

Cuantificación, origen y distribución de hidrocarburos alifáticos en sedimentos marinos de las Áreas Naturales Protegidas islas Pachacamac y Asia en Lima, Perú

Quantification, origin, and distribution of aliphatic hydrocarbons in marine sediments of the Protected Natural Areas of Pachacamac and Asia Islands in Lima, Peru

Diana Noriega

ORCID: 0000-0001-9904-8079
diananoriegapacheco@gmail.com

Piero Villegas

ORCID: 0000-0002-8416-025X
piravia@gmail.com

Ursula Neira

ORCID: 0000-0003-4429-3178
uneira@cientifica.edu.pe

Universidad Científica del Sur, Lima Perú.

* Autor de correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / Received: 25/07/2024

Aceptado / Accepted: 05/11/2024

Citación / Citation: Noriega, D.C.; Villegas, P.; Neira, U. 2025. Cuantificación, origen y distribución de hidrocarburos alifáticos en sedimentos marinos de las Áreas Naturales Protegidas islas Pachacamac y Asia en Lima, Perú. Bol. Invest. Mar. Cost., 54(1): 133-152

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la concentración, origen y distribución espacial de hidrocarburos alifáticos en las Áreas Naturales Protegidas de isla Pachacamac e isla Asia (IPA), las cuales están influenciadas por actividades de pesca y turismo. Estas actividades generan tránsito de embarcaciones motorizadas que emplean derivados de petróleo, por lo tanto, existe riesgo de contaminación por fuga o derrame de hidrocarburos. La identificación de hidrocarburos en muestras de sedimentos marinos se realizó mediante el método de cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de llama (CG-FID). La distribución espacial de hidrocarburos se realizó con el método de interpolación "Distancia Inversa Ponderada". Como resultado se identificó una estación de isla Asia con contaminación moderada. El resto de las estaciones muestreadas no presentaron contaminación por hidrocarburos; sin embargo, los resultados obtenidos arrojaron que 94.1 % y 66.6 % de hidrocarburos encontrados en las áreas evaluadas de las islas Pachacamac y Asia, respectivamente, son de origen antrópico. La predominancia de hidrocarburos de origen antrópico en ambas islas puede ser indicativo de contaminación a largo plazo por efectos de acumulación. Se determinó que la mayor concentración de hidrocarburos en IPA está en puntos donde se realizan actividades de pesca y turismo y la menor concentración está donde no se realizan estas actividades.

Palabras clave: Hidrocarburos, contaminación, interpolación, sedimento, ecosistemas.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the concentration, origin, and spatial distribution of aliphatic hydrocarbons in the Protected Natural Areas of Pachacamac Island and Asia Island (IPA), which are influenced by fishing and tourism activities. These activities generate traffic from motorized vessels that utilize petroleum derivatives, thereby posing a risk of contamination from hydrocarbon leaks or spills. The identification of hydrocarbons in marine sediment samples was conducted using the gas chromatography method, coupled with a flame ionization detector (CG-FID). The spatial distribution of hydrocarbons was assessed using the inverse distance weighting interpolation method. As a result, a sampling station on Asia Island with moderate contamination was identified. The remaining sampled stations exhibited no hydrocarbon contamination. However, the results indicated that 94.1 and 66.6 % of the hydrocarbons found in the assessed areas of Pachacamac and Asia Islands, respectively, are anthropogenic in nature. The predominance of anthropogenic hydrocarbons on both islands may indicate long-term contamination due to accumulation effects. It was determined that the highest concentration of hydrocarbons in the IPA is found at locations where fishing and tourism activities occur, while the lowest concentration is found in areas without such activities.

Key words: hydrocarbons, pollution, interpolation, sediment, ecosystems.

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) islas Pachacamac y Asia (IPA) forman parte de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras (Rnsiipg), y del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sinanpe), Perú. Su objetivo principal es mantener muestras representativas de diversidad biológica en los espacios marino costeros de la corriente de Humboldt y asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos (Sernanp - A, 2016a). Los sectores IPA, al formar parte de la Rnsiipg, brindan servicios ecosistémicos muy importantes, tales como: provisión de peces, provisión de guano de isla, paisajes, captación de carbono y regulación del clima (Sernanp, 2016b).

En los sectores de conservación IPA se desarrollan actividades que emplean derivados del petróleo como turismo náutico no regulado y tráfico no controlado de embarcaciones pesqueras artesanales, uso de vehículos acuáticos motorizados y no motorizados, entre otras (SC IPA, 2018). Dichas actividades generan posibles fuentes de contaminación por fuga o derrame de hidrocarburos derivados del petróleo en el mar. Según *Boa et al. (2014)*, la incidencia de derrames en el mar ha ido en aumento debido al incremento de transporte marítimo y prospecciones petrolíferas.

Las especies marinas son las que se ven más afectadas, debido a que no tienen la capacidad de degradar, utilizar o reciclar los derivados del petróleo, lo que puede generar la disminución y la pérdida de algunas especies de invertebrados, peces y otros (*Rodríguez et al., 2015*). Los hidrocarburos de petróleo y otros contaminantes se adhieren a las branquias de especies marinas, afectando su respiración. También se adhieren a las algas y al fitoplancton incidiendo en la alimentación y reproducción de la vida acuática en general (*Olguín et al., 2007*).

En la presente investigación, se evaluó la concentración, nivel de contaminación, origen petrogénico (antrópico) o biogénico, y distribución espacial de hidrocarburos alifáticos (C10 – C35) en el área marina de IPA. Los hidrocarburos petrogénicos están relacionados con el petróleo crudo y sus derivados y evidencian una actividad antropogénica constante que eleva sus concentraciones (*Rodríguez et al., 2015*). Posteriormente se evaluó a gran escala la distribución de los hidrocarburos respecto a su concentración, mediante el método de interpolación Distancia Inversa Ponderada (IDW).

Se ha demostrado que la presencia de hidrocarburos está relacionada con la textura y la concentración de materia orgánica

INTRODUCTION

The Protected Natural Areas (PNA) of the Pachacamac and Asia Islands (IPA) are part of the System of Guanera Islands, Islets, and Points Natural Reserve (Rnsiipg) and the National System of Natural Areas Protected by the State (Sinanpe) in Peru. Their main purpose is to maintain representative samples of biological diversity in marine-coastal spaces of the Humboldt current and ensure the sustainable utilization of resources (*Sernanp - A, 2016a*). As part of the Rnsiipg, the IPA sectors provide highly important ecosystem services, such as the provision of fish, island guano, and landscapes; carbon capture; and climate regulation (*Sernanp, 2016b*).

In IPA conservation sectors, activities are carried out which employ petroleum derivatives, such as unregulated nautical tourism, unregulated traffic from artisanal fishing vessels, and the use of motorized and nonmotorized aquatic vehicles, among others (*SC IPA, 2018*). These activities imply potential pollution sources due to the leakage or spillage of petroleum-derived hydrocarbons into the sea. According to *Boa et al. (2014)*, the incidence of spillage at sea has grown due to increased maritime transport and petroleum exploration activities.

Marine species are the most affected by this issue, as they cannot degrade, utilize, or recycle petroleum derivatives, which can cause the decline and loss of some species, including invertebrates, fish, and others (*Rodríguez et al., 2015*). Petroleum hydrocarbons and other pollutants adhere to the gills of marine species, affecting their respiration. They also adhere to algae and phytoplankton, influencing the feeding and reproduction of aquatic life in general (*Olguín et al., 2007*).

This research evaluated the concentration, pollution level, petrogenic (anthropic) or biogenic origin, and spatial distribution of aliphatic hydrocarbons (C10-C35) in the marine area of the IPA. Petrogenic hydrocarbons are related to crude oil and its derivatives, and they evince a constant anthropogenic activity that increases their concentrations (*Rodríguez et al., 2015*). Afterwards, this work conducted a large-scale evaluation of the distribution of hydrocarbons with regard to their concentrations, using the inverse distance weighted (IDW) interpolation method.

It has been demonstrated that the presence of hydrocarbons is related to the texture and concentration of organic matter in sediments (*Calva et al., 2006*). There is electrostatic attraction

en el sedimento (Calva *et al.*, 2006). Existe atracción electrostática de compuestos no polares con las fases orgánicas de los ácidos húmicos (materia orgánica). Las fracciones más finas del sedimento ofrecen una mayor área superficial para la adsorción de los contaminantes (Rubio *et al.*, 2000). En el presente estudio se evaluó la concentración de materia orgánica y la granulometría del sedimento debido a la estrecha relación de ambos con la concentración de hidrocarburos.

ÁREA DE ESTUDIO

Sector Isla Pachacamac

La isla Pachacamac, también conocida como isla Cavillaca (12° 19' S y 78° 55' O), cuenta con un área total de 4289.88 ha (4254.77 ha marinas y 35.11 ha terrestre) y abarca dos islas principales y tres islotes pequeños, los cuales se encuentran influenciados por la corriente de Humboldt. Este grupo de las islas se inicia con dos rocas aisladas llamadas La Viuda; al suroriente de estas rocas se encuentra el islote de Pachacamac, el cual es de mayor tamaño y presenta un color blancuzco. En la misma dirección, se encuentra el islote San Francisco, de menor tamaño y redondo en la cima; el conjunto semeja una ballena gigante. Entre la isla Pachacamac y el islote San Francisco se encuentra el islote El Sauce, pequeño y ubicado a 265 m de la isla principal. El Arrecife Corcovado se encuentra al suroriente de San Francisco. Tiene una extensión aproximada de 1 km de largo y es el que acaba el grupo (SC IPA, 2018). Estas islas se encuentran situadas frente al litoral del departamento de Lima, Perú, a menos de 1.8 km de las playas del sur de Lima por lo que son de fácil acceso (Sernanp, 2009). Se encuentran protegidas por ley y están conformadas por ecosistemas marinos e insulares dentro del polígono Reserva Nacional Isla Pachacamac (Figura 1).

Pachacamac tiene un registro de 23 especies de aves tales como el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), gallinazo (*Cathartes* sp.), entre otros; además alberga una de las colonias más grandes en la costa peruana de pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldt*) (Birdlife, 2008). En la Figura 1 se observan los puntos en el sector de conservación de isla Pachacamac con alto tráfico de embarcaciones por actividades de pesca tipo cordel de mano, buceo y redes, así como de turismo, el cual realiza paddle, kayak, surf, paseos en motos y yates (SC IPA, 2018).

between nonpolar compounds and the organic phases of humic acids (organic matter). The finer fractions of the sediment offer a larger surface area for pollutant adsorption (Rubio *et al.*, 2000). This study evaluated the concentration of organic matter and the granulometry of the sediment, given the close relationship of both with hydrocarbon concentration.

STUDY AREA

Pachacamac Island sector

Pachacamac Island, also known as Cavillaca Island (12° 19' S and 78° 55' O), has a total area of 4289.88 ha (4254.77 marine and 35.11 terrestrial ha) and comprises two main island and three small islets, which are influenced by the Humboldt current. This group of islands starts with two isolated rocks called *La Viuda*. Southeast of these rocks is the Pachacamac Islet, the largest in size, which exhibits a whitish coloration. The San Francisco Islet, smaller and rounded at the top, is in the same direction; this group resembles a giant whale. Between Pachacamac Island and San Francisco Islet is El Sauce Islet, small and located 265 m off the main island. The Corcovado Reef is southeast of San Francisco. It is approximately 1 km long and marks the end of the group (SC IPA, 2018). These islands are located in front of the littoral of the department of Lima, Peru, less than 1.8 km away from the beaches of southern Lima, which is why they are of easy access (Sernanp, 2009). These areas are protected by law and are composed of marine and insular ecosystems within the Pachacamac Island Natural Reserve polygon (Figure 1).

Pachacamac has a record of 23 bird species, such as the peregrine falcon (*Falco peregrinus*) and the turkey vulture (*Cathartes* sp.), among others. It also harbors one of the largest colonies of the Humboldt penguin (*Spheniscus humboldt*) along the Peruvian coast (Birdlife, 2008). Figure 1 shows the points in the Pachacamac Island conservation sector that exhibit high vessel traffic due to fishing activities using handlines, diving, and nets, as well as touristic activities including paddling, kayaking, surfing, and water scooter and yacht rides (SC IPA, 2018).

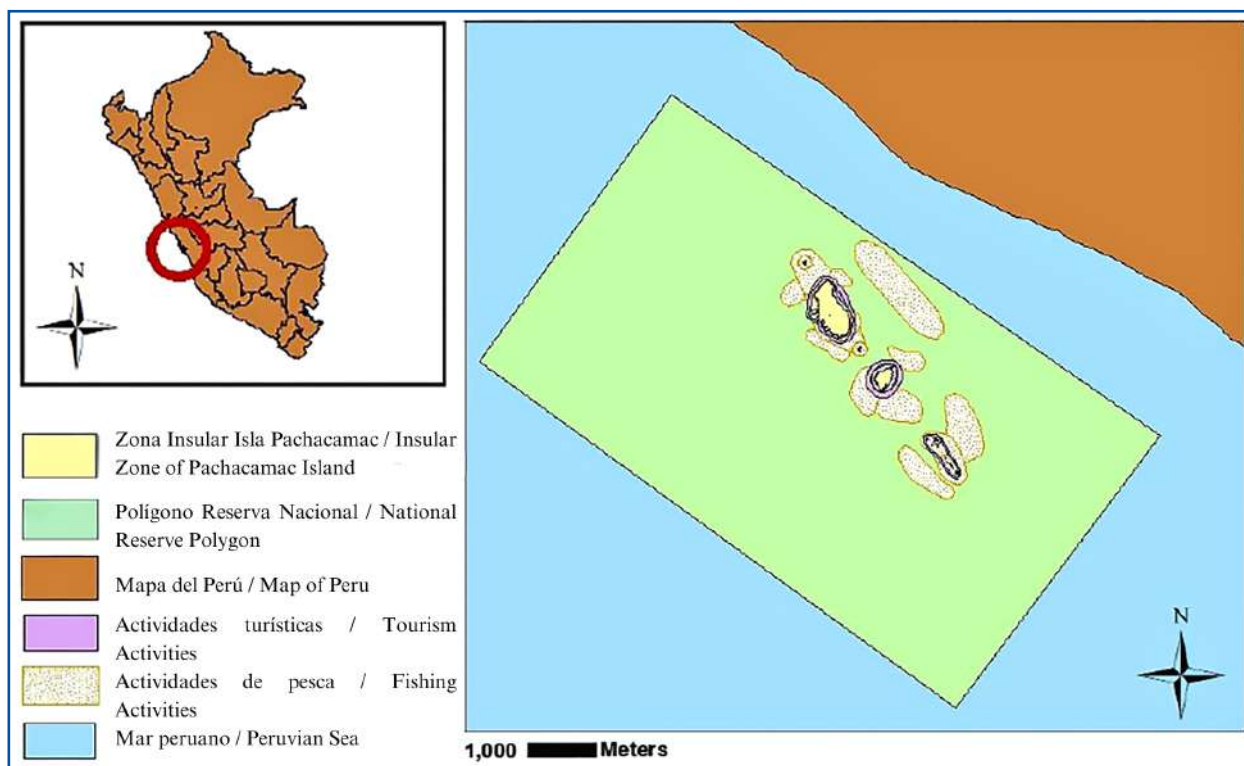


Figura 1. ANP isla Pachacamac y áreas de pesca y turismo.

Figure 1. PNA of Pachacamac Island and fishing and tourism areas.

Sector isla Asia

La isla Asia ($12^{\circ} 47' S$ y $76^{\circ} 37' O$) se ubica frente al balneario del distrito de Asia, en la región Lima, Perú, a 1.6 km de la costa. Tiene un área terrestre de 152 ha y un área marina de 3865.53 ha, cubriendo una extensión total de 3929.58 ha; sus dimensiones son 1.19 km de largo y 0.75 km de ancho, en sus lados más extensos. La altitud máxima es de 123 msnm. Las aves guaneras son representativas de la amplia fauna silvestre que existe en isla Asia. Ciento cinco mil aves habitan en la isla, de un total de cuatro millones de aves guaneras que existen en islas y puntas del Perú (Figueroa *et al.*, 2016). El ANP isla Asia está conformada por ecosistemas marinos e insulares del polígono Reserva Nacional Isla Asia (Figura 2).

Esta isla tiene un registro de 30 especies de aves, entre ellas el pingüino de Humboldt (*S. humboldti*), potoyunco peruano (*Pelecanoides garnotii*), golondrina de mar de Wilson (*Oceanites oceanicus*), camanay (*Sula nebouxii*), piquero peruano (*S. variegata*), entre otras. En el caso de mamíferos, se registraron cuatro especies: vampiro común (*Desmodus rotundus*), lobo marino chusco (*Otaria byronia*), nutria marina (*Lontra felina*) y delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*). El lobo marino chusco y la nutria marina fueron considerados en situación de amenaza. En

Asia Island sector

Asia Island ($12^{\circ} 47' S$ and $76^{\circ} 37' O$) is located in front of the beach resort of the district of Asia, in the region of Lima, Peru, 1.6 km off the coast. It has a land area of 152 ha and a marine area of 3865.53 ha, spanning a total 3929.58 ha. It is 1.19 km long and 0.75 km wide on its broadest sides. Its maximum altitude is 123 masl. Guano-feeding seabirds are representative of the extensive wildlife in Asia Island. 105 000 birds inhabit the island, out of a total four million guano-feeding seabirds in the islands and points of Peru (Figueroa *et al.*, 2016). The PNA of Asia Island comprises marine and insular ecosystems of the Asia Island Natural Reserve polygon (Figure 2).

This island has a record of 30 species, among them the Humboldt penguin (*S. humboldti*), the Peruvian diving petrel (*Pelecanoides garnotii*), Wilson's storm-petrel (*Oceanites oceanicus*), the blue-footed booby (*Sula nebouxii*), and the Peruvian booby (*S. variegata*), among others. As for mammals, four species have been recorded: the common vampire bat (*Desmodus rotundus*), the sea lion (*Otaria byronia*), the marine otter (*Lontra felina*), and the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). The sea lion and the marine otter are considered to be threatened species. The recorded reptiles include lizard (*Microlophus peruvianus*) and

reptiles se tienen especies de lagartija (*Microlophus peruvianus*) y tortuga verde (*Chelonia mydas*), esta última considerada en situación de amenaza (Sernanp, 2016a).

green sea turtle (*Chelonia mydas*) species, with the latter also threatened (Sernanp, 2016a).

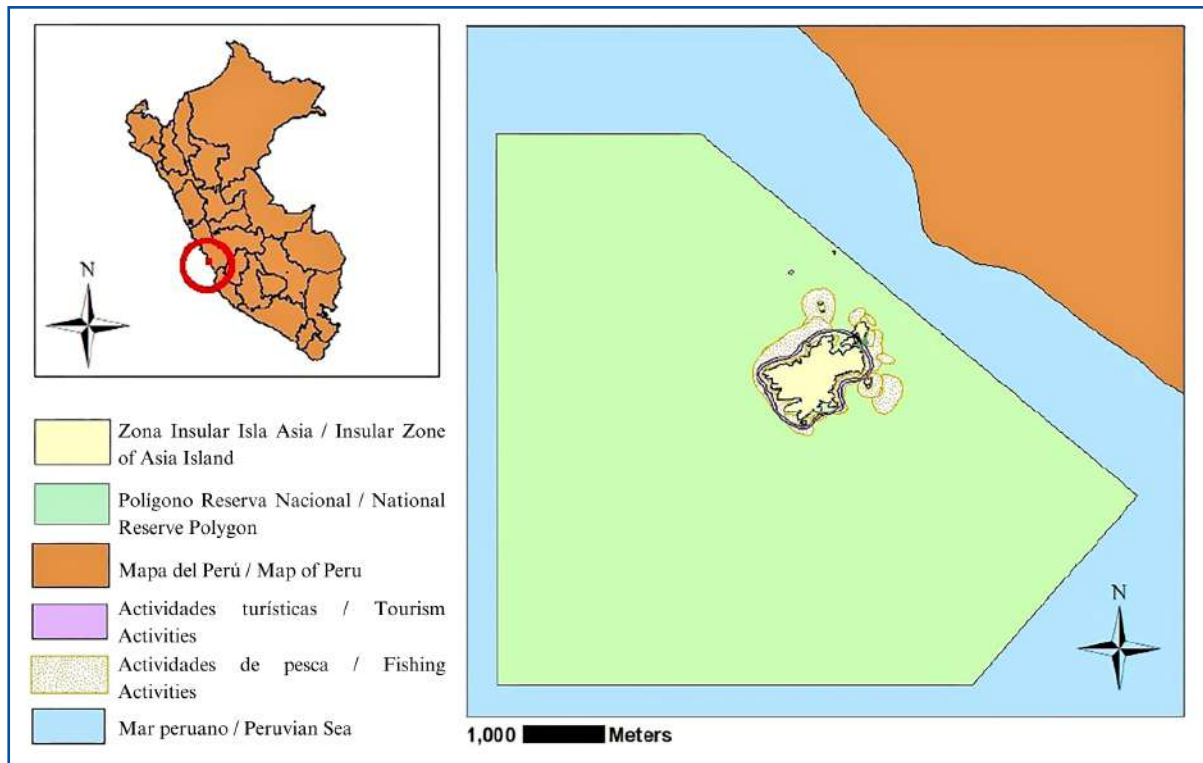


Figura 2. ANP isla Asia y áreas de pesca y turismo.

Figure 2. PNA of Asia Island and fishing and tourism areas.

Cuenta con actividad recreativa acuática especialmente en verano (GEF Guaneras, 2016); las actividades antrópicas de mayor riesgo en isla Asia son la pesca artesanal, el turismo náutico no regulado, los impactos sonoros y visuales no regulados, la competencia por los recursos, así como el disturbio que provocan las campañas de extracción de guano y la contaminación que genera. La pesca que se realiza en el sector isla Asia es de tipo cordel de mano, redes y buceo. Las actividades turísticas que se realizan son kayak, moto acuática, esquí acuático y nado (SC IPA, 2018). Las islas Asia y Pachacamac tienen una diversidad similar, con un índice de diversidad Shannon H' de 0 a 1.7 y de 0 a 2.1 respectivamente (Sernanp, 2017).

Asia Island exhibits aquatic recreational activities especially in summer (GEF Guaneras, 2016). The anthropic activities posing the highest risk on Asia Island are artisanal fishing, unregulated nautical tourism, unregulated sound and visual impacts, competition for resources, and the disturbances caused by guano extraction campaigns, as well as the pollution they generate. The fishing carried out in the Asia Island sector involves handlines, nets, and diving. The touristic activities performed are kayaking, water scooter rides, waterskiing, and swimming (SC IPA, 2018). The Asia and Pachacamac Islands feature a similar diversity, with Shannon H' indices of 0-1.7 and 0-2.1, respectively (Sernanp, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALS AND METHODS

Estaciones de muestreo

Sampling stations

El muestreo se realizó en la zona marina de IPA. Las estaciones de muestreo se establecieron en puntos de alto tráfico de embarcaciones por las actividades de pesca y turismo (Figuras

Sampling was carried out in the marine zone of the IPA. Sampling stations were set up at points of high vessel traffic due to fishing and touristic activities (Figures 3 and 4). The characteristics

3 y 4). Se tomaron en cuenta las características propias de los ecosistemas como la accesibilidad, la batimetría y los recursos disponibles.

of the ecosystems were considered, such as their accessibility, bathymetry, and available resources.

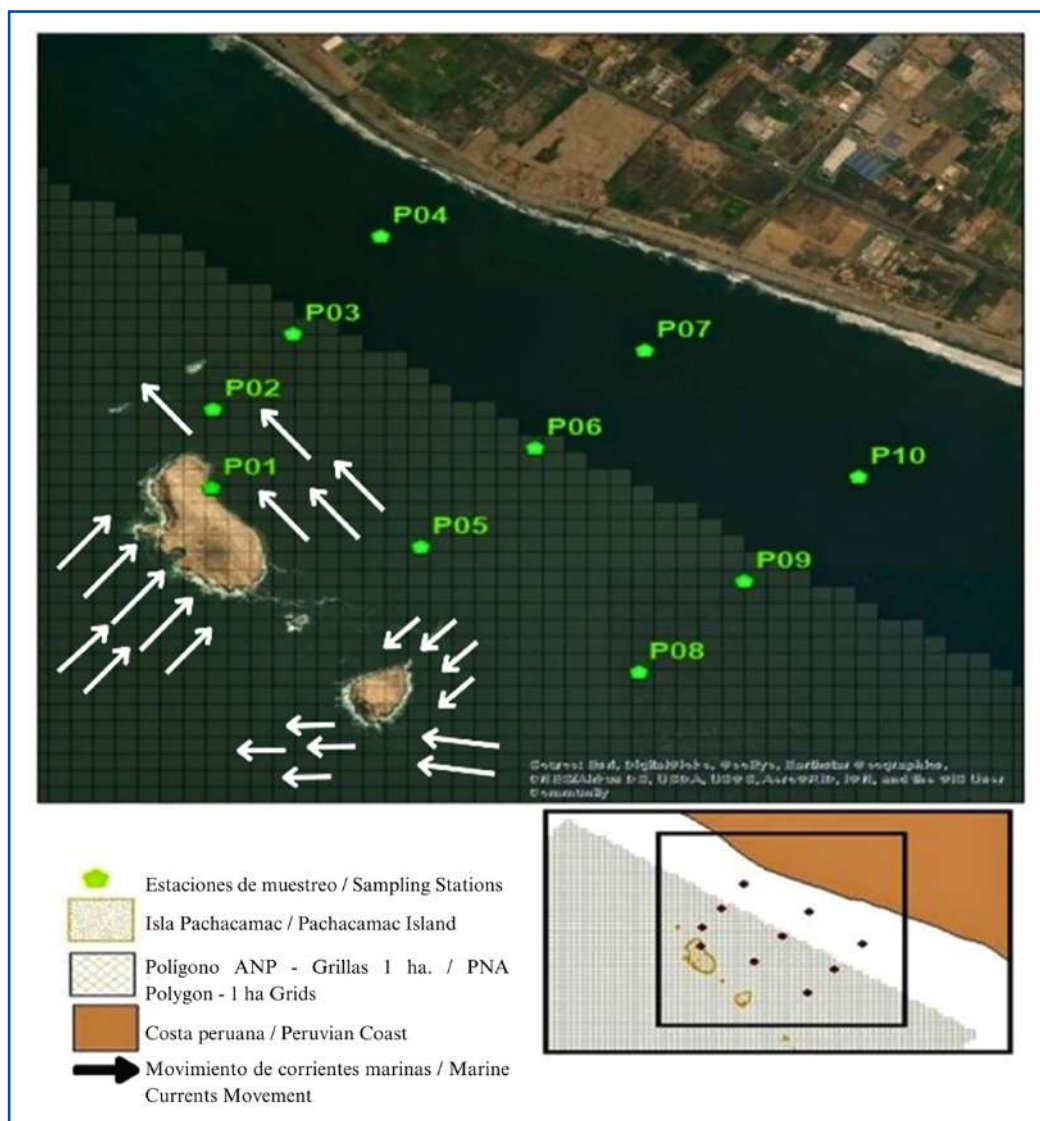


Figura 3. Estaciones de muestreo de hidrocarburos – Isla Pachacamac.

Figure 3. Hydrocarbon sampling stations – Pachacamac Island.

En el caso de isla Pachacamac, se establecieron 10 estaciones de muestreo; sin embargo, no se pudo extraer sedimento en dos estaciones (P01 y P03) debido a que P03 es una zona rocosa y P01 se encontraba muy cerca de un punto en donde estaban aposentadas aves guaneras que no deben ser perturbadas.

In the case of Pachacamac Island, 10 sampling stations were established. However, no sediments could be extracted from stations P01 and P03, as the latter was located in a rocky zone and the former was very close to a point where guano-feeding seabirds that should not be disturbed had taken refuge.

En el caso de isla Asia, se establecieron nueve estaciones de muestreo. Sin embargo, no se pudo extraer sedimento en tres estaciones (A01, A04 y A07); las estaciones A04 y A07 presentaban sustrato rocoso y A-01 se encontraba muy cerca de aves guaneras aposentadas que no deben ser perturbadas.

In the case of Asia Island, nine sampling stations were established. However, no sediments could be extracted from three stations (A01, A04, and A07). Stations A04 and A07 exhibited a rocky substrate, and A01 was very close to perched guano-feeding seabirds that should not be disturbed.

Tabla 1. Estaciones de muestreo de hidrocarburos – Isla Pachacamac.

Table 1. Hydrocarbon sampling stations – Pachacamac Island.

Coordenadas UTM de estaciones de muestreo: isla Pachacamac / UTM coordinates of the sampling stations at Pachacamac Island			
N°	Nombre del punto de muestreo / Sampling point name	Longitud / Longitude	Latitud / Latitude
1	P01	293098.409	8639574.008
2	P02	295473.565	8639017.838
3	P03	293461.756	8640492.977
4	P04	293108.639	8640041.794
5	P05	295029.846	8640397.879
6	P06	295984.289	8639640.693
7	P07	294035.091	8639223.737
8	P08	295001.015	8638479.512
9	P09	293856.289	8641077.617
10	P10	294538.429	8639814.851

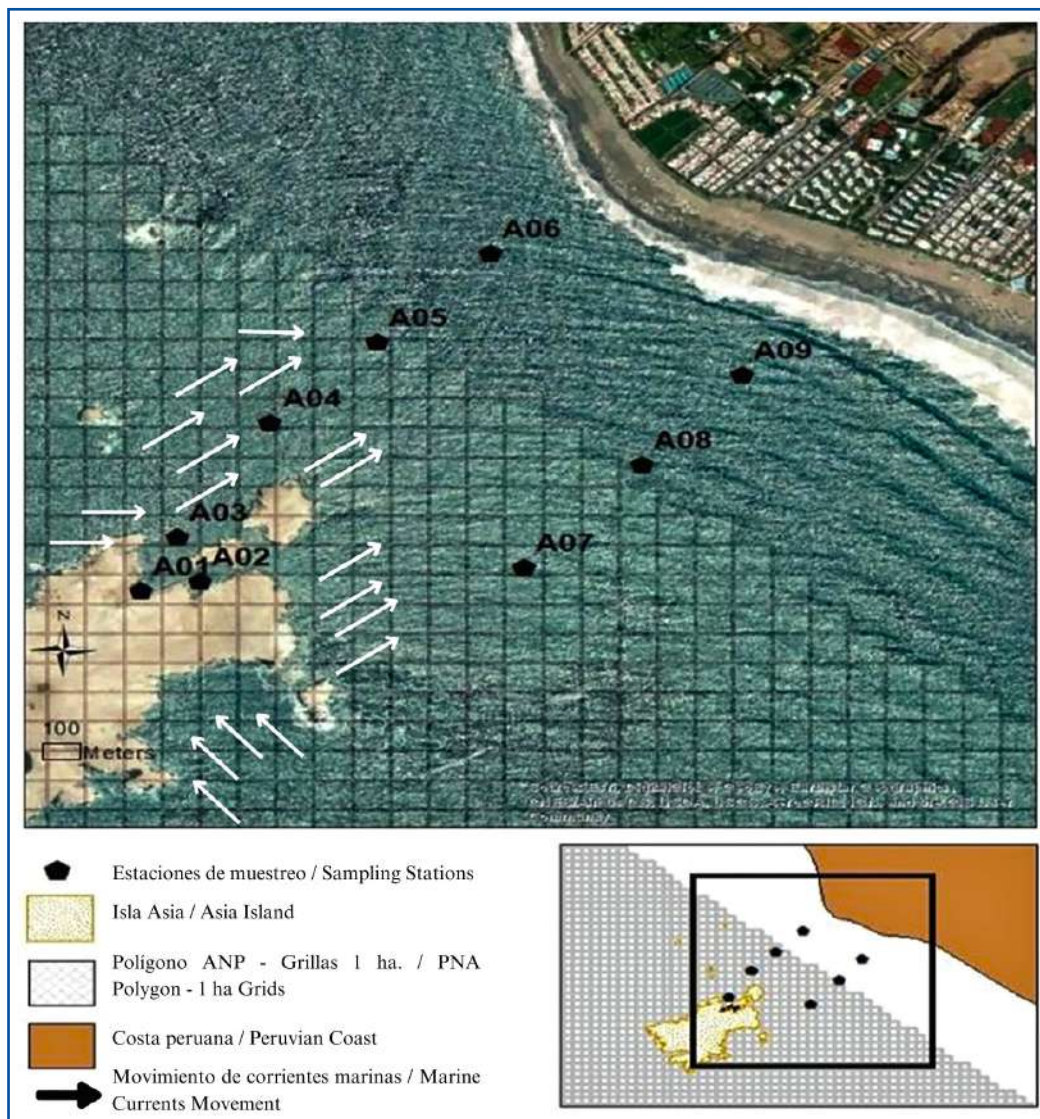


Figura 4. Estaciones de muestreo de hidrocarburos – Isla Asia.

Figure 4. Hydrocarbon sampling stations – Asia Island.

Tabla 2. Estaciones de muestreo de hidrocarburos – Isla Asia.**Table 2.** Hydrocarbon sampling stations – Asia Island.

Coordenadas UTM de estaciones de muestreo: isla Asia / UTM coordinates of the sampling stations in Asia Island			
N°	Nombre del punto de muestreo / Sampling point name	Longitud / Longitude	Latitud / Latitude
1	A01	324111.103	8585569.740
2	A02	324264.619	8585602.290
3	A03	324206.199	8585751.970
4	A04	324449.856	8586139.790
5	A05	324731.046	8586414.000
6	A06	325027.570	8586715.940
7	A07	325115.586	8585650.380
8	A08	325423.436	8585999.760
9	A09	325685.060	8586305.420

En ambas islas, las estaciones de muestreo se establecieron en tres transectos, paralelos entre sí, desde la costa hacia las islas. La mayoría de las estaciones se determinaron en forma de cuadrícula, haciendo una distribución equitativa entre el área insular de IPA y la costa peruana. Se establecieron algunas estaciones de monitoreo fuera de las ANP IPA, para identificar si la zona urbana es fuente generadora de hidrocarburos.

Recolecta de muestras

La recolecta de muestras de sedimentos marinos para la evaluación de hidrocarburos alifáticos y variables de granulometría y materia orgánica, se realizó en 2018, tomando como referencia el protocolo de muestreo, agua, sedimentos y organismos acuáticos de Imarpe (2013) y el documento requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales (ALAB, 2018), de la siguiente manera: se realizó una visita a cada Área Natural Protegida portando un dispositivo GPS y material impreso de coordenadas de las estaciones de muestreo. En cada estación, se extrajo una muestra de sedimento marino superficial con una draga tipo Van Veen; luego se utilizó una espátula de metal y se colocaron aproximadamente 300 g de sedimento para la evaluación de hidrocarburos en doble papel aluminio y se envolvió la muestra hasta cubrirla totalmente, posteriormente fue transferida a una bolsa sellable hermética y rotulada. De la misma manera, se colocaron 200 g de sedimento para el análisis de contenido de materia orgánica. Para el análisis granulométrico las muestras se colocaron directamente en bolsas sellables herméticas y rotuladas. Las muestras para análisis de hidrocarburos fueron refrigeradas para evitar alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas hasta su traslado al laboratorio.

In both islands, the sampling stations were established in three transects parallel to each other, from the coast towards the islands. Most of the sampling stations were set up in the form of a grid, with an equal distribution between the insular area of the IPA and the Peruvian coast. Some sampling stations were established outside the PNAs of the IPA, in order to verify whether or urban areas constituted a hydrocarbon source.

Sample collection

In 2018, marine sediment samples were collected for the evaluation of aliphatic hydrocarbons and granulometry and organic matter variables, taking Imarpe's water, sediments, and aquatic organisms sampling protocol (2013) and the minimum requirements for assays with environmental samples (ALAB, 2018) as reference. This was done as follows. Each PNA was visited while carrying a GPS device and printed material on the sampling stations' coordinates. At each station, a marine surface sediment sample was extracted using a Van Veen grab. Then, a metal spatula was employed to place approximately 300 g of sediment within two layers of aluminum foil for hydrocarbon evaluation. The samples were wrapped until they were completely covered. Afterwards, they were transferred to a hermetic and labeled sealable bag. In the same way, 200 g of sediment were extracted for organic matter analysis. For the granulometric analysis, the samples were directly placed into hermetic and labeled sealable bags. The samples used for the hydrocarbon analysis were refrigerated to avoid alterations to their physicochemical properties until they were transported to the laboratory.

Análisis de muestras

La evaluación de hidrocarburos alifáticos se realizó por el laboratorio del Imarpe utilizando el respectivo protocolo (Imarpe, 2019) y el manual Determinación de los hidrocarburos de petróleo en los sedimentos de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI, 1982). El análisis de hidrocarburos alifáticos estuvo basado en el método de cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de llama (CG-FID).

Para la mineralización de la matriz de sedimento se utilizaron entre 80 y 100 g de muestra de sedimento húmedo que se colocó en un balón, se agregaron 100 ml de metanol bidestilado, 3 g de hidróxido de potasio (KOH) y cuerpos sólidos de ebullición. Se realizó una mezcla de 0.5 mg/ml de bifenilo antraceno y pireno, disueltos en hexano. Se hizo refluir la mezcla durante hora y media.

El extracto anterior se utilizó para la extracción de los hidrocarburos alifáticos; para ello se esperó a llegar a temperatura ambiente y se pasó a un embudo de separación para separar la fase de metanol y de pentano. Posteriormente se extrajo con 25 ml de pentano. La fase de pentano se pasó a un matraz de evaporación y con un rotavapor se redujo el volumen a 0.5 ml. Se trasvasó el volumen reducido a un vial de vidrio utilizando pentano, luego se concentró el extracto hasta obtener 0.2 ml utilizando gas nitrógeno. La separación de compuestos alifáticos y aromáticos se realizó utilizando una columna de sílice fundida DB-5MS con una temperatura que estuvo entre 290 y 340 °C. Posteriormente se efectuó la cromatografía de gases con detector de ionización de llamas (FID) para la obtención de hidrocarburos alifáticos totales (resueltos y no resueltos), referido a muestra seca en µg/g.

El análisis granulométrico y contenido de materia orgánica se realizó en el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. La granulometría se evaluó con base en la Norma Técnica Peruana 339.128:1999, revisada en 2014 y la materia orgánica se evaluó en base a la Norma Oficial Mexicana 021 – Recnat -2000 (ALAB, 2019).

Cálculo de índices de origen de los hidrocarburos

El cálculo del Índice de Preferencia del Carbono (CPI), se basó en la fórmula propuesta por Nevenzel (1989):

$$CPI_{x-y} = \frac{\sum \% HC \text{ Impares}}{\sum \% HC \text{ Pares}} \cdot \frac{D}{N}$$

donde D = número de homólogos pares entre la cadena de longitud x e y, y N = número de homólogos impares en este

Sample analysis

The aliphatic hydrocarbons evaluation was conducted by and Imarpe laboratory while following the corresponding protocol (Imarpe, 2019) and the manual for determining petroleum hydrocarbons in sediments issued by the International Oceanographic Commission (COI, 1982). The aliphatic hydrocarbon analysis was based on the gas chromatography method, coupled with a flame ionization detector (CG-FID).

To mineralize the sediment matrix, 80-100 g of wet sediment samples were used. These samples were placed in a flask, adding 100 ml of bidistilled methanol, 3 g of potassium hydroxide (KOH), and boiling chips. A solution of 0.5 mg/ml biphenyl, anthracene, and pyrene dissolved in hexane was prepared. The mixture was refluxed for an hour and a half.

The aforementioned extract was used for aliphatic hydrocarbon extraction. To this effect, we waited until room temperature was reached and transferred the extract to a separatory funnel in order to separate the methanol and pentane phases. This was then extracted with 25 ml of pentane. The pentane phase was placed into an evaporator flask, and, using a rotary evaporator, the volume was reduced to 0.5 ml. The reduced volume was transferred to a glass vial using pentane. Then, the extract was concentrated by means of nitrogen gas until 0.2 ml were obtained. Aliphatic and aromatic compounds separation was carried out using a DB-5MS fused silica column, at a temperature of 290-340 °C. Afterwards, gas chromatography was carried out with FID to obtain the total aliphatic hydrocarbons (resolved and unresolved), expressed as µg/g of dry sample.

The granulometry and organic matter content analyses were conducted at the Analytical Laboratory E.I.R.L. Granulometry was evaluated based on the 339.128:1999 Peruvian Technical Norm, which was revised in 2014, and the organic matter content was evaluated by means of Official Mexican Norm 021 – Recnat-2000 (ALAB, 2019).

Calculating the hydrocarbons' origin indices

The Carbon Preference Index (CPI) calculations were based on the formula proposed by Nevenzel (1989):

$$CPI_{x-y} = \frac{\sum \% \text{ Odd HC Impares}}{\sum \% \text{ Even HC}} \cdot \frac{D}{N}$$

intervalo. Normalmente muestra valores mayores a la unidad para hidrocarburos de origen biogénico, mientras que los valores menores a la unidad indican hidrocarburos de origen petrogénico (Peters *et al.*, 2005).

El índice BMP / AMP (relación de hidrocarburos de bajo peso molecular a los de alto peso molecular) se define como:

$$\frac{BMP}{AMP} = \frac{\Sigma \text{Hidrocarburos menores e iguales a C20}}{\Sigma \text{Hidrocarburos mayores a C20}}$$

Los valores mayores a la unidad indican la presencia de algas, plancton y petróleo crudo; y los valores menores a la unidad indican presencia de bacterias sedimentarias, animales marinos y plantas superiores (González *et al.*, 2013). Snedaker *et al.* (1995) precisan que las cadenas de carbonos impares resaltan en muestras de material biológico, mientras que las de carbonos pares resaltan en muestras de material petrogénico. La relación entre pristano y fitano se calcula dividiendo la concentración del primero entre la concentración de fitano; los valores cercanos a la unidad indican que son derivados del petróleo y los valores entre 1.4 y 6.7 indican que son de origen biogénico (Peters *et al.*, 2005).

Distribución espacial de hidrocarburos respecto a la concentración

La interpolación IDW es un procedimiento matemático por el cual se obtienen nuevos valores en puntos no muestreados a partir de valores obtenidos en puntos muestreados. Las estimaciones de la mayoría de los métodos de interpolación espacial se pueden representar como medias ponderadas de los datos incluidos en la muestra (Oliver y Webster, 2007). En la presente investigación, la interpolación se realizó con los resultados de laboratorio de la concentración de hidrocarburos alifáticos en el software ArcGIS. Se utilizaron mapas de las ANP IPA grillados predeterminadamente por Sernanp en cuadrículas de una hectárea, de acuerdo con su metodología efectos por actividades (Sernanp, 2014). El grillado facilita la localización del ámbito en donde ocurre la contaminación ambiental a gran escala.

RESULTADOS

Isla Pachacamac

En la tabla 3 se observa que la cantidad de hidrocarburos alifáticos en isla Pachacamac oscila entre un mínimo de 2.07 µg/g (estación P07) y un máximo de 7.56 µg/g (estación P08).

where D = the number of even homologues between chains of lengths x and y, and N = the number of odd homologues in this interval. Typically, values greater than one indicate hydrocarbons of biogenic origin, while values below one indicate hydrocarbons of petrogenic origin (Peters *et al.*, 2005).

The BMP/AMP index (*i.e.*, the ratio of hydrocarbons of low molecular weight to those of high molecular weight) is defined as:

$$\frac{BMP}{AMP} = \frac{\Sigma \text{Hydrocarbons lighter than or equal to C20}}{\Sigma \text{Hydrocarbons heavier than C20}}$$

Values greater than one indicate the presence of algae, plankton, and crude oil, and lower values indicate the presence of sedimentary bacteria, marine animals, and higher plants (González *et al.*, 2013). Snedaker *et al.* (1995) state that odd carbon chains stand out in biological material samples, whereas even ones stand out in samples with petrogenic material. The ratio between pristane and phytane is calculated by dividing the concentration of the former by that of the latter. Values close to one indicate that they are petroleum derivatives, and values between 1.4 and 6.7 indicate a biogenic origin (Peters *et al.*, 2005).

Spatial distribution of the hydrocarbons with respect to concentration

IDW interpolation is a mathematical procedure through which new values for unsampled points are obtained from values for sampled points. The estimates of most spatial interpolation methods can be represented as weighted means of the data included in the sample (Oliver and Webster, 2007). In this work, interpolation was carried out with the lab results concerning the concentration of aliphatic hydrocarbons in the ArcGIS software. Maps of the PNA of the IPA were used, pre-gridded by Sernanp in 1 ha grids, according to their effects by activities methodology (Sernanp, 2014). Gridding facilitates locating areas where large-scale pollution occurs.

RESULTS

Pachacamac Island

Table 3 shows that the amount of aliphatic hydrocarbons in Pachacamac Island oscillates between a minimum of 2.07 µg/g (P07 station) and a maximum of 7.56 µg/g (P08 station).

Tabla 3. Concentración de hidrocarburos alifáticos totales y nivel de contaminación en isla Pachacamac, noviembre de 2018.

Table 3. Concentration of total aliphatic hydrocarbons and pollution level at Pachacamac Island in November 2018.

N°	Estación / Station	Profundidad (metros) / Depth (meters)	Alifáticos totales / Total aliphatic hydrocarbons (µg/g)	Nivel de contaminación según Saravia (2007) / Pollution level according to Saravia (2007)
1	P02	7 m	2.41	Sin contaminación / No pollution
2	P04	10 m	4.25	Sin contaminación / No pollution
3	P05	10 m	5.58	Sin contaminación / No pollution
4	P06	12 m	3.16	Sin contaminación / No pollution
5	P07	12 m	2.07	Sin contaminación / No pollution
6	P08	12 m	7.56	Sin contaminación / No pollution
7	P09	9 m	5.65	Sin contaminación / No pollution
8	P10	11 m	4.42	Sin contaminación / No pollution

En la figura 5 se observa la distribución espacial de los hidrocarburos de isla Pachacamac, respecto a su concentración en µg/g. En donde el área que presenta color amarillo claro tiene una concentración estimada entre 2.07 y 3.00 µg/g de hidrocarburos alifáticos, mientras que la de color azul oscuro oscila entre 6.01 y 7.56 µg/g. Así mismo, se pueden identificar

In Figure 5, the spatial distribution of hydrocarbons in Pachacamac Island can be observed with regard to their concentration in µg/g. Here, the light-yellow area represents an estimated concentration between 2.07 and 3.00 µg/g, while the dark blue area oscillates between 6.01 and 7.56 µg/g. Likewise, other areas with different concentrations can be identified according to their corresponding

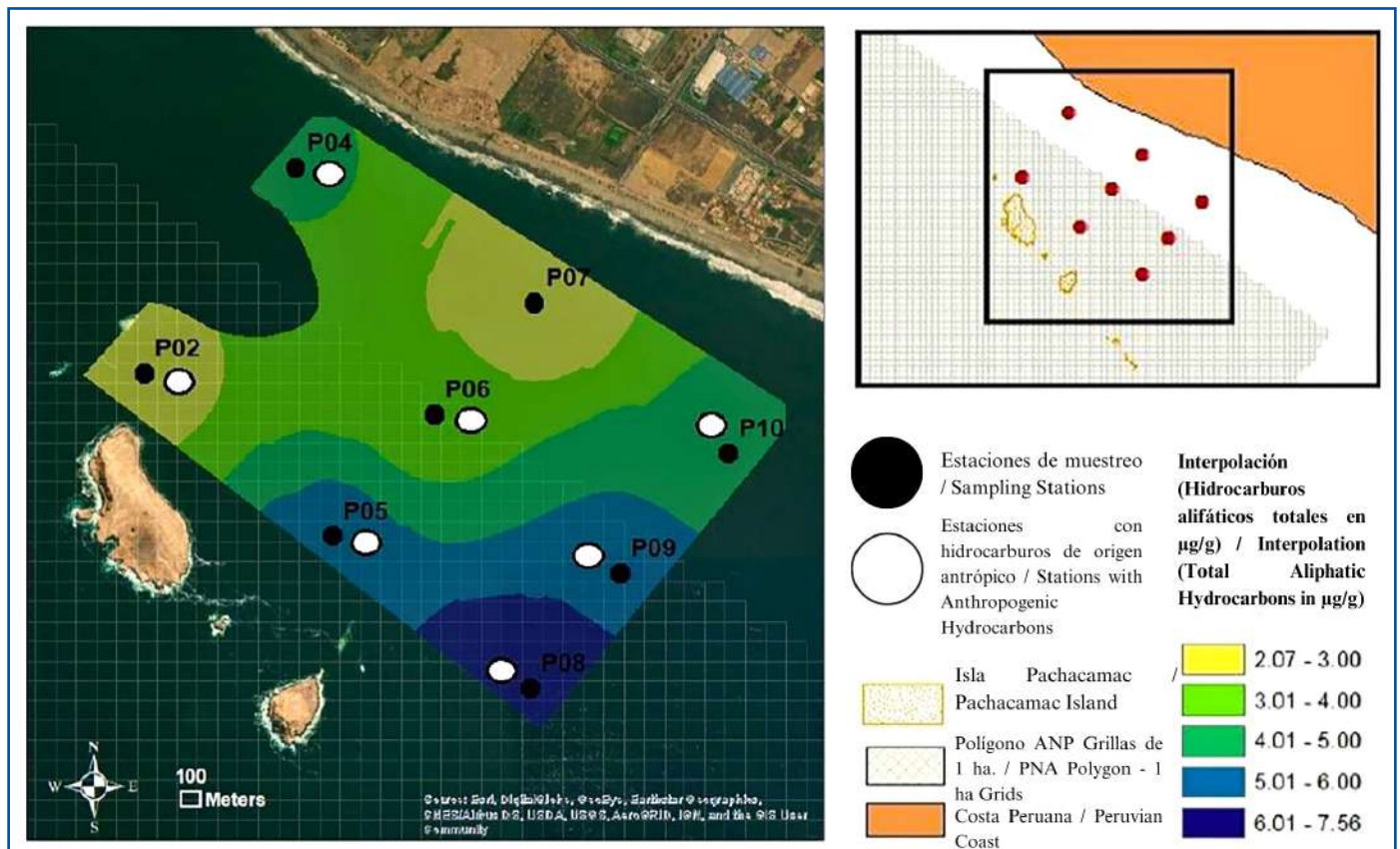


Figura 5. Distribución espacial de hidrocarburos alifáticos mediante interpolación IDW en isla Pachacamac.

Figure 5. Spatial distribution of aliphatic hydrocarbons as obtained by means of IDW interpolation in Pachacamac Island.

otras áreas con diferentes concentraciones según la escala de colores correspondiente. Ninguna estación de muestreo en isla Pachacamac presentó contaminación ni sobrepasó el valor máximo de protección para la vida acuática de 500 µg/g propuesto por la normativa canadiense (CEQG, 2011).

En la Tabla 4 se identifica el origen de los hidrocarburos en isla Pachacamac, comparando a su vez los resultados de cuatro índices de procedencia de hidrocarburos. En donde 88 % del sector evaluado en isla Pachacamac presenta la presencia de hidrocarburos alifáticos de origen petrogénico.

Tabla 4. Origen de los hidrocarburos alifáticos en isla Pachacamac (Imarpe, 2018).

N°	Estación / Station	Índices de procedencia de hidrocarburos alifáticos / Aliphatic hydrocarbon provenance indices			
		(*) CPI	Hidrocarburo mayor / Largest hydrocarbon	(**) BMP / AMP	Pristano - fitano / Pristane - phytane
1	P02	0.40 - Petrogénico / 0.40 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	1/3 - Biogénico + petrogénico / 1/3 - Biogenic + petrogenic	No aplica / Not applicable
2	P04	0.15 - Petrogénico / 0.15 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	4/4 - Biogénico + petrogénico / 4/4 - Biogenic + petrogenic	0.55 Petrogénico / 0.55 Petrogenic
3	P05	0.20 - Petrogénico / 0.20 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	4/4 - Biogénico + petrogénico / 4/4 - Biogenic + petrogenic	0.56 Petrogénico / 0.56 Petrogenic
4	P06	0.04 - Petrogénico / 0.04 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	2/3 - Biogénico / 2/3-Biogenic	No aplica / Not applicable
5	P07	1.41 - Biogénico / 1.41 - Biogenic	C23 - Biogénico / C23 - Biogenic	No aplica / Not applicable	No aplica / Not applicable
6	P08	0.26 - Petrogénico / 0.26 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	4/4 - Biogénico + petrogénico / 4/4 - Biogenic + petrogenic	0.58 Petrogénico / 0.58 Petrogenic
7	P09	0.12 - Petrogénico / 0.12 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20-Petrogenic	4/3 - Biogénico + petrogénico / 4/3 - Biogenic + petrogenic	0.63 Petrogénico / 0.63 Petrogenic
8	P10	0.21 - Petrogénico / 0.21 - Petrogenic	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	3/3 - Biogénico + petrogénico / 3/3 - Biogenic + petrogenic	0.42 Petrogénico / 0.42 Petrogenic

(*) CPI: Índice de Preferencia de Carbono.

(**) BMP / AMP: Relación de hidrocarburos de bajo peso molecular a los de alto peso molecular.

(*) CPI: carbon preference index.

(**) BMP / AMP: ratio of hydrocarbons of low molecular weight to those of high molecular weight.

Las tablas 5 y 6 muestran la granulometría y materia orgánica de las muestras de sedimento marino. Es información adicional y complementaria para que sea usada como fuente de conocimiento y posterior aplicabilidad en investigaciones que se realicen en isla Pachacamac.

Tables 5 and 6 show the granulometry and organic matter of the marine sediment samples. This is additional and complementary information that can be used as a source of knowledge and later applied in research conducted in Pachacamac Island.

Tabla 5. Granulometría isla Pachacamac (ALAB, 2019).

Table 5. Granulometry of Pachacamac Island (ALAB, 2019).

LCM (Límite de cuantificación del método): 0.0002 / LCM (Limit of quantification of the method): 0.0002				
Estación / Station	Parámetros / Parameters (%)			
	Grava / Gravel	Arena / Sand	Limo / Silt	Arcilla / Clay
P02	19.32	80.65	0.03	< 0.0002
P04	< 0.0002	72.38	21.38	6.24
P05	< 0.0002	60.92	31.88	7.20
P06	< 0.0002	98.17	1.69	0.14
P07	< 0.0002	70.68	22.08	7.24
P08	< 0.0002	70.31	22.18	7.51
P09	< 0.0002	65.44	27.46	7.10
P10	< 0.0002	73.80	21.15	5.05

Tabla 6. Materia orgánica isla Pachacamac (ALAB, 2019).

Table 6. Organic matter in Pachacamac Island (ALAB, 2019).

LCM (Límite de cuantificación del método / Limit of quantification of the method): 0.10	
Estación / Station	Materia orgánica / Organic matter (%)
P02	0.13
P04	0.13
P05	1.64
P06	0.24
P07	0.13
P08	0.74
P09	0.34
P10	< 0.10

Isla Asia

En la tabla 7 se observa que el rango de concentraciones de hidrocarburos alifáticos en isla Asia oscila entre un mínimo de 3.20 (estación A09) y un máximo de 13.21 $\mu\text{g/g}$ (estación A02).

Tabla 7. Concentración de hidrocarburos alifáticos totales y nivel de contaminación en isla Asia, noviembre 2018.

N°	Estación / Station	Profundidad (metros) / Depth (meters)	Alifáticos totales / Total aliphatic hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$)*	Nivel de contaminación según Saravia (2007) / Pollution level according to Saravia (2007)
1	A02	4 m	13.21	Contaminación leve a moderada / Mild to moderate pollution
2	A03	5 m	5.38	Sin contaminación / No pollution
3	A05	7 m	4.14	Sin contaminación / No pollution

Asia Island

Table 7 shows that the aliphatic hydrocarbon concentration range in Asia Island oscillates between a minimum of 3.20 $\mu\text{g/g}$ (A09 station) and a maximum of 13.21 $\mu\text{g/g}$ (station A02).

Table 7. Concentration of total aliphatic hydrocarbons and pollution level in Asia Island in November 2018.

N°	Estación / Station	Profundidad (metros) / Depth (meters)	Alifáticos totales / Total aliphatic hydrocarbons (µg/g)*	Nivel de contaminación según Saravia (2007) / Pollution level according to Saravia (2007)
4	A06	6 m	4.68	Sin contaminación / No pollution
5	A08	7 m	3.77	Sin contaminación / No pollution
6	A09	5 m	3.20	Sin contaminación / No pollution

En la figura 6 se observa la distribución espacial de los hidrocarburos de isla Asia, respecto a su concentración en µg/g. El área que presenta color amarillo claro tiene una concentración estimada entre 3.20 y 4 µg/g de hidrocarburos, mientras que la de color azul oscuro oscila entre 13.01 y 13.21 µg/g de hidrocarburos. Así mismo, se pueden identificar áreas con diferentes concentraciones según los colores descritos en la leyenda de la figura.

In Figure 6, the spatial distribution of hydrocarbons in Asia Island is presented with respect to their concentration in µg/g. The light-yellow area represents an estimated hydrocarbons concentration of 3.20-4 µg/g, while the dark blue area oscillates between 13.01 and 13.21 µg/g. Likewise, areas with different concentrations can be identified, according to the colors described in the Figure's legend.

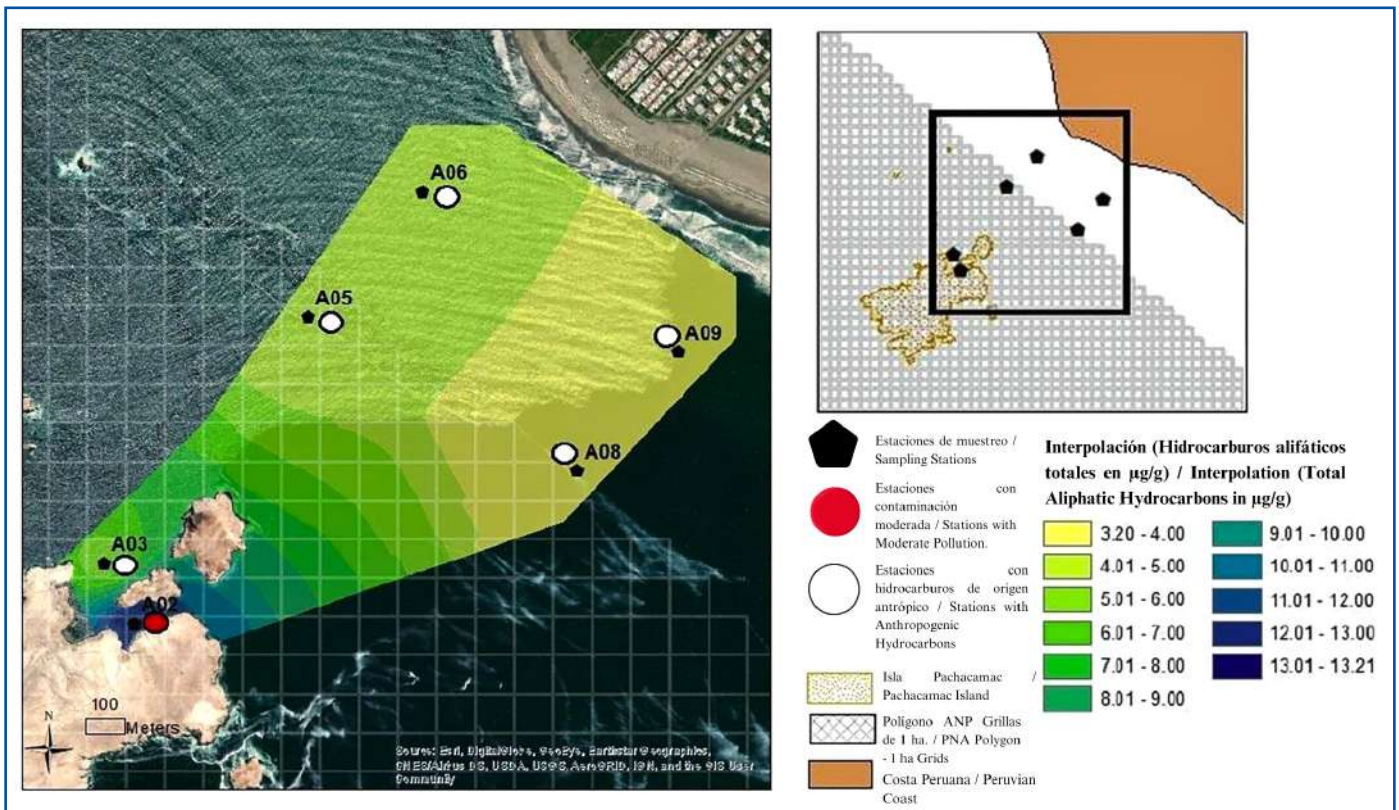


Figura 6. Interpolación IDW Distribución espacial de hidrocarburos alifáticos mediante interpolación IDW en isla Asia.

Figure 6. Spatial distribution of aliphatic hydrocarbons in Asia Island, as obtained through IDW interpolation.

En la Tabla 8 se identifica el origen de los hidrocarburos en isla Asia, comparando a su vez los resultados de cuatro índices de procedencia de hidrocarburos. En donde 84 % del sector evaluado en isla Asia presenta hidrocarburos de origen petrogénico

Table 8 identifies the origin of the hydrocarbons in Asia Island while comparing the results for four hydrocarbon provenance indices. Here, 84 % of the evaluated sector in Asia Island exhibits hydrocarbons of petrogenic origin.

Tabla 8. Origen de los hidrocarburos alifáticos en isla Asia (Imarpe, 2018).

Table 8. Origin of the aliphatic hydrocarbons in Asia Island (Imarpe, 2018).

N°	Estación / Station	Índice de procedencia de hidrocarburos alifáticos / Aliphatic hydrocarbon provenance index			
		CPI	Hidrocarburo mayor / Largest hydrocarbon	BMP / AMP	Pristano - Fitano / Pristane - Phytane
1	A02	4.51	C21 - Biogénico / C21 - Biogenic	2/9 - Biogénico / 2/9-Biogenic	No aplica / Not applicable
2	A03	0.17	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	5/4 - Biogénico + petrogénico / 5/4 - Biogenic + petrogenic	No aplica / Not applicable
3	A05	0.17	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	5/4 - Biogénico + petrogénico / 5/4-Biogenic + petrogenic	No aplica / Not applicable
4	A06	0.15	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	5/4 - Biogénico + petrogénico / 5/4 - Biogenic + petrogenic	0.57 - Petrogénico / 0.57 - Petrogenic
5	A08	0.06	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	4/3 - Biogénico + petrogénico / 4/3 - Biogenic + petrogenic	No aplica / Not applicable
6	A09	0.06	C20 - Petrogénico / C20 - Petrogenic	2/3 - Biogénico + petrogénico / 2/3 - Biogenic + petrogenic	No aplica / Not applicable

Las tablas 9 y 10 muestran la granulometría y materia orgánica de las muestras de sedimentos marinos. Es información adicional y complementaria para que sea usada como fuente de conocimiento y posterior aplicabilidad en investigaciones que se realicen en isla Asia.

Tables 9 and 10 show the granulometry and organic matter of the marine sediment samples. This is additional and complementary information that can be used as a source of knowledge and later applied to research conducted in Asia Island.

Tabla 9. Granulometría isla Asia (ALAB, 2019).

Table 9. Granulometry of Asia Island (ALAB, 2019).

LCM (Límite de cuantificación del método / Limit of quantification of the method): 0.0002				
Estación / Station	Parámetros / Parameters (%)			
	Grava / Gravel	Arena / Sand	Limo / Silt	Arcilla / Clay
A02	39.87	57.99	2.02	0.12
A03	7.41	91.66	0.78	0.15
A05	12.31	85.74	1.85	0.10
A06	9.71	84.96	5.24	0.09
A08	0.31	90.99	7.68	1.02
A09	< 0.0002	72.38	25.17	2.45

Tabla 10. Materia Orgánica isla Asia (ALAB, 2019).

Table 10. Organic matter in Asia Island (ALAB, 2019).

LCM (Límite de cuantificación del método / Limit of quantification of the method): 0.10	
Estación / Station	% de materia orgánica / % organic matter (*LCM: 0.10)
A02	0.78
A03	0.56
A05	0.45
A06	0.45
A08	0.56
A09	0.88

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las concentraciones de hidrocarburos alifáticos totales en las estaciones muestreadas de la isla Pachacamac (**Tabla 4**) son consideradas sin riesgo de contaminación, de acuerdo con los estándares propuestos por Saravia (2007); sin embargo, existe una predominancia general de carbonos pares como C20, C22 y C24, lo que indican la presencia de materiales petrogénicos. La relación pristano / fitano y la evaluación de CPI indica que el origen de los hidrocarburos en las estaciones P02, P04, P05, P06, P08, P09 y P10 es por petróleo y sus derivados; la relación BMP / AMP indica que el origen es biogénico y petrogénico, lo cual sugiere que en estas estaciones es muy probable que haya presencia de algas, plancton, petróleo crudo y bacterias sedimentarias (González *et al.*, 2013). Lo anterior, podría deberse a que las estaciones P05, P06, P08 y P09 están dentro del área en donde se desarrollan actividades de pesca mediante redes y buceo. Así mismo, muy cerca a estas estaciones se desarrolla la pesca tipo cordel de mano y se realizan actividades turísticas como kayak, paseos en yate y moto acuática. En el caso de la estación P07, se infiere que, según los resultados obtenidos, el origen del hidrocarburo es de origen biogénico, según la clasificación propuesta por Peters *et al.* (2005).

De acuerdo con la distribución espacial de hidrocarburos alifáticos en isla Pachacamac mostrada en la interpolación (**Figura 5**), se observa que la mayor concentración de hidrocarburos se encuentra en la porción suroriental de la isla y hay una tendencia de disminución hacia nororiente; en dichas áreas se desarrollan actividades de pesca y turismo. Sin embargo, la presencia de hidrocarburos de origen petrogénico en las estaciones P04 y P10, alejadas de los puntos en donde se desarrollan pesca y turismo, puede deberse al traslado que realizan las embarcaciones desde la costa continental hacia la isla. Por otra parte, la distribución del contaminante podría estar influenciada por el movimiento de las corrientes marinas (**Figura 3**). En el punto de mayor concentración (estación P08), predominan las especies de conservación pintadilla y caracol, que pueden verse afectadas (Sernanp, 2017).

Según Calva *et al.* (2005), la laguna Sontecomapan en México cuenta con un manglar altamente productivo en donde se desarrollan actividades de pesca, turismo, ganadería y agricultura y ha sido afectado por la tala inmoderada. En los sedimentos marinos de esta laguna se encontraron rangos de concentración de hidrocarburos alifáticos desde 1.33 hasta 31.99 µg/g, determinándose que su origen era biogénico y pirolítico, este último

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The concentrations of total aliphatic hydrocarbons in the sampled stations of Pachacamac Island (**Table 4**) are considered to pose no risk of pollution according to the standards proposed by Saravia (2007). However, there is a general predominance of even carbons such as C20, C22, and C24, indicating the presence of petrogenic materials. The pristane/phytane ratio and an evaluation of the CPI indicate that the origin of the hydrocarbons at stations P02, P04, P05, P06, P08, P09, and P10 corresponds to petroleum and its derivatives. The BMP/AMP ratio indicates biogenic and petrogenic origins, suggesting that, at these stations, the presence of algae, plankton, crude oil, and sedimentary bacteria is very likely (González *et al.*, 2013). This could be due to the fact that stations P05, P06, P08, and P09 are within the area where fishing activities using nets and diving are carried out. Moreover, very close to the stations, handline fishing is performed, in addition to touristic activities such as kayaking and yacht and water scooter rides. In the case of station P07, it is inferred that, according to the results obtained, the hydrocarbons are of biogenic origin, as per the classification proposed by Peters *et al.* (2005).

According to the spatial aliphatic hydrocarbon distribution in Pachacamac Island, as obtained by means of interpolation (**Figure 5**), the highest hydrocarbon concentration is found in the southeastern portion of the island, and there is a decreasing trend towards the north. In these areas, fishing and tourism are carried out. However, the presence of petrogenic hydrocarbons at stations P04 and P10, which are far from these areas, may be due to transport by vessels from the continental coast to the island. On the other hand, the pollutant distribution could be influenced by the movement of marine currents (**Figure 3**). At the point of highest concentration (station P08), there is a predominance of species under conservation (i.e., *pintadilla* and snail) that may be affected (Sernanp, 2017).

According to Calva *et al.* (2005), the Sontecomapan Lagoon in Mexico has a highly productive mangrove where fishing, touristic, livestock, and agricultural activities are carried out. This mangrove has been affected by unrestrained logging. In the marine sediments of this lagoon, aliphatic hydrocarbon concentration ranges of 1.33-31.99 µg/g were found, which were biogenic and pyrolytic in origin, with the latter corresponding to high traffic from vessels using petroleum derivatives, as well as to the burning of vegetation.

debido al alto tráfico de embarcaciones que emplean derivados del petróleo y por la quema de vegetación.

En el caso de la estación A02 de isla Asia, que presenta nivel moderado de contaminación, los índices indican que el origen de los hidrocarburos es biogénico, ya que se encontraron compuestos de C25 y C27 indicativos de hidrocarburos provenientes de plantas vasculares y/o marinas. Sin embargo, también se encontró el carbono C16, que es un n-alcano característico del petróleo crudo y muy poco común en los biolípidos (Thompson y Eglington, 1978). Por lo tanto, se infiere que en esta estación los hidrocarburos presentan los dos grupos de derivados: biogénico y petrogénico, con predominancia de los hidrocarburos biogénicos. El origen biogénico de los hidrocarburos en la estación A02 puede ser debido a la presencia de vegetales y algas superiores que pueden incrementar las fuentes de tales hidrocarburos.

En isla Asia se observa un resultado similar al de Pachacamac, ya que también hubo predominancia general de carbonos pares C18, C20, C24, los cuales indican la presencia de material petrogénico. Echaniz (1988) realizó un estudio en sedimentos marinos de México, determinando un CPI promedio de 0.91 en isla Sacrificios, 0.99 en isla Verde y 0.81 en isla de Enmedio en Veracruz; así mismo, determinó una presencia relevante de cadenas de carbonos pares (C16, C18 y C20). Esto es similar a los resultados encontrados en Pachacamac y Asia, lo que sugiere un aporte de petróleo crudo.

En las estaciones de muestreo A03, A05, A06, A08 y A09 la evaluación de CPI y la relación pristano/fitano indican que el origen de los hidrocarburos es petrogénico, mientras que la relación BMP/AMP indica que el origen es biogénico y también petrogénico. El origen biogénico de hidrocarburos en estos puntos puede darse por la presencia de plantas superiores, plancton, algas marinas y bacterias sedimentarias. Las estaciones en mención no presentan contaminación por hidrocarburos, según los estándares propuestos por Saravia (2007); sin embargo, en la baja cantidad de hidrocarburos se observa predominancia de origen petrogénico que podría ser a causa de las actividades de pesca y turismo. Las estaciones A05, A06, A08 y A09 se encuentran alejadas de las áreas en las que se desarrollan las actividades de pesca y turismo (Figura 4), su ubicación es más cerca de la zona costera; por lo tanto, la costa continental adyacente al polígono de isla Asia podría ser fuente de hidrocarburos petrogénicos emitidos al mar. Las estaciones A02 y A03 se encuentran dentro del área en la que se

In the case of station A02 in Asia Island, which exhibits a moderate pollution level, the indices suggest that the origin of the hydrocarbons is biogenic, as compounds of C25 and C27 were found, an indication of hydrocarbons from vascular and/or marine plants. However, C16 was also found, a characteristic alkane of crude oil that is highly uncommon in biolipids (Thompson and Eglington, 1978). Therefore, it is inferred that, at this station, hydrocarbons exhibit two groups of derivatives, *i.e.*, biogenic and petrogenic, with a predominance of the former. The biogenic origin of the hydrocarbons at station A02 may be due to the presence of higher plants and algae that can increase the sources of said hydrocarbons.

In Asia Island, a result similar to that of Pachacamac Island is observed, as there was also a general predominance of the even carbons C18, C20, and C24, which indicate the presence of petrogenic material. Echaniz (1988) studied the marine sediments of Mexico, determining an average CPI of 0.91 at Sacrificios Island, 0.99 at Isla Verde, and 0.81 at Isla de Enmedio in Veracruz. Likewise, they determined a relevant presence of even carbon chains (C16, C18, and C20). This is similar to the results obtained in Pachacamac and Asia, suggesting a contribution of crude oil.

At the sampling stations A03, A05, A06, A08, and A09, the CPI evaluation and the pristane/phytane ration indicate that the hydrocarbons are petrogenic in origin, whereas the BMP/AMP suggest both biogenic and petrogenic provenance. The biogenic origin of the hydrocarbons at these points may be due to the presence of higher plants, plankton, marine algae, and sedimentary bacteria. The aforementioned stations exhibit no hydrocarbon pollution according to the standards proposed by Saravia (2007). However, in the low amount of hydrocarbons, a petrogenic predominance is observed which could be caused by fishing and tourism activities. Stations A05, A06, A08, and A09 are far from the areas where these activities are carried out (Figure 4); they are closer to the coastal zone. Therefore, the continental coast adjacent to the Asia Island polygon could be a source of petrogenic hydrocarbons discharged into the sea. Stations A02 and A03 are within the area where handline and net fishing are carried out, as well as touristic activities such as water scooter rides and water skiing (Figure 4).

According to the spatial distribution of aliphatic hydrocarbons in Asia Island, as obtained through interpolation (Figure 6), a decreasing trend towards the coast can be observed. The highest

desarrollan actividades de pesca tipo cordel de mano y redes, así como turísticas, como moto y esquí acuáticos (**Figura 4**).

De acuerdo con la distribución espacial de los hidrocarburos alifáticos en isla Asia mostrada en la interpolación (**Figura 6**), se puede observar una tendencia de disminución hacia la costa. La mayor concentración de hidrocarburos alifáticos está en un área cercana al terreno insular, en donde se desarrollan las actividades mencionadas anteriormente; así mismo, allí hay fuente de hidrocarburos biogénicos debido a la diversidad de ecosistemas (marino y terrestre). La disminución de la concentración se da conforme las estaciones de muestreo se alejan del área; sin embargo, en las estaciones alejadas de los puntos en los que se desarrollan actividades de pesca y turismo se identificó origen petrogénico de los hidrocarburos, lo cual podría darse por el transporte que realizan las embarcaciones desde la costa hacia la isla.

Cabe mencionar que la interpolación no confirma que una grilla (una hectárea) esté afectada en su totalidad, pero sí permite identificar visualmente la distribución espacial del contaminante y las áreas probablemente afectadas que pueden volver a ser muestreadas en un futuro. Debido a la cercanía entre las cantidades encontradas de hidrocarburos, no fue determinante evaluar la relación entre su presencia con la de materia orgánica y con la afinidad al tipo del sustrato. Sin embargo, la información de granulometría y materia orgánica en sedimentos marinos queda como fuente de conocimiento y posterior aplicabilidad en investigaciones que se realicen en IPA. La predominancia de los hidrocarburos de origen petrogénico en IPA puede atribuirse a la presencia de embarcaciones de pesca y turismo y a la falta de control en el uso de combustible para su abastecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Banco Mundial, GEF y Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, por el financiamiento de la presente investigación. Al Dr. Carlos Zavalaga por la oportunidad de contribuir en la investigación de las islas Pachacamac y Asia. Al Dr. Héctor Aponete, Dra. Verónica Sáenz e Ing. Alexander Díaz por sus valiosos aportes y correcciones en la investigación. Al Ing. Carlos Martínez Gamboa del laboratorio Imarpe, por su apoyo en el análisis de hidrocarburos. Al Mgtr. Oscar García, Sernanp, por su apoyo en las gestiones administrativas. A todo el equipo de la Universidad Científica del Sur que participó en el proyecto IPA.

aliphatic hydrocarbon concentration is found in an area near the island where the aforementioned activities are carried out. Likewise, a biogenic hydrocarbon source is also present due to ecosystem diversity (marine and terrestrial). The concentration decrease is due to the fact that the sampling stations move away from the area. Nevertheless, at the stations far from the points where fishing and tourism are carried out, petrogenic hydrocarbons were identified, which could be related to transport by vessels from the coast to the island.

It is worth mentioning that the interpolation does not confirm that the entirety of a grid (1 ha) is affected, but it does allow visually identifying the spatial distribution of pollutants and the potentially affected areas that can be sampled again in the future. Given the proximity between the hydrocarbon amounts found, evaluating the relationship between their presence and that of organic matter as well as their affinity to the type of substrate was not decisive. However, the information on granulometry and the organic matter in marine sediments may be used as a source of knowledge for later application in research works carried out in the IPA. The predominance of petrogenic hydrocarbons in the IPA may be attributed to the presence of fishing and tourism vessels, as well as to the lack of control regarding the use of fuel to supply them.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the World Bank, GEF, and the National Service for Natural Areas Protected by the State for funding this research. To Dr. Carlos Zalavaga for the opportunity to contribute to research in the Pachacamac and Asia Islands. To Dr. Héctor Aponete, Dr. Verónica Sáenz and Eng. Alexander Díaz for their valuable contributions and corrections during this research. To Eng. Carlos Martínez Gamboa from the Imarpe lab for their support in hydrocarbon analysis. To Mag. Oscar García, Sernanp, for his support in administrative affairs. To all the team from Universidad Científica del Sur who participated in the IPA project.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- ALAB. 2018. Requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales. suelos, lodos, sedimentos y tejidos biológicos - Protocolo DI-LAB-08. Informe final, laboratorio ALAB, Lima. 2 p.
- ALAB. 2019. Informes de ensayo N° IE -19 – 2299 y 2300. Informe final, laboratorio ALAB, Lima. 5 p.
- Bao, M., P. Sun, X. Yang, X. Wang, L. Wang, L. Cao and F. Li. 2014. Biodegradation of marine surface floating crude oil in a large-scale field simulated experiment. *Environ. Sci. Proc. Imp.*, 16: 1948-1956. <https://doi.org/10.1039/c4em00166d>
- BirdLife Internacional. 2008. Hoja informativa de especies de aves: Isla Pachacamac. <http://www.birdlife.org>. 09/07/2020.
- Calva L, A. Botello y G. Ponce. 2005. Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan. *Hidrobiológica*. 15: 97-108.
- Calva, L., A. Pérez y A. Márquez. 2006. Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica*. 16: 127-135.
- Canadian Council of Ministers of the Environment CEQG. 2011. Protocolo para la derivación de las directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática. Ottawa Canadá: Secretaría Técnica del Grupo de trabajo del CCME. 98 p.
- Echaniz, V. 1988. Determinación de los niveles de hidrocarburos en agua, sedimentos recientes y hojas del pastomarina *Thalassia testudinum* (Konig, 1805) en tres islas arrecifales del puerto de Veracruz. Tesis DGB SBI, Univ. Nal. Autón. Méx., México. 58 p.
- Figueroa, J., W. Hernández y C. Flores. 2016. Línea Base Biológica de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras: Isla Asia (Lima). Caracterización de la fauna silvestre: aves, mamíferos y reptiles. Informe final, Sernanp, Lima. 41 p.
- Global Environment Facility GEF Guaneras. 2016. Diagnóstico turístico de isla Asia – Rnsiipg. Informe final, Sernanp, Lima. 41 p.
- González, E., R. Loyola, J. Neira y F. Neira. 2013. Contenido, distribución y origen de hidrocarburos en sedimentos de tres lagunas urbanas de Concepción - Chile. *Quím. Nova*, 36:669–674. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500010>
- Instituto del Mar del Perú. 2013. Protocolo de muestreo de agua, sedimentos y organismos acuáticos. Inf. Final, Imarpe, Lima. 10 p.
- Instituto del Mar del Perú. 2018. Resultado de hidrocarburos alifáticos totales C10 – C35 en sedimento marino de la isla Asia e isla Pachacamac. Inf. Final, Imarpe, Lima. 10 p.
- Instituto del Mar del Perú. 2019. Protocolo de hidrocarburos totales en sedimento marino. Inf. Final, Imarpe, Lima. 10 p.
- Nevenzel, J. 1989. Biogenic hydrocarbons of marine organisms. *Marine Biogenic Lipids, Fats, and Oils*, Florida. 73 p.
- Oliver, M.A. and R. Webster. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley, Chichester. 330 p. <https://doi.org/10.1017/S0016756806212056>
- Olgúin, E., M. Hernández y G. Sánchez. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Cont. Amb.*, 23: 139-154.
- Palmork K Comisión Oceanográfica Intergubernamental COI. 1982. Determinación de hidrocarburos de petróleo en sedimento. Informe final, Unesco, Bergen. 35 p.
- Peters, K., C. Walters and J. Moldovan. 2005. The biomarker guide. *Geol. Mag.*, 1: 249 –250. <https://doi.org/10.1017/s0016756806212056>
- Rodríguez, D., A. Saravia, O. Pacheco y G. Piedra. 2015. Evaluación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos marinos, su posible origen y efectos sobre la actividad de acuicultura entre Punta Morales y Costa de Pájaros en el Golfo de Nicoya. *Rev. Geogr. Am. Centr.*, 2: 113 - 134. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.5>
- Rubio, B., M.A. Nombela M. y F. Vilas. 2000. La contaminación por metales pesados en las rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la ría de Vigo (No de España). *Rev. Geol. Ibér.*, 26:121–149.
- Saravia, A. 2007. Adaptación de un método analítico para el análisis de hidrocarburos antropogénicos y biogénicos en sedimentos, Estero de Puntarenas, Costa Rica. Tesis Esc. Quím., Univ. Nal. Costa Rica. <http://hdl.handle.net/11056/24351>
- Sernanp. 2009. Establecimiento de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras. Informe final, Sernanp, Lima. 144 p.
- Sernanp. 2014. Evaluación del Estado de conservación de ecosistemas en ANP utilizando la metodología "Efectos por Actividades". Informe final, Sernanp, Lima. 81 p.
- Sernanp. A. 2016a. Línea base biológica de la Reserva Nacional de Islas, Islotes y Puntas Guaneras isla Asia. Informe final, Sernanp, Lima. 41 p.
- Sernanp. 2016b. Plan Maestro de la Reserva Nacional de Islas Islotes y Puntas Guaneras 2016 – 2020. Informe final, Sernanp, Lima. 108 p.
- Sernanp. 2017. Informe técnico para zonificación Línea base biológica marina en IPA de la Rnsiipg. Informe final, Sernanp, Lima. 45 p.
- Snedaker, S.C., P.W. Glynn, D.G. Rumbold y E.F. Corcoran. 1995. Distribución de n-alcanos en muestras marinas del sureste de Florida. *Mar. Cont. Bull.*, 30: 83–89. [https://doi.org/10.1016/0025-326x\(94\)00147-2](https://doi.org/10.1016/0025-326x(94)00147-2)
- Sub Proyecto Colaborativo IPA SC IPA. 2018. Islas Pachacamac y Asia. Informe final, Sernanp, Lima. 5 p.
- Thompson, S. and G. Eglinton. 1978. Composition and sources of pollutant hydrocarbons in the Severn estuary. *Mar. Poll. Bull.*, 9: 133–136. [https://doi.org/10.1016/0025-326x\(78\)90588-x](https://doi.org/10.1016/0025-326x(78)90588-x)



Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia
CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual /
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA