Browser permite realizar un análisis visual preliminar del contenido de la imagen con ayuda de herramientas de visualización, identificando la utilidad de esta, como se muestra en la Figura 16.

**Figura 16**

*Análisis visual preliminar a partir del navegador EO Browser*



*Nota.* En la imagen A, se visualiza la imagen multiespectral en combinación de bandas en verdadero color; en la imagen B, se visualiza la misma imagen, pero utilizando las bandas del SWIR y NIR, estas bandas demuestran ser de utilidad para resaltar la presencia de la mancha de petróleo.

Una vez identificadas las imágenes útiles; para el caso de las imágenes Sentinel-2, las descargas se realizaron desde la plataforma de la ESA Copernicus; para el caso de las imágenes Landsat 8 y 9, las descargas se realizaron desde la plataforma de la USGS Earthexplorer; y para el caso de las imágenes PlanetScope, las descargas se realizaron desde la plataforma Planet Explorer.

### ***2.7.2. Procesamiento de Imágenes***

Las misiones Sentinel, Landsat y PlanetSope ponen a disposición productos con distintos niveles de procesamiento desde sus respectivas plataformas. Utilicé principalmente los productos que ya cuentan con correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas aplicadas, pero para los casos en que dichos productos no se encontraban disponibles, opté por los productos con un nivel de procesamiento básico, para posteriormente, realizar las correcciones de manera manual con la utilización de un software especializado para estas tareas.

### ***2.7.3. Análisis de Imágenes***

La ejecución del análisis se vio limitada por las condiciones meteorológicas presentes en el momento de la toma de la imagen por parte de los sensores, creando 2 escenarios:

**A. Condiciones meteorológicas desfavorables.** Se considera condiciones atmosféricas desfavorables cuando la imagen de satélite presenta una capa de bruma, que puede llegar a alterar los valores espectrales de los píxeles de la imagen, o en que en gran medida

puede llegar a dificultar la visualización de los elementos en la superficie, en este caso de elementos suspendidos en el mar.

**A1. Ubicación Visual.** En este escenario realicé un recorrido en toda la extensión de la imagen, ubicando indicios de la presencia de manchas de petróleo, utilizando combinaciones bandas útiles, ajustes de histogramas o realces de brillo y contraste, patrones de forma y color, que favorezcan la visualización y discriminación de la mancha de petróleo de otras coberturas, a través de un software especializado para estas tareas, como se muestra en la Figura 17.

### Figura 17

*Ubicación visual de una posible mancha de petróleo*



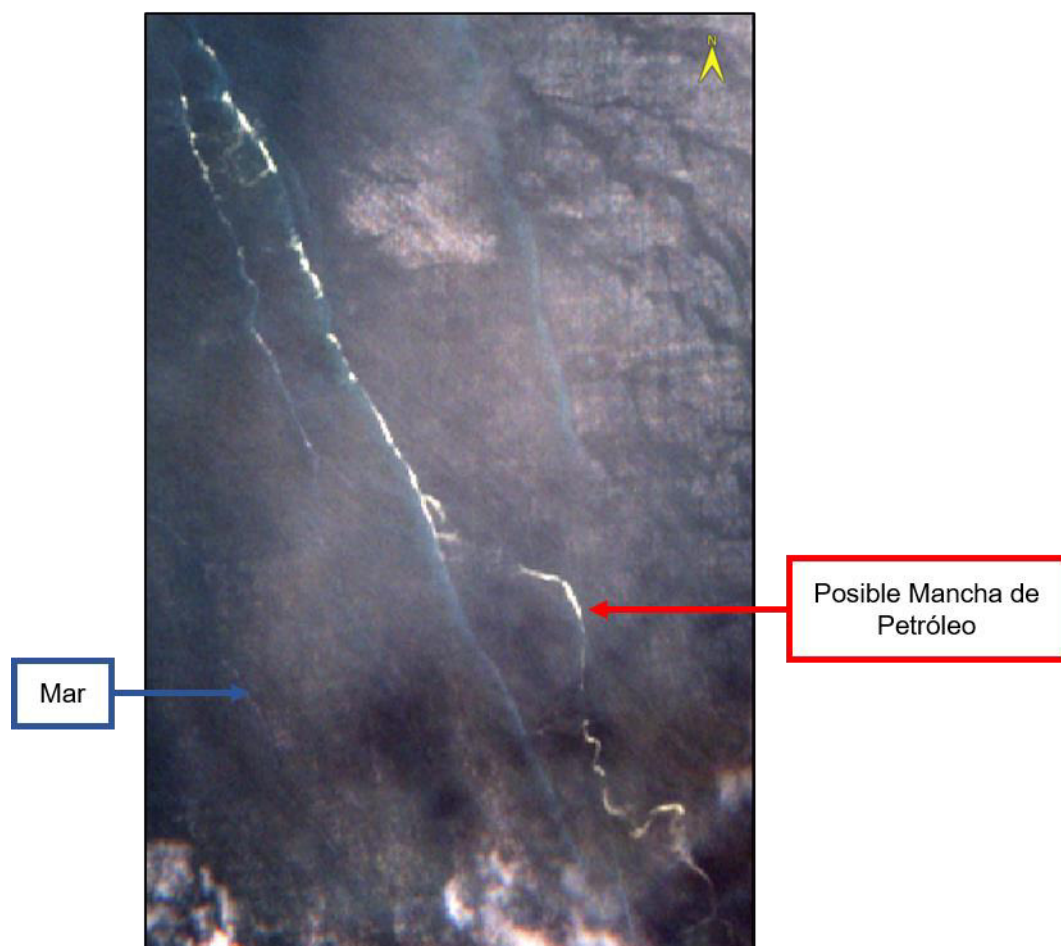
*Nota.* En la imagen A, se visualiza la imagen multiespectral en combinación de bandas en verdadero color; en la imagen B, se visualiza la misma imagen, pero utilizando las bandas del SWIR y NIR, en ambas imágenes se visualiza la presencia de bruma dificultando la visualización.

**A2. Validación Espectral.** Una vez ubicada la posible mancha de petróleo, como se muestra en la Figura 18, se analizan las firmas espectrales para determinar si la posible mancha

cumple con el patrón espectral en la región de SWIR, como se muestra en la Figura 18, teniendo en cuenta de que las condiciones meteorológicas desfavorables pueden llegar a alterar los valores de reflectancia a diferentes escalas, como se muestra en la Figura 19, para ello, se utilizó un software especializado en el análisis de firmas espectrales.

### Figura 18

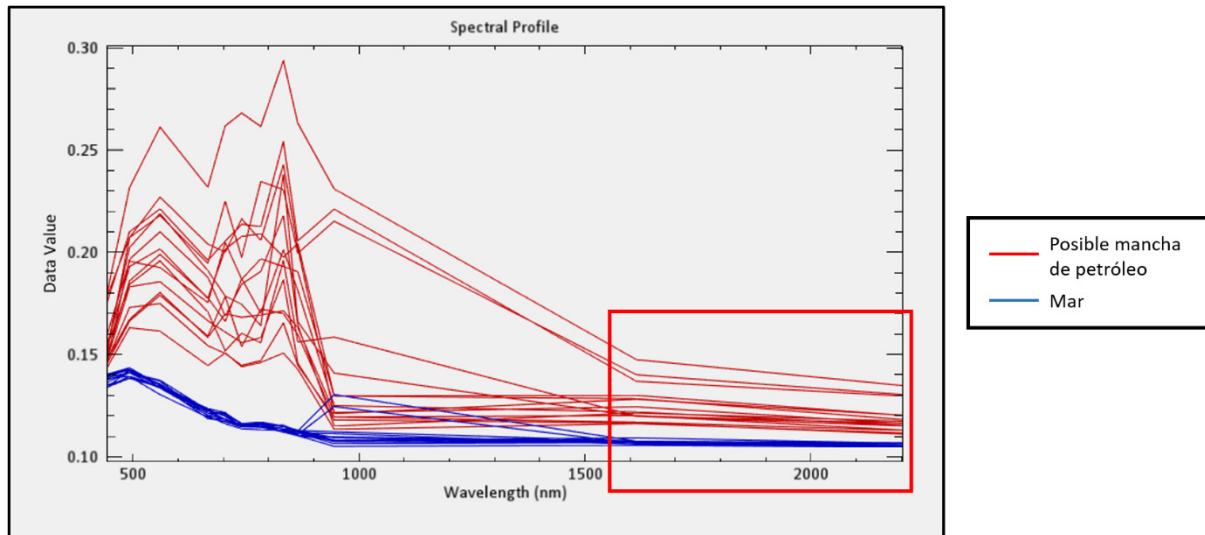
*Identificación de elementos presentes en la imagen*



*Nota.* Ubicación de posible mancha de petróleo en imagen de satélite con una leve cobertura nubosa presente.

**Figura 19**

*Evaluación de valores espectrales de las coberturas ubicadas en la imagen*



*Nota.* La posible mancha de petróleo cumple con el patrón espectral identificado en la región del SWIR, así mismo, también se aprecia la alteración de los valores de reflectancia superficial por la presencia de bruma.

Se demuestra que gracias al trabajo en conjunto del enfoque visual (color y forma) y el enfoque espectral (valores de reflectancia en la región del SWIR) se puede determinar la posible presencia de restos de la mancha de petróleo.

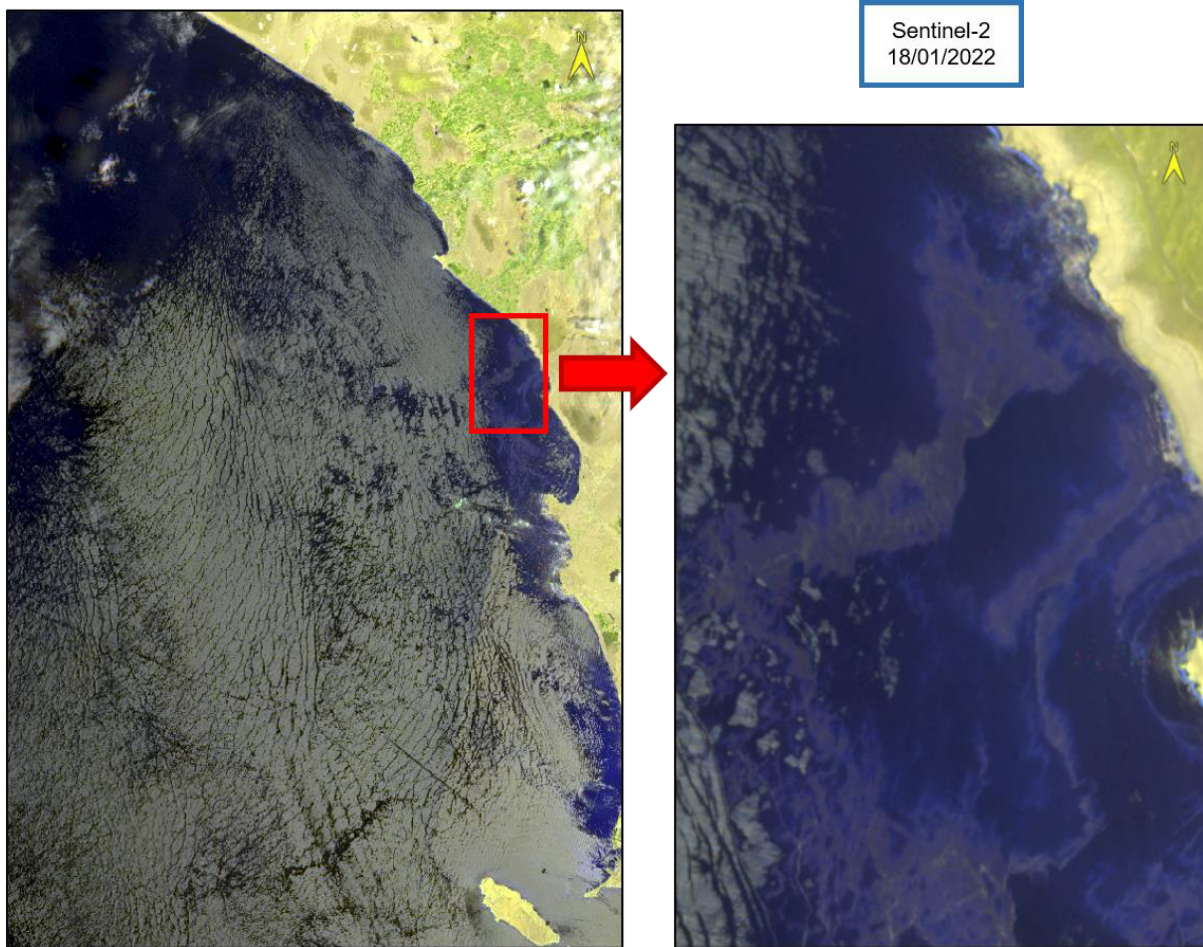
**B. Condiciones meteorológicas favorables.** Se considera condiciones meteorológicas favorables cuando la imagen de satélite no presenta nubosidad y/o presencia de bruma que pueda llegar a alterar los valores espectrales de la imagen, o en que en gran medida puede llegar a dificultar la visualización de los elementos en la superficie, en este caso de elementos suspendidos en el mar.

**B1. Creación de librería espectral.** En este punto realicé un muestreo de píxeles representativos, en donde se aprecie la presencia de petróleo, como se muestra en la Figura 20, con los cuales crear una librería de firmas espectrales con la ayuda de un software especializado

para el análisis espectral, como se aprecia en la Figura 21, de esta manera podremos determinar los valores máximos, mínimos y promedios de reflectancia, con el fin de elaborar una firma espectral promedio o representativa de la mancha de petróleo y derivados en toda la extensión de la imagen, como se aprecia en la Figura 22.

### Figura 20

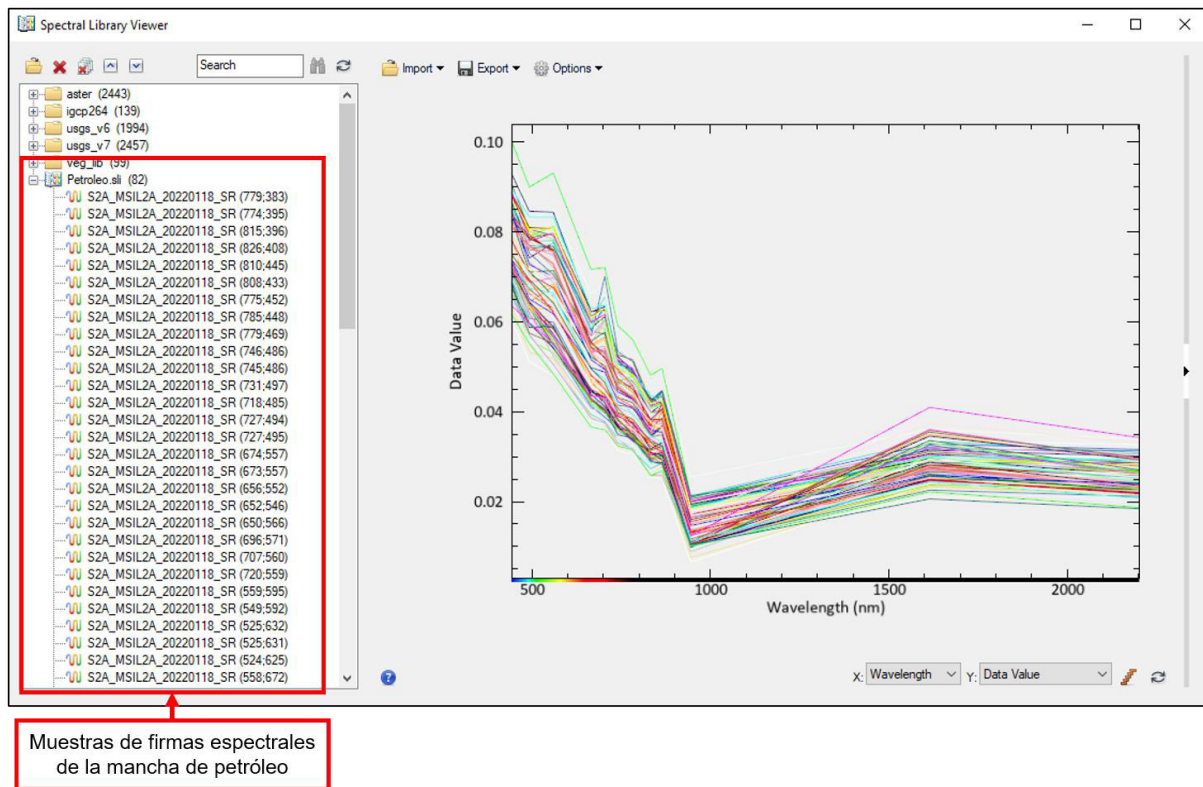
*Área de toma de muestras de valores espectrales*



*Nota.* Fragmento de la imagen multiespectral, para realizar el muestreo de firmas espectrales de la mancha de petróleo.

**Figura 21**

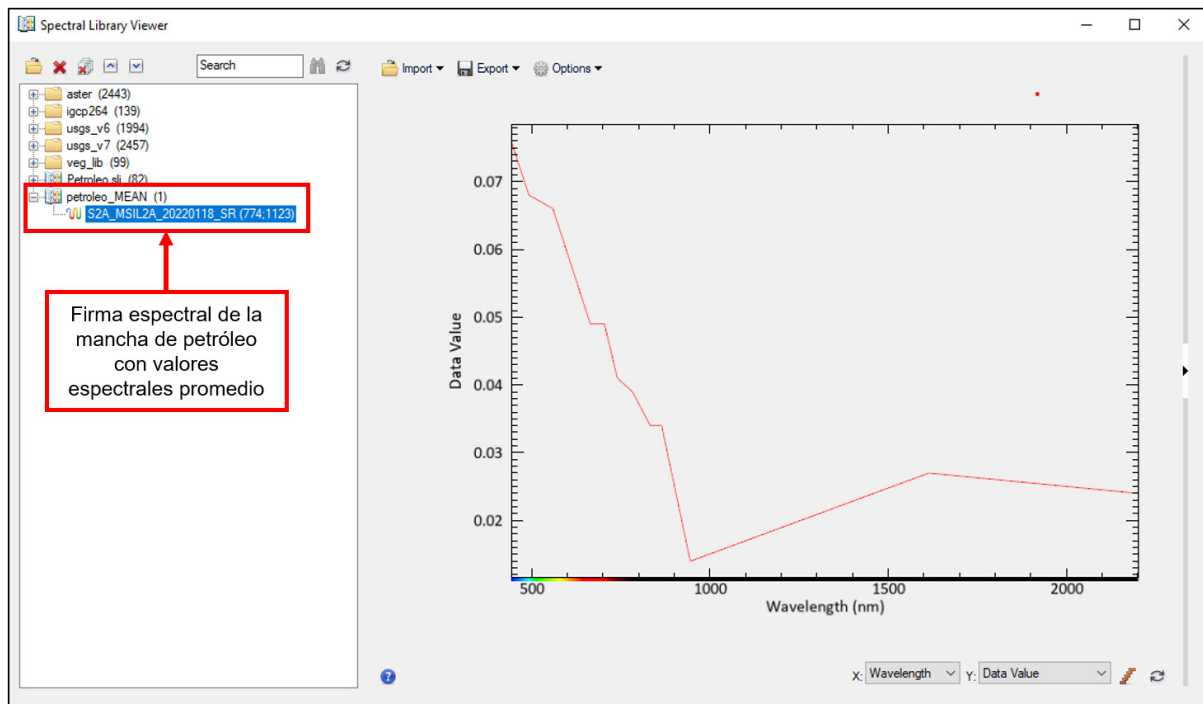
*Librería de firmas espectrales de la mancha de petróleo*



*Nota.* En el panel de la izquierda se visualiza la librería espectral conformada por las muestras de la mancha de petróleo levantadas en la imagen multispectral, y en el gráfico de la derecha, se aprecian las firmas espectrales de cada una de las muestras.

**Figura 22**

*Firma espectral resultante del muestreo de firmas espectrales de la mancha de petróleo*

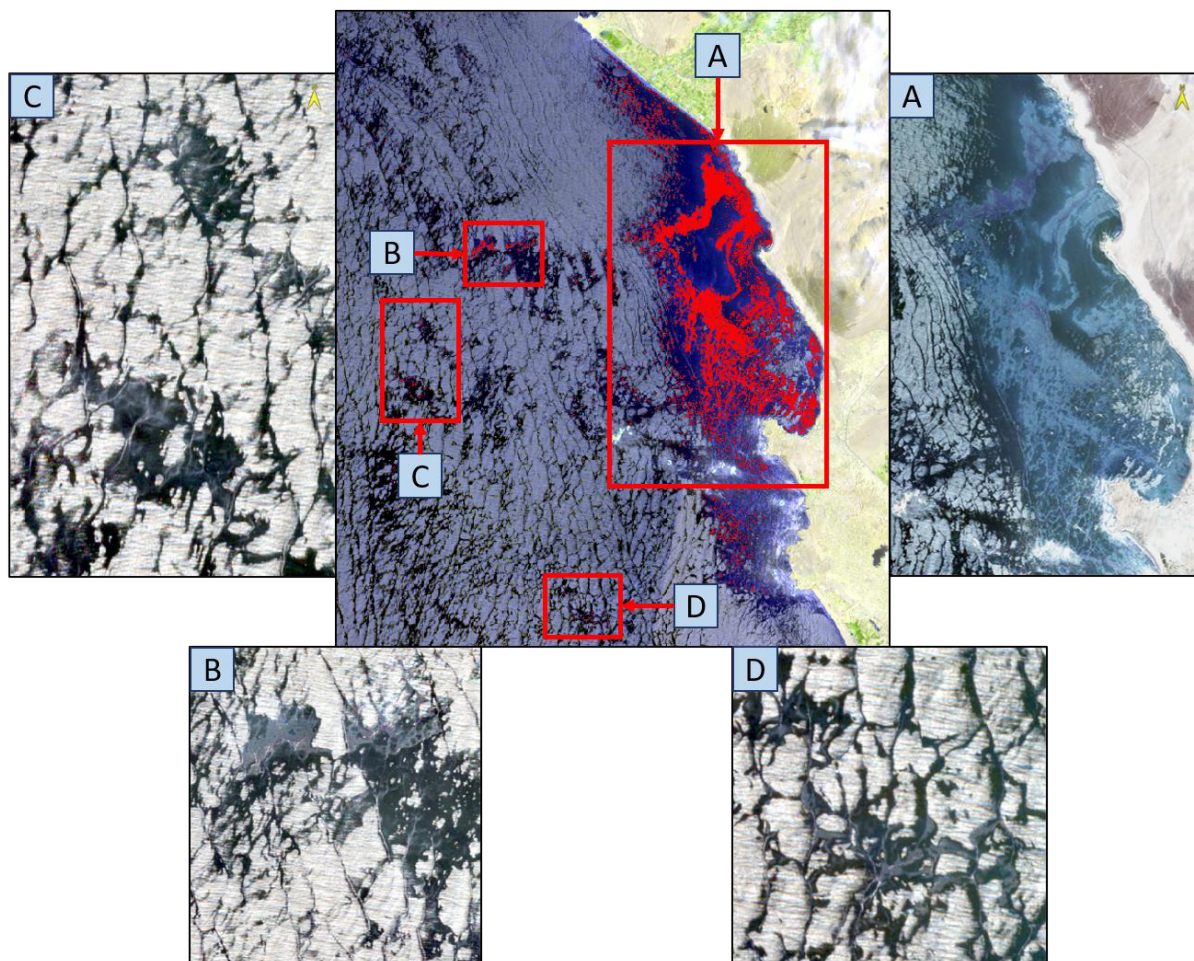


*Nota.* En el panel de la izquierda se visualiza la librería espectral conformada por una firma espectral promedio, calculada a partir de los valores de reflectancia superficial de las muestras levantadas en la imagen multispectral, y en el gráfico de la derecha, se aprecian la firma espectral con valores promedio en cada una de las bandas espectrales.

**B2. Búsqueda automatizada.** Una obtenida la firma espectral promedio de la mancha de petróleo, esta puede ser utilizada para alimentar herramientas de clasificación supervisada para obtener indicios de la presencia o ubicación de las manchas de petróleo en el resto de la imagen multispectral, como se aprecia en la Figura 23. Para este caso se utilizó la herramienta de clasificación Spectral Angle Mapper Classification con la que cuenta la plataforma de ENVI, ya que esta tiene la capacidad de usar firmas espectrales como archivo de entrada, logrando identificar píxeles con firmas espectrales iguales o similares a la firma espectral de entrada.

**Figura 23**

*Resultado de la detección de manchas de petróleo a partir de firmas espectrales*



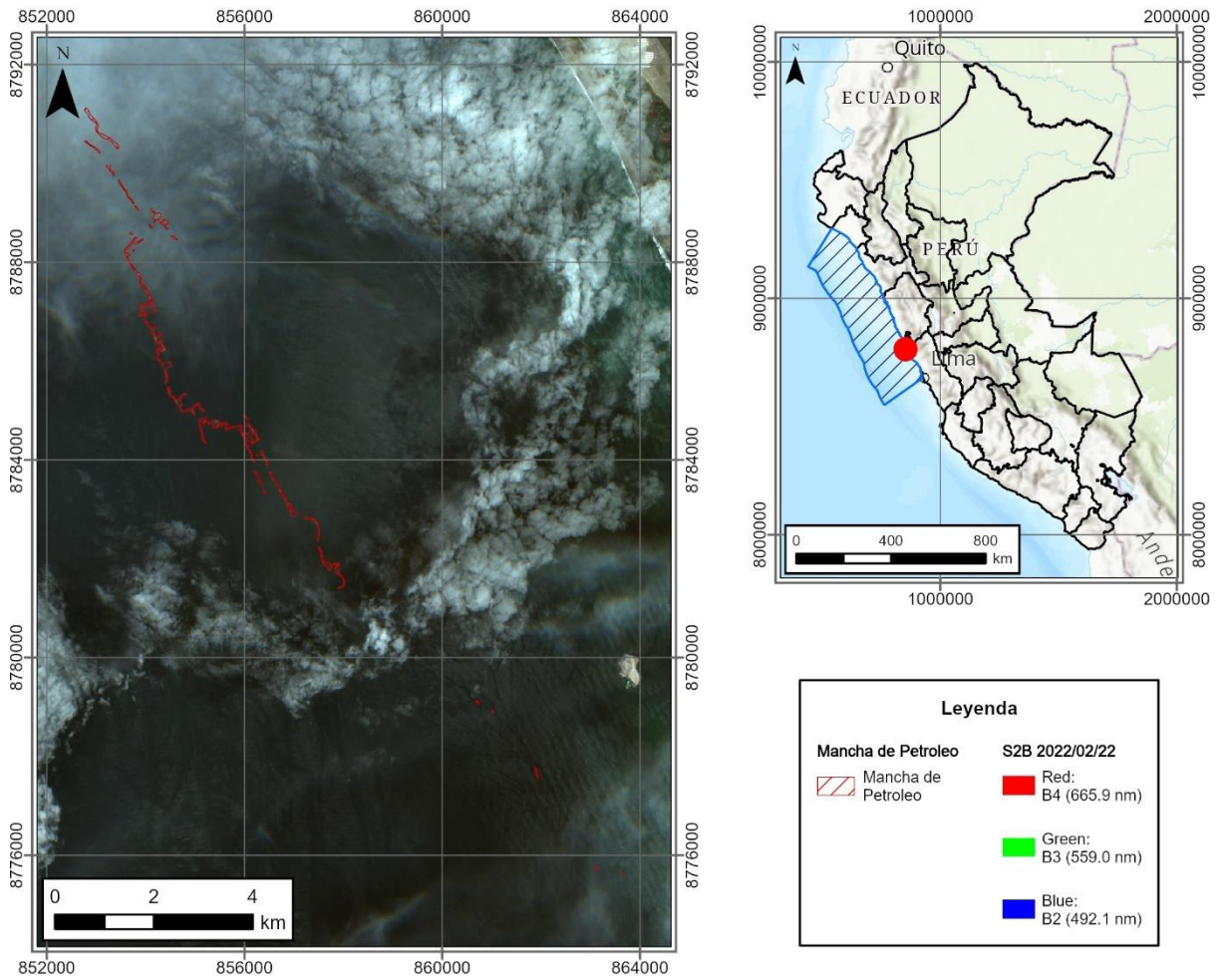
*Nota.* Los píxeles color rojo en la imagen central señalan la ubicación de posibles manchas de petróleo, como resultado de la detección de objetos a partir de la herramienta Spectral Angle Mapper Classification.

#### ***2.7.4. Delimitación de la extensión de la mancha de petróleo***

Una vez identificada la posible presencia de la mancha de petróleo basada en los enfoques visual y espectral, se realiza la delimitación vectorial a mano alzada, logrando determinar la extensión que esta abarca en la superficie del mar, como se muestra en la Figuras 24 y Figura 25. Para esta tarea se utilizó la aplicación de escritorio ArcGIS Pro.

**Figura 24**

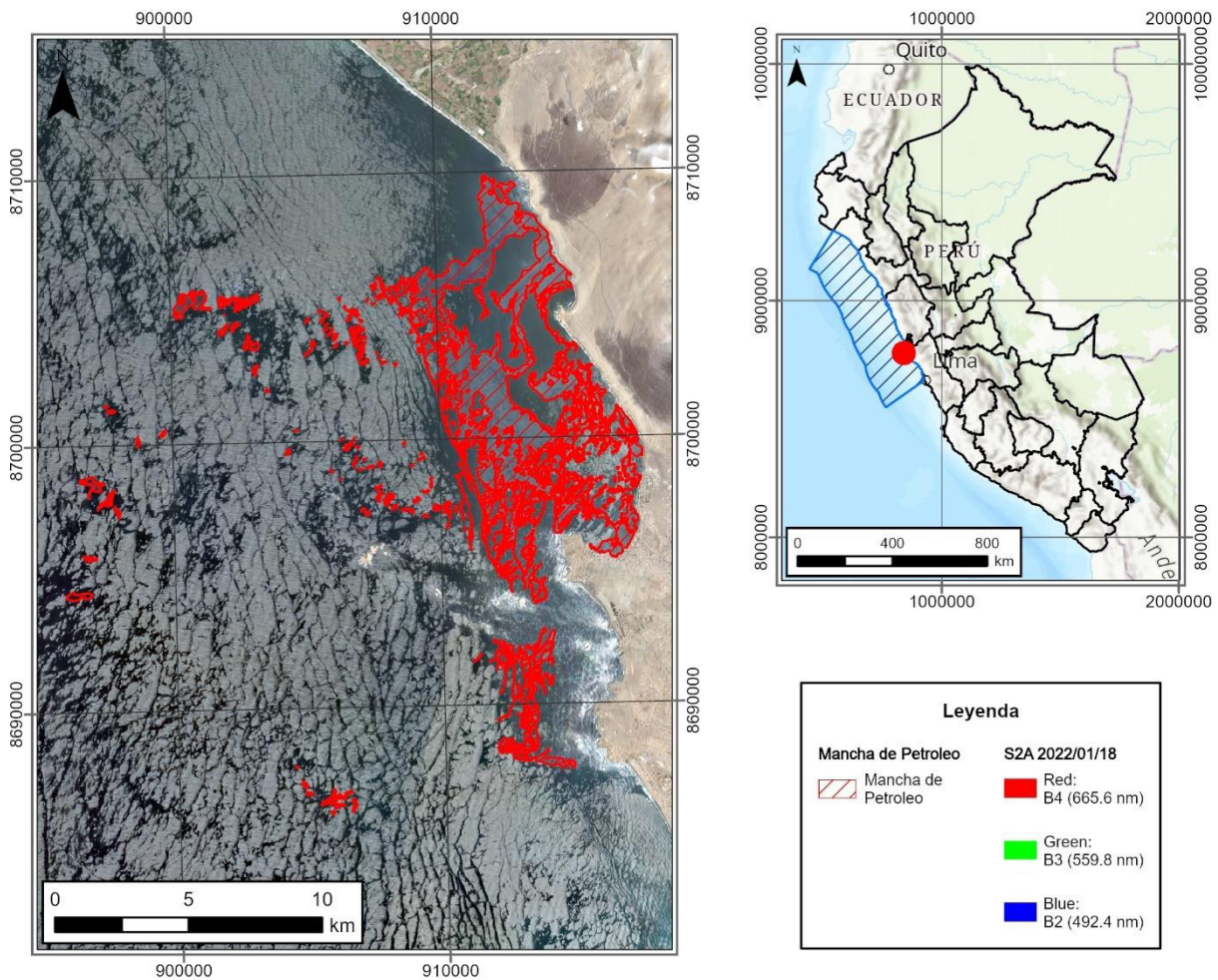
*Mapa de mancha de petróleo avistada el 22/02/2022, en condiciones meteorológicas desfavorables*



*Nota.* El mapa muestra la delimitación de la mancha de petróleo como resultado del análisis visual y espectral, en una imagen con presencia de bruma y/o cobertura nubosa.

## Figura 25

Mapa de mancha de petróleo avistada el 18/01/2022, en condiciones meteorológicas favorables



*Nota.* El mapa muestra la delimitación de la mancha de petróleo como resultado del análisis visual y espectral, en una imagen sin la presencia de bruma y/o cobertura nubosa.

Asimismo, se tiene en cuenta que las condiciones meteorológicas, el nivel de dilución de la mancha de petróleo en el mar y el movimiento de mismo, pueden limitar la visibilidad de la superficie marina, alterar los valores de reflectancia y desplazar la mancha de petróleo respectivamente. Es por ello, que se decidí recurrí a un análisis visual y espectral de manera conjunta.

### III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA INSTITUCIÓN

La asistencia técnica que brinde en la iniciativa impulsada por TELEMATICA S.A., para la detección de mancha de petróleo y derivados, consto en la participación en la etapa de gabinete, en el análisis de la superficie a partir de sensores remotos.

Los aportes fueron los siguientes:

- Elaboración de una metodología basada en los sistemas de información geográfica y percepción remota, para la detección de manchas de petróleo en el mar, a partir de un enfoque de análisis visual y espectral.
- Creación y registro de biblioteca espectral de manchas de petróleo.
- Digitalización de manchas de petróleo avistadas a partir de imágenes multiespectrales.
- Crear las bases para la detección y análisis, de objetos o coberturas, a partir de información espectral.
- Demostración del potencial de las plataformas GIS comercializadas por TELEMATICA S.A., para realizar monitoreo y análisis avanzados, en temas relacionados al sistema de información geográfico y teledetección.

#### IV. CONCLUSIONES

- A partir de la aplicación de la metodología descrita en el presente informe, se logró identificar y ubicar posibles manchas de petróleo, y restos del mismo, desde el punto de origen del derrame, hasta la altura del extremo norte del departamento de Lambayeque, y a una distancia aproximada de 190 km., desde la costa peruana a mar abierto.
- A través del análisis de firmas espectrales de los elementos de interés presentes en las imágenes, como, la espuma marina, las manchas de petróleo y el mar mismo, se identificó que las manchas de petróleo presentan distintos valores de reflectancia en la región del infrarrojo de onda corta, a comparación del resto de coberturas analizadas, por lo cual, las imágenes utilizadas para este tipo de análisis deben de contar con bandas en dicha región del espectro.
- Se determino que, en imágenes multiespectrales sin presencia de cobertura nubosa, a través del uso softwares especializados en análisis y procesamiento espectral, es posible realizar una búsqueda atomizada de manchas de petróleo, a partir de firmas espectrales representativas, logrando agilizar esta tarea; así mismo, importante resaltar que las imágenes multiespectrales utilizadas deben de contar con bandas en la región del infrarrojo de onda corta.
- La aplicación conjunta del sistema de información geográfica y la teledetección, han demostrado ser una poderosa herramienta para la detección, monitoreo y/o registro del avistamiento de posibles manchas de petróleo suspendidas en el mar.
- A partir de los enfoques de análisis de imágenes mencionados en la metodología, se lograron registra posibles manchas de petróleo suspendidas en

el mar en 11 escenas distintas (imágenes de satélite), adquiridas en distintas fechas, dentro el área comprendida por el área de estudio.

## V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de imágenes multiespectrales que dispongan de bandas espectrales en las regiones del infrarrojo de onda corta, y que, además, también cuenten con una alta resolución espacial y una frecuencia de revisita adecuada, estas imágenes pueden ser provenientes de sensores transportados en satélites, avionetas o drones.
- Teniendo en cuenta que los valores de reflectancia superficial, pueden variar o ser alterados por distintos factores presentes al momento de que la imagen fue adquirida por el sensor, se recomienda que el análisis espectral sea personalizado en cada imagen.
- En situaciones en las que la cobertura nubosa impida la visualización del área afectada en su totalidad, o dificulte en gran magnitud el análisis de los valores de reflectancia superficial, se puede recurrir al uso de imágenes de radar de apertura sintética (SAR), los sensores transportados en estos satélites tienen la capacidad de emitir una señal capaz de traspasar las nubes, logrando mapear toda la superficie.

## VI. REFERENCIAS

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental*. Barcelona: Ariel.

GOBIERNO DE ESPAÑA. (s.f.). *Programa Landsat*. Obtenido de Plan Nacional de Teledetección: <https://pnt.ign.es/programa-landsat>

González, O. (22 de Enero de 2022). *Derrame de petróleo en Ventanilla: consecuencias en el medioambiente y la salud*. Obtenido de USIL Blogs: <https://blogs.usil.edu.pe/novedades/derrame-de-petroleo-en-ventanilla-consecuencias-en-el-medioambiente-y-la-salud>

Huaracha Vilchez, M. E. (2018). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE PETRÓLEO CRUDO (24°API) DE LAS HOJAS DE LA GRAMÍNEA *Brachiara decumbens* COMO ALTERNATIVA PARA AFRONTAR EL RIESGO AMBIENTAL LATENTE EN EL OLEODUCTO NORPERUANO. (*Tesis de titulación*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI, Pucallpa. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4102/000004253T-AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Keramea, P., Spanoudaki, K., Zodiatis, G., Gikas, G., & Sylaios, G. (2021). *Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges*. Obtenido de Publisher of Open Access Journals: <https://doi.org/10.3390/jmse9020181>

Olaya, V. (16 de Octubre de 2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de INGEMMET: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/LIB-199.pdf>

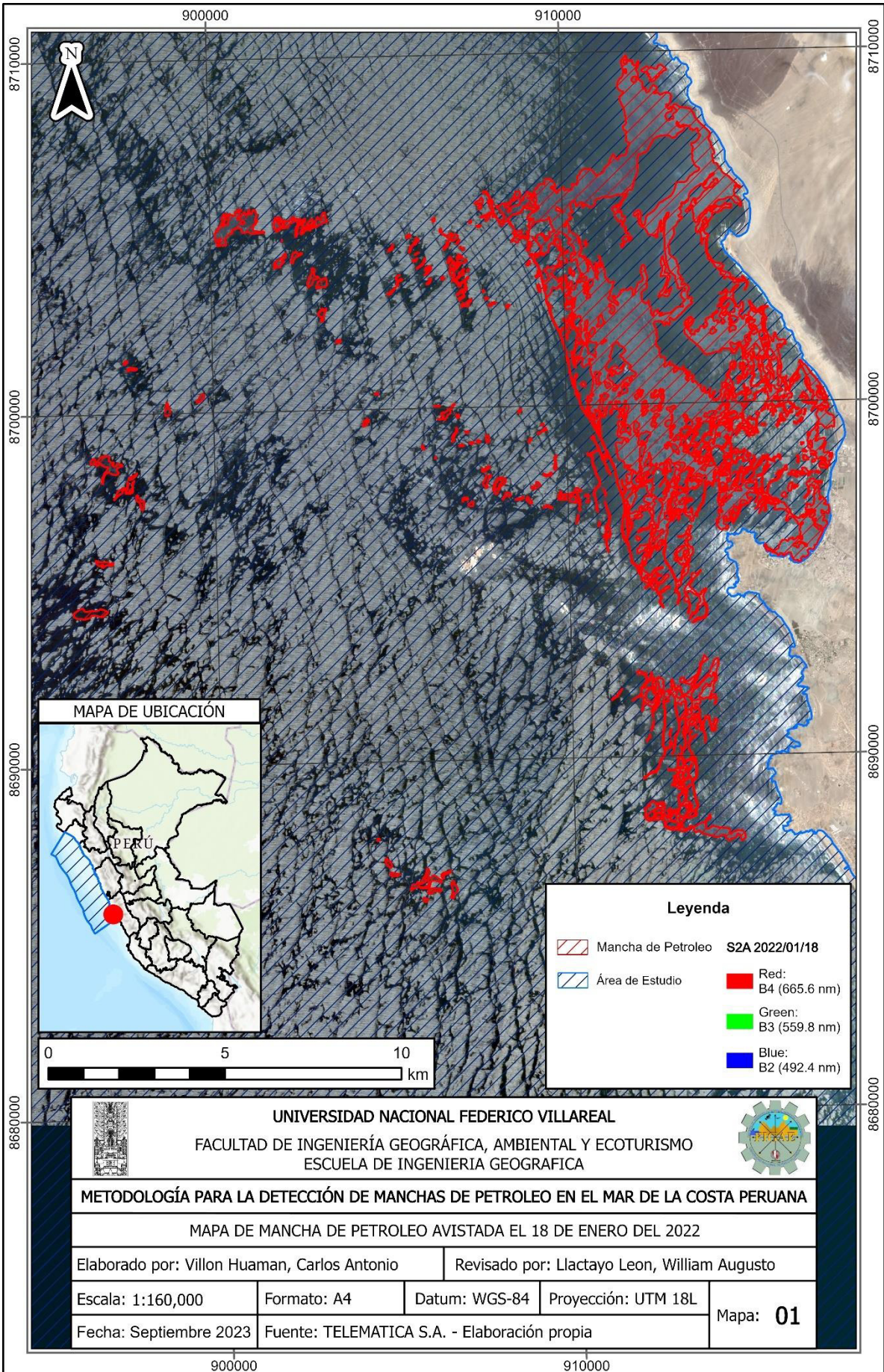
Planet. (20 de Julio de 2023). *PlanetScope*. Obtenido de Planet Developers: <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/#:~:text=last%20updated%3A%20July%2020%2C%202023,3%20meters%20per%20pixel%20resolution.>

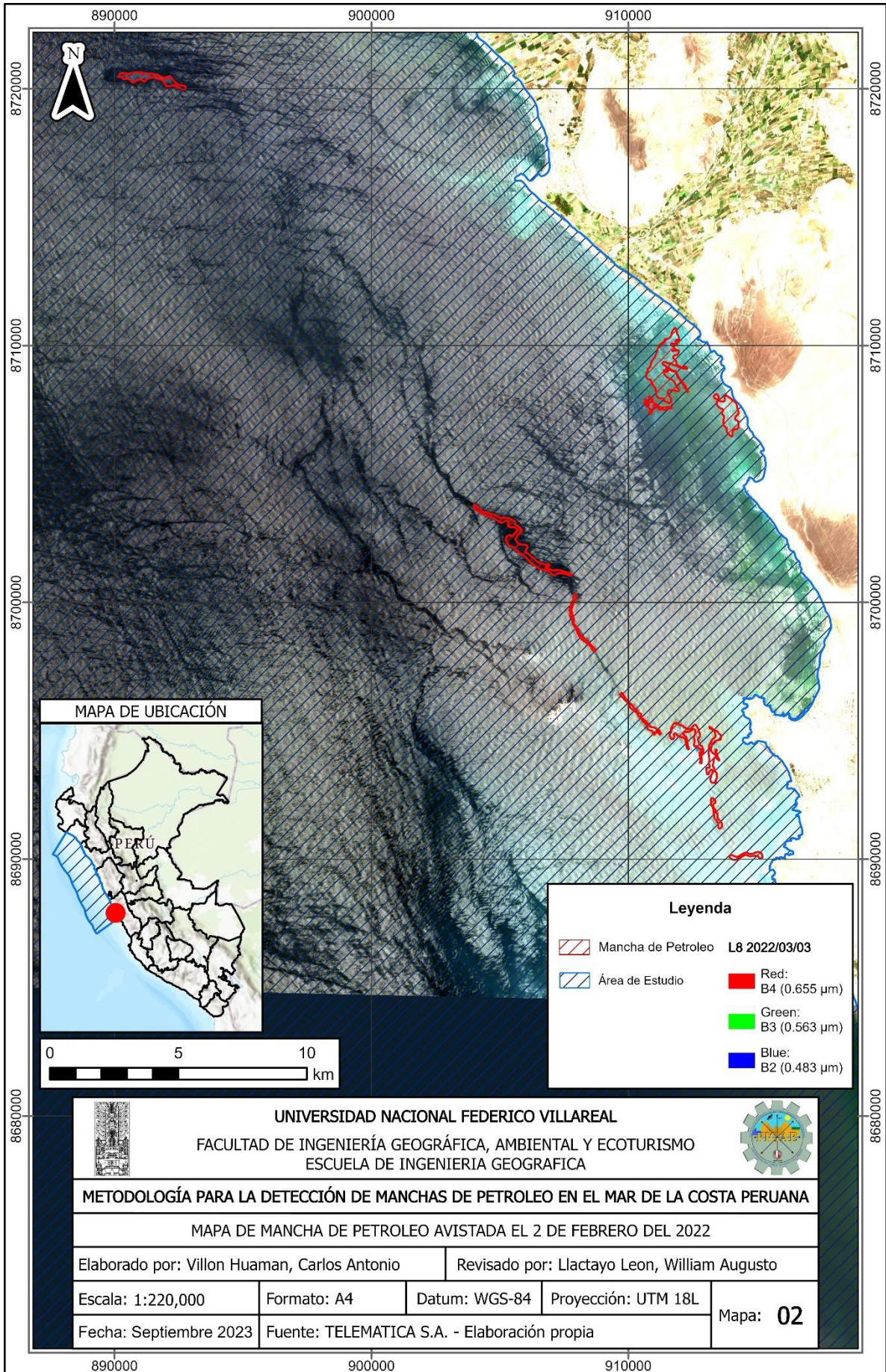
- Praeli, Y. S. (19 de Enero de 2022). *Derrame de más de 11 mil barriles de petróleo en el mar contamina fauna, playas y áreas protegidas en Perú*. Obtenido de Mongabay:  
<https://es.mongabay.com/2022/01/derrame-de-6000-barriles-de-petroleo-en-el-mar-contamina-fauna-playas-y-areas-protegidas-en-peru/>
- Pulido, V., Cruz, J., Arana, C., & Olivera, E. (2022). *Daño ambiental en el litoral marino peruano causado por el derrame de petróleo (enero 2022) en la refinería La Pampilla*. Obtenido de Universidad Nacional de Tumbes:  
<https://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/view/303/554>
- Romero, I. M. (2018). *Cátedra Electiva: Cartografía Temática y SIG*. Obtenido de Nucleamiento Minas – Facultad de Ingeniería - UNSJ:  
[https://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/cartografiaaplicadaminas/wp-content/uploads/2016/10/Apuntes-de-C%C3%A1tedra-SIG\\_2018.pdf](https://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/cartografiaaplicadaminas/wp-content/uploads/2016/10/Apuntes-de-C%C3%A1tedra-SIG_2018.pdf)
- SERNANP. (1 de Enero de 2019). *Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras*. Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruano:  
<https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1793027-reserva-nacional-sistema-de-islas-islotes-y-puntas-guaneras>
- Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & de la Cruz, R. (Febrero de 2017). *LA INDUSTRIA DE LOS HIDROCARBUROS LÍQUIDOS EN EL PERÚ*. Obtenido de Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería:  
[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidados-Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidados-Peru.pdf)
- TELEMATICA S.A. (s.f.). *Acerca de TELEMATICA*. Obtenido de Telematica SA.:  
<https://www.telematica.com.pe/quienes-somos/>



THE EUROPEAN SPACE AGENCY. (s.f.). *SENTINEL-2 MISSION GUIDE*. Obtenido de Sentinel Online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>

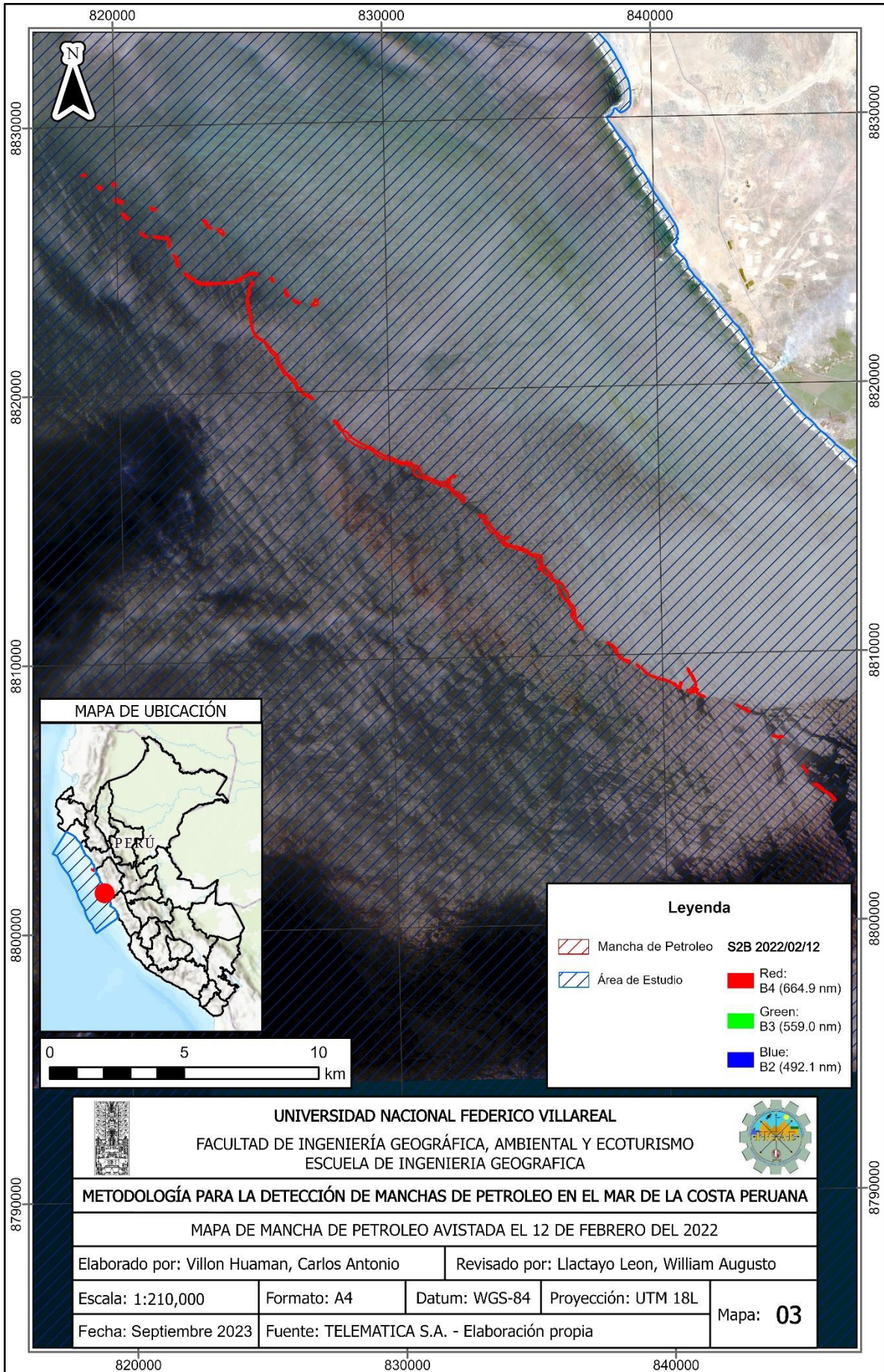
Velaochaga, G., & Xu, H. (Enero - Junio de 2019). *DETECCIÓN DE POSIBLE DERRAME DE PETRÓLEO EN EL MAR PERUANO FRENTE A TALARA USANDO IMAGENES SATELITALES, FEBRERO 2017*. Obtenido de REPOSITORIO DIGITAL IMARPE: <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3350/1/Boletin%2034%281%29-17.pdf>

**VII. ANEXOS**





 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL</b>          FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO          ESCUELA DE INGENIERIA GEOGRAFICA</p>		
<b>METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE MANCHAS DE PETROLEO EN EL MAR DE LA COSTA PERUANA</b>		
MAPA DE MANCHA DE PETROLEO AVISTADA EL 2 DE FEBRERO DEL 2022		
Elaborado por: Villon Huaman, Carlos Antonio		Revisado por: Llactayo Leon, William Augusto
Escala: 1:220,000	Formato: A4	Datum: WGS-84    Proyección: UTM 18L
Fecha: Septiembre 2023	Fuente: TELEMATICA S.A. - Elaboración propia	
		Mapa: <b>02</b>



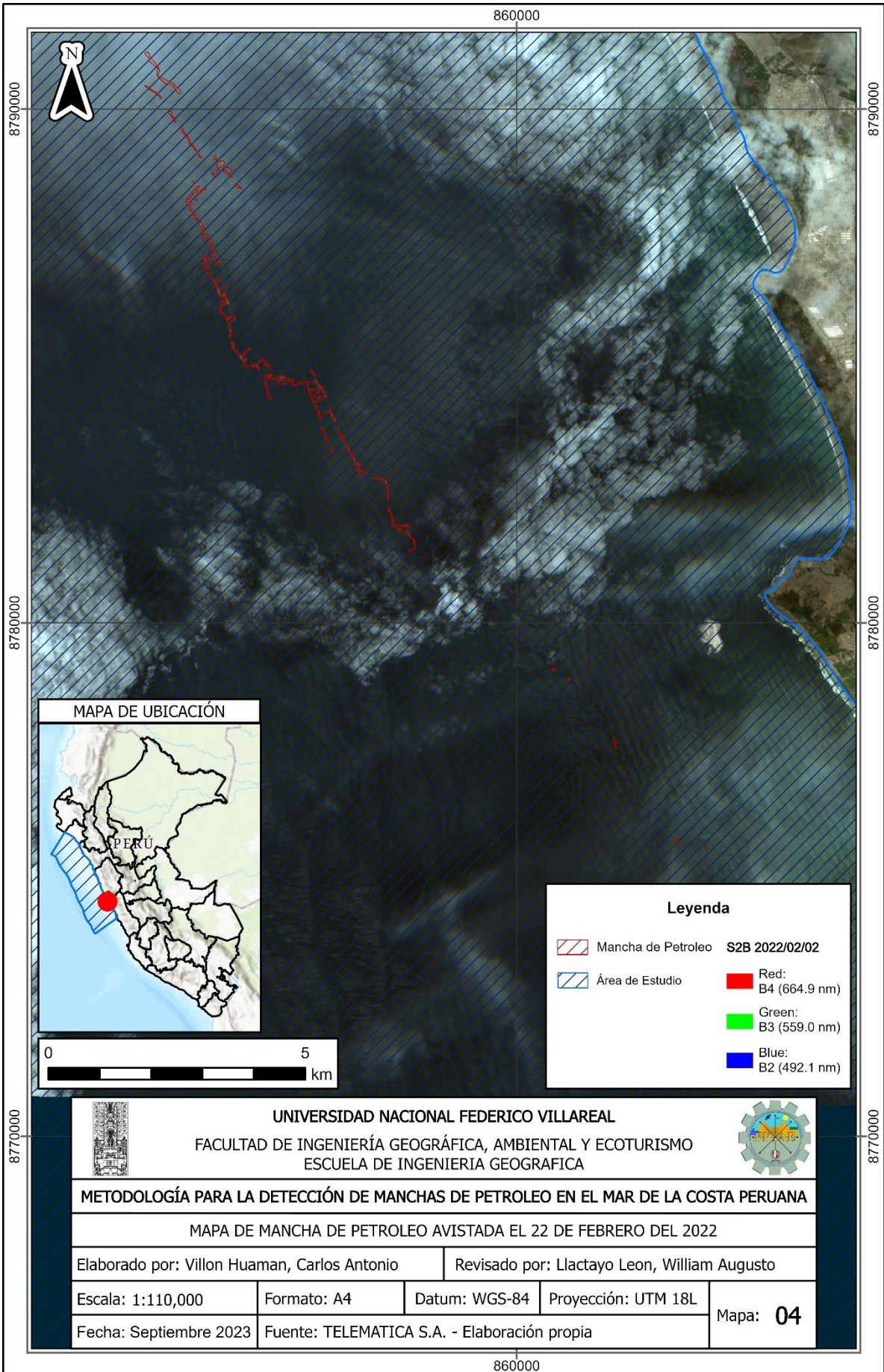
**MAPA DE UBICACIÓN**

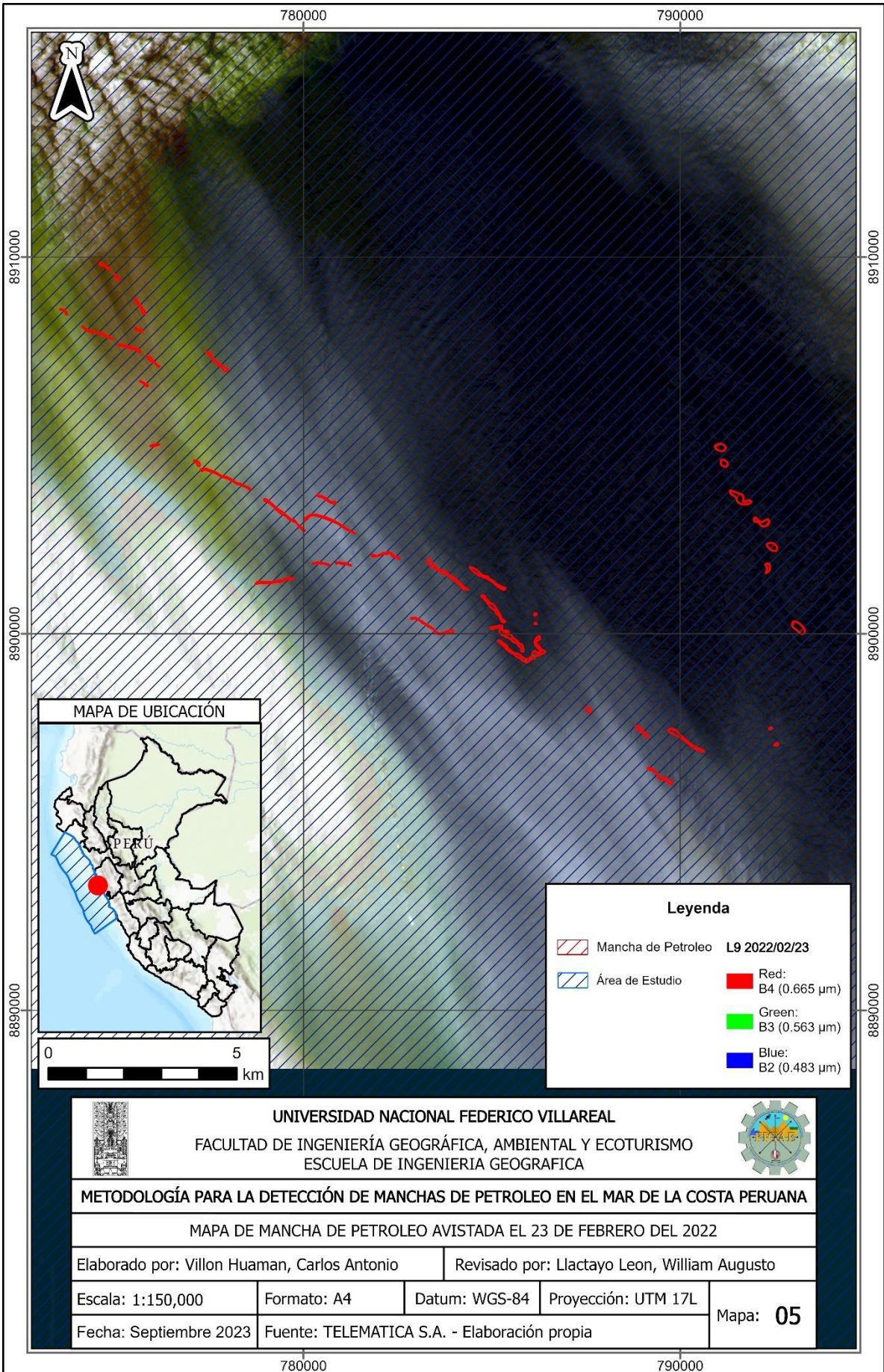
0 5 10 km

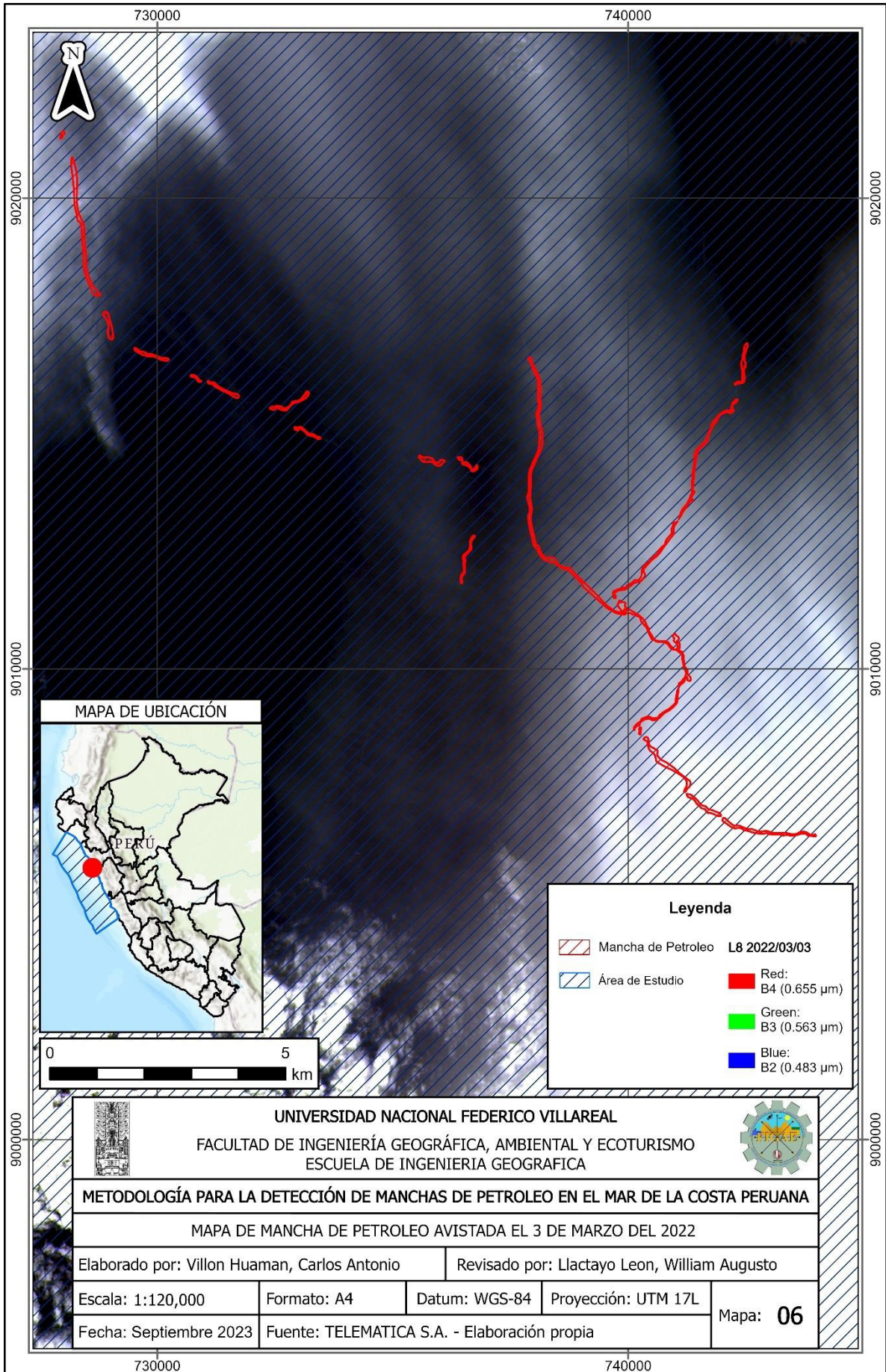
**Leyenda**

	Mancha de Petroleo	<b>S2B 2022/02/12</b>
	Área de Estudio	
	Red:	B4 (664.9 nm)
	Green:	B3 (559.0 nm)
	Blue:	B2 (492.1 nm)

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA DE INGENIERIA GEOGRAFICA		
<b>METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE MANCHAS DE PETROLEO EN EL MAR DE LA COSTA PERUANA</b>		
MAPA DE MANCHA DE PETROLEO AVISTADA EL 12 DE FEBRERO DEL 2022		
Elaborado por: Villon Huaman, Carlos Antonio		Revisado por: Llactayo Leon, William Augusto
Escala: 1:210,000	Formato: A4	Datum: WGS-84    Proyección: UTM 18L
Fecha: Septiembre 2023	Fuente: TELEMATICA S.A. - Elaboración propia	Mapa: <b>03</b>

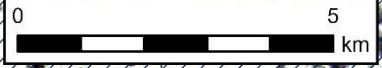






**Legenda**

- Mancha de Petroleo L8 2022/03/03
- Área de Estudio
- Red: B4 (0.655 μm)
- Green: B3 (0.563 μm)
- Blue: B2 (0.483 μm)



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA DE INGENIERIA GEOGRAFICA		
<b>METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE MANCHAS DE PETROLEO EN EL MAR DE LA COSTA PERUANA</b>		
MAPA DE MANCHA DE PETROLEO AVISTADA EL 3 DE MARZO DEL 2022		
Elaborado por: Villon Huaman, Carlos Antonio		Revisado por: Llactayo Leon, William Augusto
Escala: 1:120,000	Formato: A4	Datum: WGS-84    Proyección: UTM 17L
Fecha: Septiembre 2023	Fuente: TELEMATICA S.A. - Elaboración propia	Mapa: <b>06</b>