

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y CALIDAD AMBIENTAL DEL ARCO DE PLAYA JOSÉ IGNACIO – PUNTA DE PIEDRAS (MALDONADO, URUGUAY)

GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE JOSÉ IGNACIO - PUNTA DE PIEDRAS BEACH ARCH (MALDONADO, URUGUAY)

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E QUALIDADE AMBIENTAL DO ARCO DA PRAIA JOSÉ IGNACIO - PUNTA DE PIEDRAS (MALDONADO, URUGUAY)

Joan González ^(ab), Marcos Tassano ^(b), Mirel Cabrera^(b), César Goso ^(a)

^aInstituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.

^bLaboratorio de Radioquímica, Área de Radiofarmacia, Centro de Investigaciones Nucleares, Facultad de Ciencias, Mataojo 2055, CP 11400, Montevideo, Uruguay

joanmanuel1993@gmail.com.com

Recibido: 02/06/21

Aceptado: 23/08/21

Editores: MSc. Fernando Scaglia

revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 - Uruguay Tel: 2929 0318-

int. 1612/1613 www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

El tramo de costa entre Punta Piedras y José Ignacio en el departamento de Maldonado, se encuentra en una zona influenciada directamente por las actividades de abastecimiento de petróleo del país, por su proximidad a la boya petrolera de la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP). Estas playas presentan riesgos de derrames accidentales de petróleo. Además, existen acumulaciones de arenas negras, que dan lugar a dudas en la distinción entre dichas arenas y arenas empetroladas, lo que ha generado problemas de gestión y motiva el presente estudio. Este trabajo caracteriza la sedimentología y geomorfología del arco de playa, mediante análisis sedimentológicos, mapas y perfiles. Así como, su estado de calidad ambiental tomando como indicador la dosis radioactiva de las arenas. Se presentan dos mapas geomorfológicos a escala 1:50.000 y 1:20.000 del arco, donde se señalan particularmente las zonas con acumulaciones de arenas negras. La morfodinámica del arco es principalmente reflectivo, con pendientes que oscilan entre 5,3 y 10,8°, se caracteriza por tener a lo largo del arco escarpes de erosión, un canal supramareal y formar parte de la barra de cierre de la laguna José Ignacio. Los depósitos del arco analizados de 19 muestras, están conformados por arenas subarcóicas medias a gruesas de buena a medianamente buena selección, con medias granulométricas que varían entre 893 y 254µm y medianas

de 882 a 267 μ m. La composición mineralógica que le aporta el color negro característico a las arenas negras, son la ilmenita y otros óxidos metálicos. Del punto de vista radio ambiental en el arco existen zonas de alto fondo radiactivo, de 4,7 y 4,4 mSv.año⁻¹ asociados a acumulaciones de arenas negras.

Palabras clave: geomorfología; derrames de petróleo; arenas negras; radionucleidos; Maldonado; Uruguay.

ABSTRACT

The stretch of coastline between Punta Piedras and José Ignacio in the department of Maldonado, is located in an area directly influenced by the country's oil supply activities, due to its proximity to the oil buoy of the National Administration of Fuels, Alcohol and Portland (ANCAP). These beaches present risks of accidental oil spills. In addition, there are accumulations of black sands, which give rise to doubts in the distinction between these sands and contaminated sands, which has generated management problems and motivates the present study. This work characterizes the sedimentology and geomorphology of the beach arch, through sedimentological analysis, maps and profiles. As well as, its state of environmental quality taking as an indicator the radioactive dose from sands. Two geomorphological maps are presented at 1:50,000 and 1:20,000 scales of the arc, where areas with accumulations of black sands are particularly noted. The morphodynamics of the arch is mainly reflective, with slopes ranging between 5.3 and 10.8°, it is characterized by having erosion beach scarps along the arch, a supratidal channel and being part of the closing bar of the José Ignacio lagoon. The arc deposits analyzed from 19 samples are made up of medium to coarse subarcotic sands of good to moderately good selection, with granulometric means ranging between 893 and 254 μ m and medians of 882 to 267 μ m. The mineralogical composition that gives the characteristic black color to the black sands, are ilmenite and other metal oxides. From the radio-environmental point of view in the arc there are areas of high background radiation, of 4.7 y 4.4 mSv.year⁻¹ associated with accumulations of black sands.

Key words: geomorphology; oil spills; black sands; radionuclides; Maldonado; Uruguay.

RESUMO

O trecho de costa entre Punta Piedras e José Ignacio, no departamento de Maldonado, está localizado em uma área diretamente influenciada pelas atividades de abastecimento de petróleo do país, devido a sua proximidade com a bóia de petróleo da Administração Nacional de Combustíveis, Álcool e Portland (ANCAP) Essas praias apresentam riscos de derramamentos acidentais de óleo. Além disso, existem acumulações de areias pretas, o que suscita dúvidas na distinção entre as referidas areias e as oleaginosas, o que tem gerado problemas de gestão e motiva o presente estudo. Este trabalho caracteriza a sedimentologia e geomorfologia do arco da praia, através de análises sedimentológicas, mapas e perfis. Bem como, seu estado de qualidade ambiental tendo como indicador a dose radioativa das areias. São apresentados dois mapas geomorfológicos na escala 1: 50.000 e 1: 20.000 do arco, onde as áreas com acumulações de areia preta são particularmente indicadas. A morfodinâmica do arco é essencialmente reflexiva, com inclinações que variam entre 5,3 e 10,8°, é caracterizada por apresentar escarpas de erosão ao longo do arco, canal supramareal e fazer parte da barra de fechamento da lagoa José Ignacio. Os depósitos de arco analisados de 19 amostras são constituídos por areias subarcóicas médias a grossas de boa a moderadamente boa seleção, com médias granulométricas variando entre 893 e 254 μm e medianas de 882 a 267 μm . A composição mineralógica que dá a cor preta característica às areias pretas são a ilmenita e outros óxidos metálicos. Do ponto de vista radioambiental, no arco existem áreas com alto fundo radioativo, 4,7 e 4,4 mSv.ano^{-1} associado a acúmulos de areia preta.

Palavras-chave: geomorfologia; derramamentos de petróleo; areias pretas; radionuclídeos; Maldonado; Uruguai.

INTRODUCCIÓN

La costa atlántica uruguaya y sus playas resultan un atractivo turístico el cual genera un gran interés económico para el país, y es el escenario de numerosas áreas protegidas para la conservación del ambiente. En este contexto el tramo de costa entre Punta Piedras y José Ignacio en el departamento de Maldonado (Figura 1), se encuentra en una zona influenciada directamente por las actividades de abastecimiento de petróleo del país. La Terminal Este de ANCAP es la infraestructura de almacenamiento y transporte de petróleo donde se recibe el petróleo importado. Los buques petroleros descargan mediante una Monoboya de acero de 10

m de diámetro, diseño *Single Point Mooring*, situada geográficamente en lat 34° 53' 5" S, long 54° 42' 7" O a 3600 m de la línea de costa atlántica. El petróleo es enviado por líneas submarinas a la Planta Terminal del Este y luego es bombeado a través de un oleoducto que recorre aproximadamente 170 km hasta la refinería en la Planta "La Teja" (Montevideo). Durante estas actividades se han producido derrames accidentales (El País 2019 y 2020; El Observador 2018), lo cual evidencia que esta zona de Uruguay se encuentra expuesta a riesgos de derrames de petróleo.

Las acumulaciones de arenas negras en la playa son un rasgo común de las costas uruguayas (Goñi, 1952; López, *et al.*, 2000). Estas arenas se caracterizan por tener una relación más alta de lo normal de minerales densos y de colores oscuros tales como: ilmenita, rutilo, circón y monacita. Se acumulan en placeres costeros

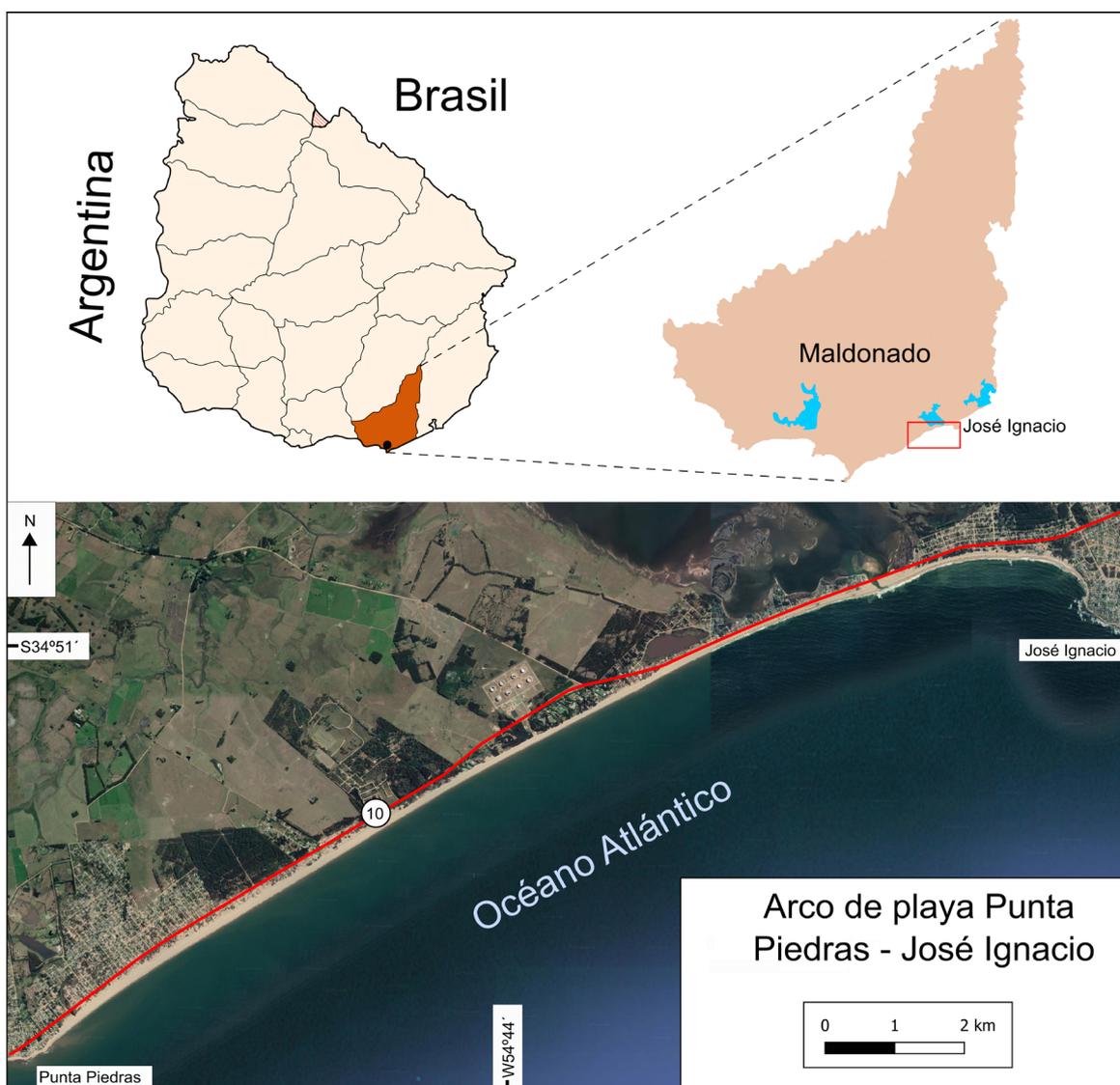


FIGURA 1. Mapa de ubicación de la zona estudiada. Imagen satelital Google Earth, 2016.

FIGURE 1. Location map of the studied area. Satellite image Google Earth, 2016.

de edad Holocénica, asociados a arenas cuarzo-feldespáticas de mayor tamaño de grano (DINAMIGE, 2002; Ferrando *et al.*, 2003). Las arenas negras son conocidas por relacionarse con zonas de altos fondos radiactivos naturales (Piriz, 1953; UNSCEAR, 2000; Veiga *et al.*, 2006; Kaiser *et al.*, 2014; Shuaibu *et al.*, 2017). Las arenas negras por su aspecto han provocado confusión durante las labores de limpieza en derrames de petróleo ocurridos recientemente al no ser diferenciados correctamente. En ocasiones se generó la identificación incorrecta de derrames por el desconocimiento de estas arenas.

En este trabajo se presentan los resultados de los estudios geomorfológicos, sedimentológicos, mineralógicos y la tasa de dosis radiactiva en el arco de playa efectuados en 2020. Brindando un conocimiento previo en caso de eventuales derrames, para abordar las tareas de limpieza y remediación, teniendo en cuenta la naturaleza de esta zona y evitar situaciones confusas no deseables.

1. Contexto geológico

Siguiendo la propuesta de Sánchez Bettucci *et al.*, (2010) el área de estudio se encuentra en el Terreno Punta del Este. Este terreno está ubicado al Este de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena y se compone de un basamento gnésico-migmatítico y secuencias supracorticales (Preciozzi *et al.*, 1999). Dicho terreno es interpretado como un dominio exótico, tectónicamente yuxtapuesto al cinturón Dom Feliciano (Basei *et al.*, 2011).

El arco de playa estudiado está definido por la punta rocosa Punta Piedras al Oeste y Punta Faro de José Ignacio (José Ignacio) al Este. Las litologías que afloran en estas costas corresponden al basamento gnésico migmatítico del Complejo Cerro Olivo (Masquelin, 2002) en Punta Piedras. En José Ignacio aflora el granito homónimo (Preciozzi *et al.*, 1993), con una edad U-Pb en zircones de 567 +/- 4.1Ma (Lara *et al.*, 2020). Según Spoturno *et al.*, (2012) la costa presenta una cobertura sedimentaria cuaternaria respuesta a los procesos ocurridos en momentos interglaciares y glaciares, representadas por las formaciones Villa Soriano (Holoceno), Dolores y Chuy (pleistocenas). Los depósitos actuales y recientes en la franja costera están compuestos por playas, dunas, bañados y aluviones.

2. Contexto geomorfológico

El arco de playa que comprende este estudio abarca una longitud de 17 km, conformados por una estrecha faja arenosa bordeada por una urbanización escasa, montes artificiales, campos de dunas y la laguna costera José Ignacio. La costa se extiende con dirección ENE, las barrancas (adyacentes a las playas actuales, paralelas a

la línea de costa, pero alejadas de ella o marginando las lagunas litorales) y las “cárcavas” constituyen rasgos distintivos. Por último, la Punta José Ignacio representa un frente rocoso que sobresale unos 2.0 km de la orientación general de la línea de costa (López, 2005).

La Laguna de José Ignacio se genera por el cierre de una bahía o microestuario al que llegan aguas de los arroyos José Ignacio y de Sosa, durante un momento regresivo o de máximo glaciario (Goso, 2016). Ocupa una planicie muy rasa que se sitúa entre 0 y 5 m de altitud. Tiene una superficie de 13 km² y un perímetro de 26,3 km, con el eje mayor relativamente perpendicular a la costa. La barra se proyecta y ensancha hacia el océano y muestra hacia el interior barras de flujo (inlet) que la vuelven somera. Muestra una salida directa al mar en una zona de playa relativamente baja y expuesta a los eventos de tormentas (Goso, 2016).

Alves (2011) describe el área desde el balneario Buenos Aires como una playa rectilínea de unos 10 km de largo hasta la laguna José Ignacio. En los primeros kilómetros la playa se presenta con un extenso campo de dunas con alturas promedio de 1,5 – 2 m. Un frente de playa ancho con arena de granulometría gruesa cuarzo-feldespática, pendiente elevada, con alta energía de olas. Hacia la mitad de este tramo rectilíneo comienzan a disminuir la pendiente y el ancho de la playa. El cordón de dunas frontal se presenta con una escarpa de erosión, y el campo de dunas es atravesado por la ruta. Según Evia y Gudinas (2000), el paisaje se encuentra muy modificado por la expansión urbana con varias zonas forestadas que dejan “manchas” de bañados. Las arenas de playa para el área de José Ignacio, ha sido definida como heterogénea de nula consolidación, moderadamente seleccionada, de granos redondeados a subredondeados, de baja esfericidad. Su composición mineralógica: cuarzo, feldespato potásico, microclina con presencia de óxidos. Los líticos son en su mayoría de origen ígneo, accesoriamente de origen metamórfico (Benitez, 2016).

2.1 Arenas negras

Las “arenas negras” son componentes detríticos de algunas playas y reciben esa denominación debido a que están constituidos por una relación más alta de lo normal de minerales densos y de colores oscuros tales como: ilmenita, rutilo, circón y monacita. Estos minerales presentan una mayor densidad por lo que se acumulan en placeres asociados a arenas cuarzo-feldespáticas de mayor tamaño de grano (Ferrando *et al.*, 2003).

Los primeros trabajos que reportan estudios sobre arenas negras en nuestro país son de la Facultad de Ingeniería (Goñi, 1950). Desde entonces en Uruguay se reconocen depósitos de arenas negras en numerosos puntos a lo largo de la costa rioplatense y atlántica, en las localidades de Chuy, Coronilla, Punta Loberos, Angostura, La Paloma, La Pedrera, Aguas Dulces, Atlántida entre otros, las cuales han sido objeto de estudios

prospectivos (ANCAP, 1967; DINAMIGE, 2002). En dichas prospecciones se los define como placeres costeros, de edad Holocénica, acumulados en ambientes de playa y mayoritariamente dunas. Con un contenido de minerales densos con tenores promedio del 2,8 % y una asociación mineralógica de la fracción pesada de: Ilmenita (60 %), Circón (5%), Rutilo (1%) y Monacita (0.6 %) confirmándose además la presencia de granate, estauroлита, magnetita, titanita y turmalina para los depósitos del balneario Aguas Dulces. Demostrando reservas probadas para la zona de Aguas Dulces-Valizas de 933.543 toneladas de minerales (DINAMIGE 2002). Para la zona de estudio, la primera y única referencia de la presencia de dichas arenas en José Ignacio fue hecha por Goñi en 1952.

En los últimos años las arenas negras han tomado interés a nivel mundial en materia de turismo, por representar un posible riesgo radiológico debido a su alto contenido en radionucleidos (Veiga *et al.*, 2006; Kaiser *et al.*, 2014; Shuaibu *et al.*, 2017). En este sentido existen trabajos nacionales que abordan estos aspectos en diferentes localidades como los balnearios de Aguas Dulces y Atlántida (Noguera *et al.*, 2013; Curvelo y Nóvoa 2015; González *et al.*, 2016) cuyas dosis efectivas anuales máximas reportadas para Atlántida resultó en 6,3 mSv.año⁻¹, valor que duplica la dosis efectiva anual promedio mundial de fuentes naturales (60 nGy.h⁻¹) (UNSCEAR, 2000)

3. Derrames de petróleo y/o derivados en playas arenosas

Uno de los riesgos ambientales más peligrosos y comunes en las zonas marinas y costeras del mundo son los accidentes por derrames de petróleo (Clark, 2001). Las costas rocosas y arenosas, por exposición a los efectos abrasivos de la acción del oleaje y las corrientes mareales, implican que sean las más resistentes a la permanencia de los derrames. Normalmente permite que la autolimpieza natural se realice de forma más rápida (puede durar de 1 a 3 años) que en otros ambientes (ITOPF, 2011b). Identificar un derrame en una zona costera puede parecer fácil. No obstante, las propiedades de los hidrocarburos cambian a medida que se meteorizan o se mezclan con la arena, ya que puede asumir una consistencia no pegajosa, también pueden cubrirse rápidamente con capas adicionales de arena debido a mareas posteriores o al viento. A lo que debemos sumar diversas características y procesos que se producen de forma natural y que pueden confundirse con hidrocarburos como: turba en áreas de marismas, líquenes sobre rocas, algas marinas varadas, materia de origen vegetal, partículas de madera quemada, polvo de carbón y arena negra (ITOPF, 2011a).

La geomorfología juega un papel importante sobre los efectos ambientales que genera un derrame de

petróleo. Factores como el tipo morfodinámico de las playas y la granulometría de la arena interactúan para generar diversos escenarios. Una vez llegado un contaminante, las características de las playas reflectivas sirven para una rápida desaparición del hidrocarburo acumulado. En playas disipativas permiten la acumulación de grandes cantidades de hidrocarburos y los procesos de lavado serán más lentos y prolongados (Antia, 1993; Bermúdez *et al.*, 2003). El tamaño de grano de la arena es uno de los factores que intervienen en la capacidad del petróleo y sus derivados de infiltrarse y ser retenido en los sedimentos. Según Bergueiro *et al.*, (1990) la capacidad de retención e infiltración es menor para la arena gruesa, seguida por la arena fina, mientras que la arena media es la que presenta el mayor valor. Sin tener en cuenta otros factores como la composición del sedimento, su contenido de agua y el tipo de hidrocarburo derramado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un mapa geomorfológico en base a la fotointerpretación de fotos aéreas, satelitales y control de campo, con el objetivo de definir unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio y ubicar la ocurrencia de arenas negras a escala 1:50.000 y 1:20.000.

El muestreo consistió en la obtención de sedimento superficial (primeros 5 cm) de cada sub ambiente de playa (zona de lavado, berma, playa distal y duna) mediante 5 réplicas tomadas con un cilindro de 6 cm de diámetro, según perfiles transversales a la línea de costa (muestras P1, P2, P3 y P4) y en sitios de acumulación de arenas negras (muestras P5, P6, P7), obteniendo aproximadamente 1 kg de sedimento por muestra. Las muestras fueron secadas en estufa a 50 °C durante 2 días. Los perfiles se levantaron mediante un nivel óptico marca Zeiss J32 y reglas graduadas, el ajuste por altura se realizó con niveles de referencia y la ayuda de modelos digitales de terreno consultados en el visualizador del IDEuy (2020). Se realizaron un total de cuatro perfiles de playa (Punta Piedras, Eden Rock, laguna José Ignacio y José Ignacio). Se tomaron el 7 de julio del 2020, dos días posterior a una marea de 1,7 m de altura, según registro del mareógrafo de La Paloma (Administración Nacional de Puertos, 2020).

Se efectuó el tamizado en el laboratorio del Instituto de Ciencias Geológicas, con un equipo Retsch AS 200 Basic y tamices Retsch números 10 (2000 μ m)–18 (1000 μ m)–35 (500 μ m)–60 (250 μ m)–120 (125 μ m) y 230 (63 μ m), y cada fracción retenida fue pesada en una balanza (Ohaus) de 0,1g de precisión. Los resultados obtenidos del análisis mecánico se cargaron a una planilla Excel con la extensión Gradistat 4.0 donde se calcularon porcentajes relativos de cada subpoblación respecto a la muestra total, valorando los tamaños de los diferentes percentiles. La composición mineralógica de las arenas se determinó visualmente mediante

análisis petrográfico con lupa binocular Zeiss Stemi 508. El recuento de componentes y especies minerales se realizó mediante comparadores visuales. Para las medidas por espectrometría gamma, las muestras de arena fueron secadas y cuarteadas para tomar una masa aproximada de 300 g con balanza (Ohaus). Se colocó en un recipiente Marinelli de 250 ml. El ^{222}Rn (gas noble, hijo del ^{226}Ra) alcanza el equilibrio radiactivo con todos sus productos secundarios a ^{210}Pb en siete vidas medias de ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3.82$ d). Por lo tanto, cada muestra se selló y almacenó durante 30 días para alcanzar el equilibrio secular entre ^{226}Ra y sus hijos antes de la medición. Las actividades de los radionucleidos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K fueron determinados en base a las actividades de ^{214}Pb a 295.2 keV y 351.9keV, ^{214}Bi a 609.3 keV para el ^{226}Ra ; de ^{212}Pb a 238.6 keV y ^{208}Tl a 583.1 keV para el ^{232}Th ; y de ^{40}K a 1460 keV para. Dichas mediciones se realizaron utilizando un detector gamma Canberra de germanio hiperpuro tipo-P con eficiencia relativa > 20% a 1,33 MeV, instalado en el Laboratorio de Radioquímica del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) con un tiempo de medición de 12h por muestra. La calibración del equipo en eficiencia y energía se realizó con un patrón IAEA 447 y se corrigieron las medidas por fondo y auto atenuación por densidad.

Para el cálculo de dosis los factores de conversión para transformar las actividades específicas $A(^{40}\text{K})$, $A(^{226}\text{Ra})$ y $A(^{232}\text{Th})$, en la tasa de dosis absorbida en el aire (a 1 m sobre el suelo) (DR en $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$) se calculan mediante el método de Monte Carlo y los valores son: (UNSCEAR, 2000).

$$\text{DR} (\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}) = 0,0417A(^{40}\text{K}) + 0,462A(^{226}\text{Ra}) + 0,604A(^{232}\text{Th}).$$

Para estimar la dosis efectiva anual de la radiación gamma externa (DEAR en $\text{mSv}\cdot\text{año}^{-1}$), se aplicó el factor de conversión de la dosis absorbida en el aire a dosis efectiva en el tejido ($0,7 \text{ Sv}\cdot\text{Gy}^{-1}$) y el tiempo de exposición:

$$\text{DEAR} \text{ mSv}\cdot\text{año}^{-1} = \text{DR} \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1} \times 8760 \text{ h}\cdot\text{año}^{-1} \times 0,7 \text{ Sv}\cdot\text{Gy}^{-1}$$

Se llevó a cabo el análisis estadístico para el estudio granulométrico que consistió en el cálculo de la moda, mediana y media, tanto como valores de selección, asimetría y curtosis. Para ello se utilizaron los coeficientes estadísticos de Folk y Ward (1957) utilizando el *software Gradistat 4.0*. Se estudió también, las correlaciones entre las variables composicionales, granulométricas y radiométricas de las arenas utilizando la biblioteca *Scypy* en *Spyder Python 3.7*.

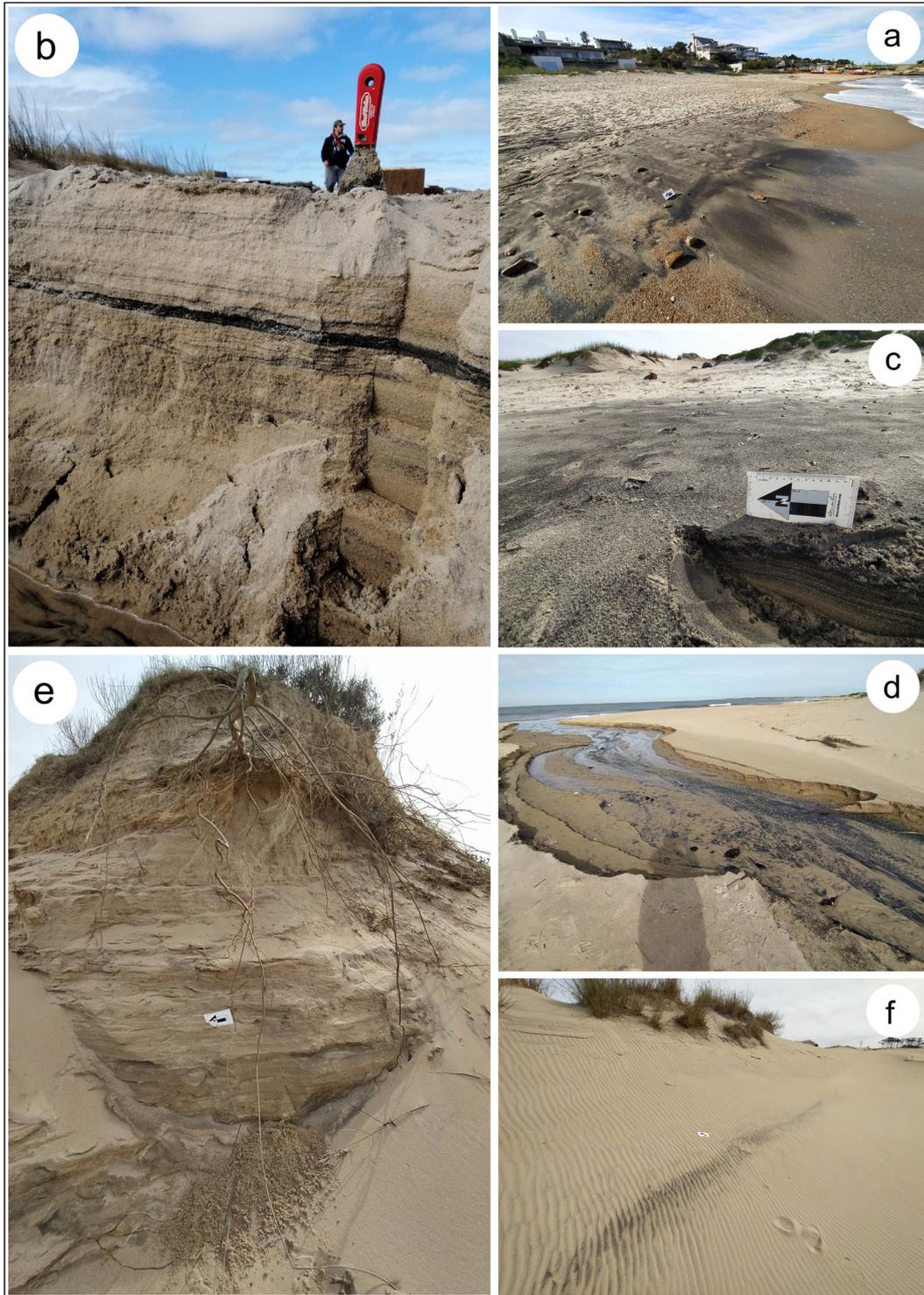


FIGURA 2. Presencia de arenas negras. a) Zona de lavado y berma. b) Perfil en profundidad de la playa. c) Playa distal. d) Desembocadura de cañada. e) Base del escarpe de erosión. f) Dunas.
FIGURE 2. Presence of black sands. a) Washing and berm area. b) In-depth profile of the beach. c) Distal beach. d) Glen mouth. (e) Base of the erosion escarpment. (f) Dunes.

RESULTADOS

Se observaron acumulaciones de arenas negras desde el Balneario La Juanita hasta el final de la playa en la punta rocosa de José Ignacio (Figura 2). Las mismas aparecen dispersas desde las dunas hasta la zona de

lavado, se pueden encontrar esparcidas, formando delgadas sábanas y concentradas en las desembocaduras de cañadas, mostrando una marcada laminación fina en perfil. Fue posible observarlas, hasta profundidades de un metro en la playa. En el mapa geomorfológico se identificaron las siguientes unidades: planicies altas y bajas, dunas estabilizadas, playa, playa con arenas negras, cárcavas y puntas rocosas (material complementario).

Los resultados de los análisis granulométricos de las 19 muestras están reportados en la Tabla 1 y Figura 3. Todas las muestras tienen un carácter unimodal con buena a moderadamente buena selección, con asimetrías positivas a levemente negativas, curtosis leptocúrtica a platicúrtica y medias que varían entre 893 y 254 μm .

TABLA 1. Resultado del análisis granulométrico según los parámetros de Folk y Ward (1957).
TABLE 1. Result of granulometric analysis according to the parameters of Folk and Ward (1957).

Localidad	ID	Zona	Moda	Mediana μm	Media μm	Selección σ_1	Asimetría SK_1	Curtosis Kg
Punta	P1Lav	Lavado	AG	690	674	1,00	0,08	0,87
Piedras	P1Ber	Berma	AG	882	893	0,77	0,07	0,93
	P1Dis	Playa distal	AM	568	593	0,99	-0,06	0,87
	P1Dun	Dunas	AM	300	284	0,61	0,20	0,82
Eden Rock	P2Lav	Lavado	AG	716	722	0,75	0,001	1,23
	P2Ber	Berma	AG	722	722	0,82	0,02	1,10
	P2Dis	Playa distal	AM	561	572	0,86	-0,10	0,86
	P2Dun	Dunas	AM	371	382	0,61	-0,09	1,30
Laguna José	P3Lav	Lavado	AG	722	722	0,54	-0,02	1,33
Ignacio	P3Ber	Berma	AG	679	679	0,49	0,11	1,19
	P3Dis	Playa distal	AG	665	658	0,49	0,19	1,11
	P3Dun	Dunas	AG	662	632	0,63	0,13	1,27
José Ignacio	P4Lav	Lavado	AM	347	347	0,34	0,04	0,80
	P4Ber	Berma	AM	341	341	0,41	0,15	1,06
	P4Dis	Playa distal	AM	327	319	0,49	0,23	1,12
	P4Dun	Dunas	AM	334	334	0,45	0,17	1,12
La Juanita	P5	Lavado	AM	354	354	0,53	0,00	1,33
	P6	Dunas	AM	267	254	0,71	0,18	0,82
Puerto de pescadores	P7	Playa distal	AM	338	342	0,96	-0,15	1,45

Las muestras según la clasificación de Folk *et al.*, (1970) resultaron en arenas subarcóicas a excepción de la muestra P7 la cual es una sublitarenita, los fragmentos líticos son principalmente ígneos y los minerales accesorios dominantes son: Ilmenita, y otros óxidos. El porcentaje de feldespatos disminuye de Oeste a Este, mientras que los porcentajes de cuarzo y fragmentos líticos se mantienen constantes, a excepción de la muestra P7.

Se clasificaron como arenas negras las muestras P4Lav, P4Ber, P4Dis, P4Dun, P5, P6 y P7, los minerales oscuros asociados a este color se encuentran en mayor proporción en la fracción fina y muy fina.

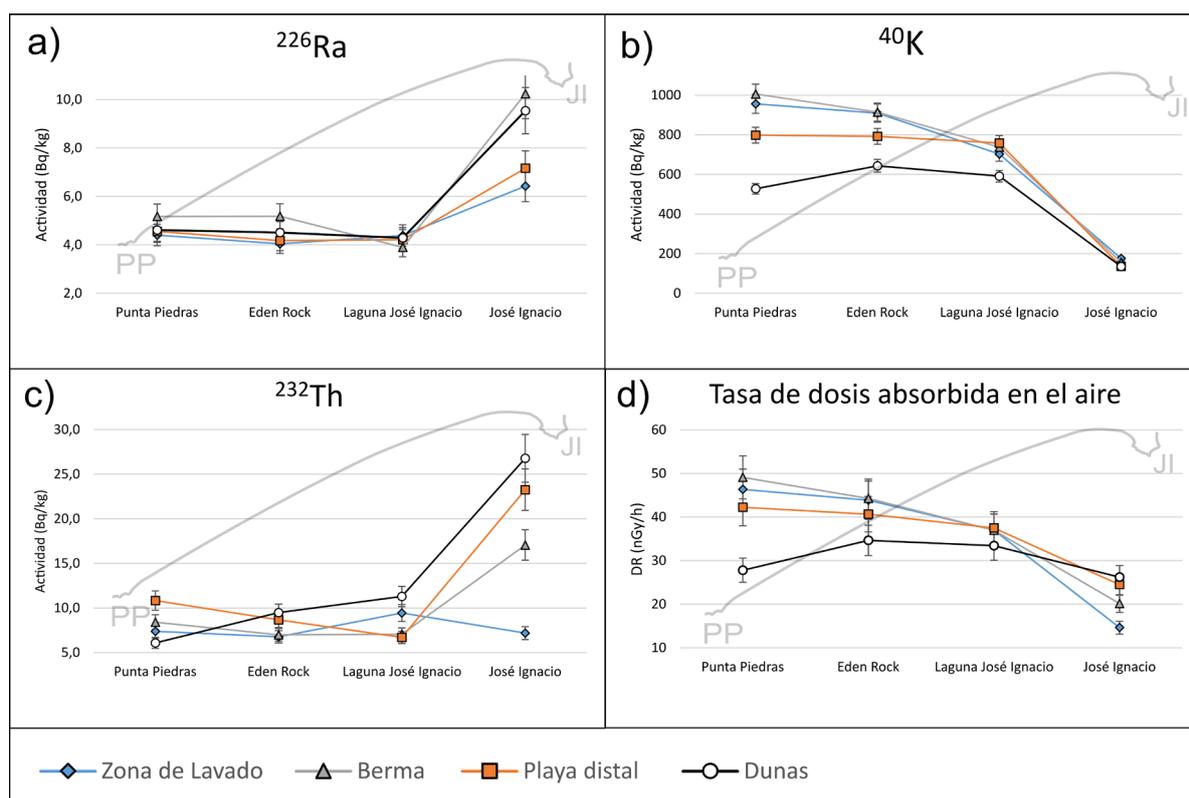


FIGURA 3. Variación en los parámetros granulométricos (Folk y Ward, 1957) según la zona de la playa y el lugar de muestreo ordenados de Oeste a Este. a) Mediana. b) Selección. c) Asimetría. d) Curtosis.

FIGURE 3. Changes in granulometric parameters (Folk and Ward, 1957) according to the beach area and sampling site ordered from West to East. (a) Median. (b) Selection. (c) Asymmetry. (d) Kurtosis.

Mineralógicamente se trata principalmente de ilmenita y rutilo lo que da a la arena su coloración característica, sin embargo, en la misma fracción de minerales densos se encuentran en menor proporción circón y monacita.

Se calculó el parámetro de Dean para cada playa donde se tomaron perfiles, utilizando las tablas de Gibbs *et al.*, (1971) para obtener la velocidad de asentamiento de la partícula (W_s), la altura promedio de las olas (H_b) fue tomada del Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA, 2020) y el período de las olas (T) fue tomado en campo. Los resultados fueron 0,98; 0,87; 0,90 y 1,35 para Punta Piedras, Edén Rock, Laguna José Ignacio y José Ignacio respectivamente.

En la tabla 2 se muestra el producto de los análisis radiométricos efectuados a las 19 muestras tomadas en el arco, también se muestran las variaciones a lo largo del mismo y las diferentes zonas de la playa (Figura 4).

En la matriz de dispersión e histogramas de las variables estudiadas (Figura 5), se reconocieron dos grupos de datos con comportamientos diferentes, el primer grupo (representado por las muestras P1, P2 y P3) correspondientes a áreas sin presencia de arenas negras, denominado “arenas blancas”. El segundo grupo se relaciona a las áreas con presencia de arenas negras, denominado “arenas negras”. Para cada grupo se analizó la normalidad de los datos con el test de Shapiro Wilk, las variables no normales se normalizaron a

TABLA 2. Actividades de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K de las arenas muestreadas, tasas de dosis absorbida en el aire y dosis efectiva anual. En azul las muestras separadas estadísticamente como “arenas negras”.
 TABLE 2. Activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K of the sampled sands, absorbed dose rates in the air and annual effective dose. In blue the samples separated statistically as “black sands”.

ID	Localidad	Concentraciones (Bq.kg ⁻¹)			DR (nGy.h ⁻¹)	DEAR (mSv.año ⁻¹)
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	Tasa de dosis absorbida en el aire	Tasa de dosis efectiva anual
P1Lav	Punta	4,4±0,5	7,4±0,7	956±51	46±4	0,28±0,03
P1Ber	Piedras	4,6±0,8	8±1	1005±63	49±6	0,30±0,04
P1Dis		5,2±0,8	11±1	798±51	42±5	0,26±0,03
P1Dun		4,6±0,6	6,1±0,7	527±31	28±3	0,17±0,02
P2Lav	Eden Rock	4,0±0,6	6,8±0,8	909±51	44±5	0,27±0,03
P2Ber		4,2±0,6	7,0±0,8	914±51	44±5	0,27±0,03
P2Dis		5±1	8,7±1	792±51	41±5	0,25±0,03
P2Dun		4,5±0,6	9,5±1	643±37	35±3	0,21±0,02
P3Lav	Laguna	4,4±0,5	9,4±0,9	702±38	37±3	0,23±0,02
P3Ber	José	4,2±0,8	7±1	738±50	37±5	0,23±0,03
P3Dis	Ignacio	3,9±0,5	6,7±0,7	758±41	37±3	0,23±0,02
P3Dun		4,3±0,5	11±1	591±34	33±3	0,21±0,02
P4Lav	José	6±1	7,2±0,9	176±14	15±2	0,09±0,01
P4Ber	Ignacio	7,2±0,8	17±2	157±11	20±2	0,12±0,01
P4Dis		10±1	23±2	137±7	24±2	0,15±0,01
P4Dun		10±1	27±3	135±11	26±3	0,16±0,02
P5	La Juanita	17±2	82±7	240±16	67±6	0,41±0,04
P6		220±16	1095±86	160±10	770±55	4,7±0,3
P7	Puerto de pescadores	188±16	1011±84	286±26	710±61	4,4±0,4

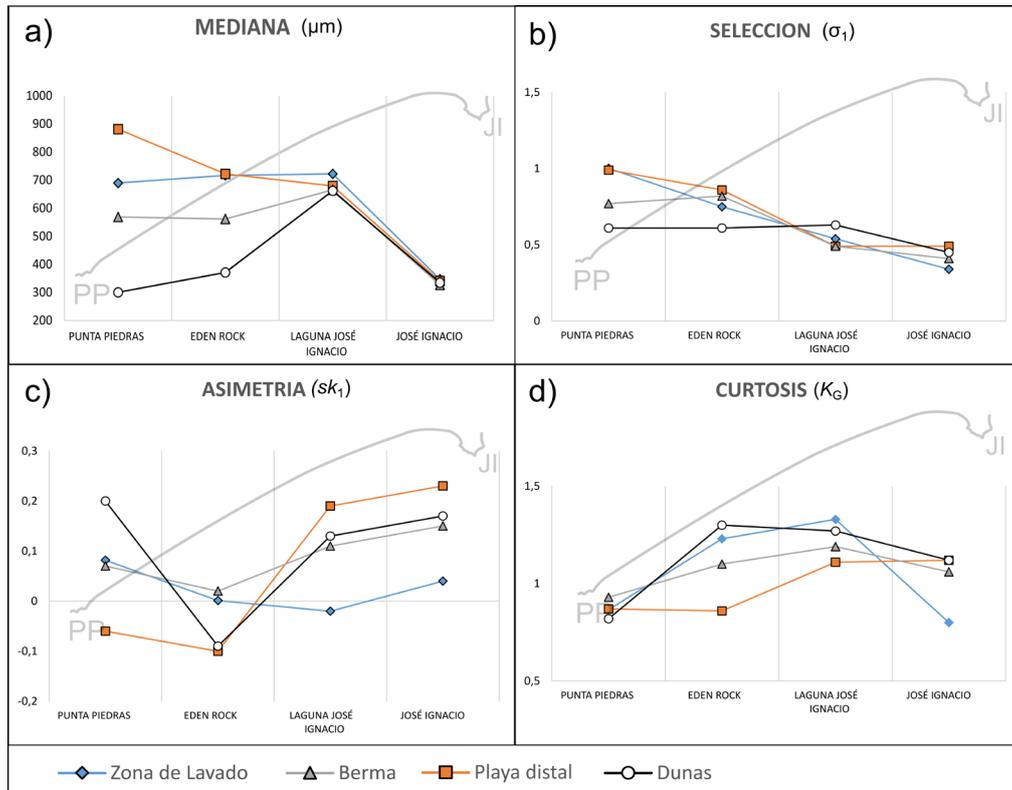


FIGURA 4. Cambios en las actividades de ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K (Bq.Kg⁻¹) y el DR (nGy.h⁻¹) según la zona de la playa y el lugar de muestreo ordenados de Oeste a Este. a) Actividad del ^{226}Ra . b) Actividad de ^{40}K . c) Actividad del ^{232}Th . d) Tasa de dosis absorbida en el aire (DR).

FIGURE 4. Changes in ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K (Bq.Kg⁻¹) and DR (nGy.h⁻¹) activities based on beach area and sampling site ordered from West to East. a) Activity of ^{226}Ra . b) Activity of ^{40}K . c) Activity of ^{232}Th . d) Rate of absorbed dose in the air (DR).

través de la transformación Box Cox. La variable %Q (concentración de cuarzo) del grupo “arenas negras” no se contempló en los análisis sucesivos debido a que no se logró normalidad. Finalmente, se realizaron coeficientes de correlación de Pearson y Kendall. De las correlaciones se contemplaron aquellas que fueron p menor a 0,05 (Tabla 3).

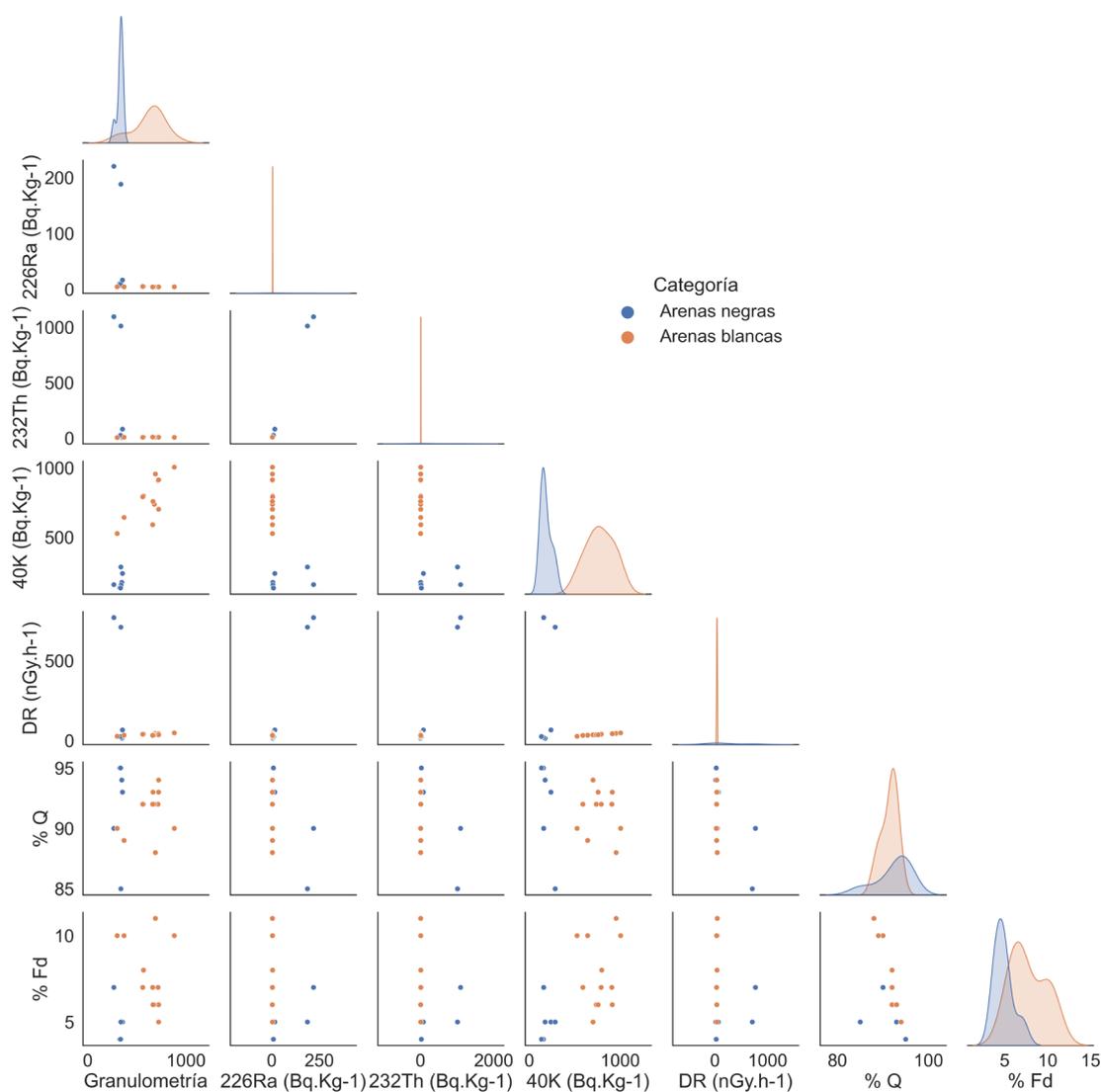


FIGURA 5. Matriz de dispersión e histogramas de las variables analizadas en las arenas de playa. En base a los histogramas, se pueden observar dos grupos de datos, correspondientes a la zona de “arenas blancas” (naranja), y de “arenas negras” (azul).

FIGURE 5. Dispersion matrix and histograms of the variables analyzed of the beach sands. Based on the histograms, two groups of data can be observed, corresponding to the area of “white sands” (orange), and “black sands” (blue).

TABLA 3. Coeficientes de correlación de Pearson y Kendall de las variables estudiadas de los grupos de datos: Arenas negras y Arenas blancas, $p < 0,05$.

TABLE 3. Pearson and Kendall correlation coefficients of the studied variables of the data groups: Black sands and White sands, $p < 0,05$.

Arenas Negras			Arenas Blancas		
Variable	Pearson	Kendall	Variable	Pearson	Kendall
DR/ ²³² Th	0,99	0,92	DR/ ⁴⁰ K	0,98	0,97
DR/ ²²⁶ Ra	0,99	0,90	Granulometria/ ²²⁶ Ra	-0,98	-
²³² Th/ ²²⁶ Ra	0,98	0,90	%Fd/%Q	-0,96	-0,90

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se abordan aspectos geomorfológicos como ser la caracterización de perfiles de playa; sedimentológicos como son los estudios granulométricos y las acumulaciones de arenas negras que están fuertemente ligados a los cambios estivales, fenómenos climáticos extraordinarios y otros aspectos de la dinámica litoral. Al ser un ambiente muy dinámico se requieren estudios periódicos para constatar los cambios en los elementos geomorfológicos de esta zona relacionados con la playa (bermas, dunas, escarpas, desembocadura de laguna, etc). Los resultados únicamente reflejan el estado de situación a la fecha del relevamiento y muestreo de campo (7 de Julio del 2020), y por lo tanto, están sujetos a las modificaciones naturales del entorno.

Las playas presentan pendientes que oscilan entre 5 y 10° aproximadamente, desde la línea de costa hasta la cota superior de la playa distal. El arco se caracteriza por tener a lo largo del arco algunos escarpes de erosión, la presencia de un canal supramareal (Figura 6) y ser parte de la barra de cierre de la laguna José Ignacio. El tipo morfodinámico al momento de la observación es reflectivo para las playas Punta Piedras, Eden Rock y Laguna José Ignacio, tanto por las características físicas de las playas (Tabla 4) como por el cálculo del parámetro de Dean 0,98; 0,87 y 0,90 respectivamente (Short, 1996). Esto puede representar una ventaja ante eventuales derrames: la reducida zona de afectación, la alta pendiente de la playa y el fuerte hidrodinamismo, favorecen a una limpieza natural más rápida y efectiva. La playa en José Ignacio es de morfodinámica intermedia lo que la hace la más vulnerable a los derrames en el arco y coincide con las zonas de arenas negras. La capacidad de infiltración y retención de los posibles contaminantes son potencialmente mayores en arenas de granulometría media, por lo que las playas de José Ignacio y alrededores son las que tendrían una mayor susceptibilidad en este sentido. Se debe mencionar que esta afirmación puede estar sesgada por lo propuesto por Bergueiro *et al.*, (1990), se deben tener en cuenta la complejidad de los factores que pueden incidir en este aspecto como las propiedades del contaminante, el clima, el volumen del derrame, etc.

Las acumulaciones de arenas negras se presentan al Este de la desembocadura de la laguna José Ignacio hasta la punta de José Ignacio. Pueden encontrarse a lo largo de todas las zonas de la playa en diferentes abundancias. La profundidad observada alcanza un metro por debajo de la superficie de la playa, no se descarta que se extienda más de esta profundidad. Estas acumulaciones están sujetas a los cambios propios del sistema litoral, esto significa que las arenas están continuamente en movimiento y cambiando su ubicación en forma local. La composición mineralógica que le aporta su color característico a estas arenas, son la

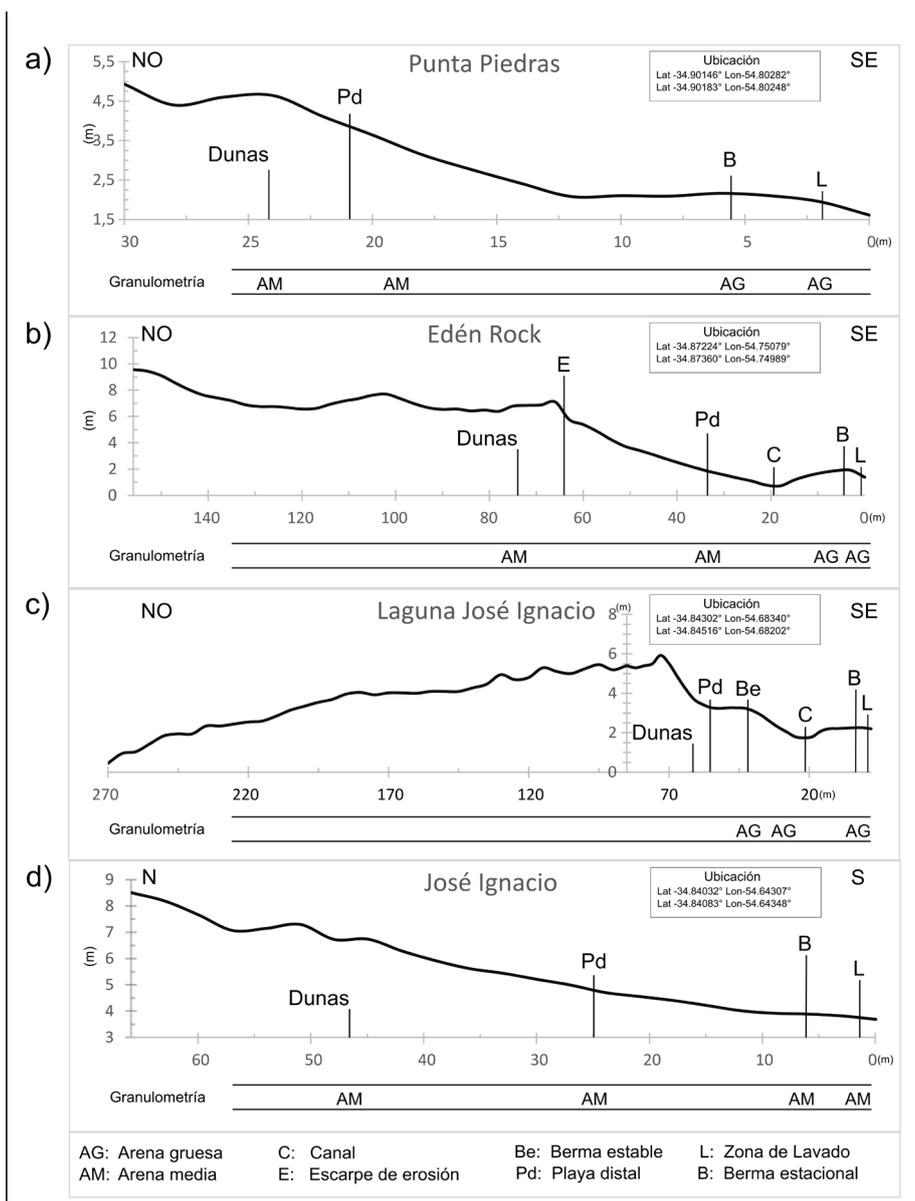


FIGURA 6. Perfiles de playa (7 de julio de 2020): a) Punta Piedras; b) Edén Rock; c) Laguna José Ignacio (incluye posplaya hasta la laguna); d) José Ignacio.

FIGURE 6.. Beach profiles (July 7, 2020): a) Punta Piedras; b) Eden Rock; c) José Ignacio Lagoon (includes post-beach to the lagoon); d) José Ignacio.

TABLA 4. Parámetros Morfológicos del arco de playa Punta Piedras - José Ignacio.
 TABLE 4. . Morphological parameters of the Punta Piedras - José Ignacio beach arch.

Playa	Perfil	Ancho playa distal (m)	Formas	Berma estable	Berma estacional	Canal	Pendiente (°)	Altura de duna (m)	Cota cresta (m)	Cota pie (m)
Punta Piedras	1	8,5	Concava	NO	SI	NO	5,3	1,3	4,9	3,6
Eden Rock	2	32,0	Concava	NO	SI	SI	10,8	2,8	9,3	6,5
Laguna José Ignacio	3	35,0	Concava	SI	SI	SI	10,0	1,7	5,9	4,2
José Ignacio	4	19,0	Plana	NO	SI	NO	6,5	2,2	8,5	6,3

ilmenita y otros óxidos metálicos, estos minerales están presentes en las fracción fina y muy fina de la arena. La abundancia es minoritaria y variable entre un 1 y 10%, el resto es conformado principalmente por cuarzo y feldespatos. Las granulometrías más gruesas están asociadas al tramo rectilíneo del arco, y las más finas al cierre del mismo. La selección mejora de Oeste a Este, existe una tendencia general a las granulometrías más finas, y una curtosis leptocúrtica en la zona central del arco y platicúrtica hacia sus extremos (Figura 3).

Si bien la identificación de arena negra puede ser evidente por su color característico, la diferenciación de éstas con arenas empetroladas puede no ser tarea fácil. A esto, se suma la posibilidad de que las arenas negras se contaminen con petróleo o sus derivados. Esto conforma un escenario particular en la zona de estudio, que debe ser atendido por quienes llevan a cabo las labores de remediación ante un derrame. En este sentido las probabilidades de encontrarse con este escenario aumentan en la zona mapeada como “Playas con arenas negras” (Material Complementario). Por otra parte, desde la desembocadura de la laguna José Ignacio al Oeste hasta Punta Piedras no se encontraron durante el estudio acumulaciones de dichas arenas, por lo que no se considera necesaria otras precauciones más que las inherentes a las tareas de limpieza y remediación ante un derrame, por el momento.

Los datos obtenidos por la espectrometría gamma (Tabla 2) muestran actividades del ^{226}Ra y ^{232}Th similares entre las muestras de Punta Piedras, Edén Rock y Laguna José Ignacio, con un leve aumento en las muestras de José Ignacio (Figura 4). Las muestras tomadas directamente en zonas de acumulación de arenas negras (P5, P6 y P7), muestran un claro aumento en la actividad. La concentración de estos radionucleidos puede explicar las zonas de alto fondo radiactivo y coincide con la presencia de arenas negras. Los coeficientes de correlación de Pearson y Kendall si bien se realizaron con una baja cantidad de datos, reflejan comportamientos coherentes con las observaciones, existe alta correlación positiva entre la DR y las actividades de los radionucleidos ^{226}Ra y ^{232}Th , en áreas con presencia de arenas negras (tabla 3). En cuanto al origen de estos radionucleidos en las arenas es presumible que provengan de los minerales de zircón y monacita (Piriz, 1953; DINAMIGE, 2002; Omar y Hassan, 2002). Los datos muestran que la tendencia tanto de la actividad del ^{40}K como la del DR disminuyen de Oeste a Este, sumado a que en las áreas de “Arenas blancas” estas variables tienen un alto coeficiente de correlación (tabla 3), se sugiere, que, en estas condiciones, la DR está mayormente explicada por la actividad del ^{40}K . El origen más probable del potasio se puede explicar por la presencia del grupo de los feldespatos en la arena, de fórmula general $(\text{K,Na,Ca,Ba,NH}_4)(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$, los feldespatos contienen potasio y por ende sus isótopos.

La DR varía entre 15 y 770 nGy.h⁻¹, la DEAR varía entre 0,09 y 4,7 mSv.año⁻¹. El nivel promedio mundial para la DR según UNSCEAR (2000) es de 60 nGy.h⁻¹. Esto significa que las zonas donde se tomaron las muestras representan sitios por debajo del fondo radiactivo promedio a excepción de las muestras P5, P6 y P7 que coinciden con las muestras tomadas de acumulaciones de arenas negras (Tabla 2). Este cambio abrupto en la dosis está directamente relacionado a las cadenas desintegrativas del ²³⁸U y ²³²Th. La diferencia entre los valores mínimos y máximos obtenidos es más de un orden de magnitud, y son comparables a zonas de similares características en otras partes del mundo (Veiga *et al.*, 2006; Kaiser *et al.*, 2014; Shuaibu *et al.*, 2017).

La Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda a la población una exposición no mayor a 1.0 mSv.año⁻¹ (ICRP 2007). Si bien las muestras P6 y P7 superan por más de cuatro veces este límite, para que sea efectiva esta dosis se debería estar expuesto directamente durante un año, por lo que es poco probable que sea un riesgo para la población en general, ya que si multiplicamos estas dosis por el factor de ocupación al aire libre (0,2) como se describe en UNSCEAR (2000), los valores pasan a ser 0,94 y 0,88 mSv.año⁻¹ que están por debajo de las recomendaciones. Sin embargo, existen casas de veraneo muy próximas a las playas en José Ignacio (Figura 2) que presentan arenas negras, esto puede significar una mayor exposición a estas zonas de alto fondo radiactivo natural.

CONCLUSIONES

Se presentaron en este trabajo cuatro perfiles de playa realizados en invierno de 2020 y dos mapas geomorfológicos escala 1:50.000 y 1:20.000 de ese arco. En ellos, se muestran también las zonas de acumulación de arenas negras en ese momento, desde la desembocadura de la Laguna José Ignacio y la Punta José Ignacio lo que ha suscitado en ocasiones algunas situaciones confusas. Por ello, este tipo de investigación brinda un conocimiento previo en caso de eventuales derrames, para abordar las tareas de limpieza y remediación, teniendo en cuenta la naturaleza de esta zona y evitar situaciones confusas no deseables.

Se recomienda que en episodios de derrames entre la desembocadura de la laguna José Ignacio y la punta de José Ignacio, se tenga especial atención en la identificación de los derrames. Se recomienda utilizar métodos que permitan discriminar *in situ* arenas contaminadas de arenas negras, con el fin de provocar el mínimo impacto durante las labores de limpieza.

Desde el punto de vista radioambiental en el arco de playa Punta Piedras - José Ignacio existen zonas

de alto fondo radiactivo, de 710 y 770 nGy.h⁻¹ asociadas a acumulaciones de arenas negras. Sin embargo, no configuran riesgos radiológicos para la población en general. Se obtuvieron diferentes correlaciones que explican la variabilidad de la DR a lo largo del arco, donde el ⁴⁰K explica la DR en “arenas blancas” y el ²²⁶Ra y ²³²Th en “arenas negras”.

Debido a los cambios morfológicos a corto plazo que se dan naturalmente en este tipo de playas oceánicas, es importante que, para el abordaje en futuras ocasiones de las problemáticas tratadas en este trabajo, se tenga en cuenta los cambios morfodinámicos que pueden afectar el arco tales como: cambios estivales, la apertura intermitente de la laguna José Ignacio o eventos de tormenta. Por estos motivos, es recomendable realizar monitoreos sistemáticos pos-eventos extremos para conocer la respuesta geomorfológica (erosión - sedimentación) en este arco.

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Roberto Russo por compartir y discutir la temática abordada en este trabajo. A la Lic. Romina Sanabria por su colaboración en las tareas de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional de Puertos. (2020) Mareógrafo. Uruguay. Recuperado de: <http://mareografo.anp.com.uy>
- Alves, M. (2011). Aspectos geomorfológicos de la costa atlántica uruguaya. Trabajo de Grado de la Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay. 110pp.
- ANCAP (1967) “Evaluación del yacimiento de arenas negras de Aguas Dulces” Montevideo. Uruguay.
- Antia, E. (1993). A Morphodynamic Model of Sandy Beach Susceptibility to Tar Pollution and Self-Cleansing on the Nigerian Coast. *Journal of Coastal Research*, 9(4), 1065-1074.
- Basei, M., Peel, E., Sanchez, L., Preciozzi, F., Nutman, A. (2011) .The basement of the Punta del Este Terrane (Uruguay): an African Mesoproterozoic fragment at the eastern border of the South American Río de La Plata cratón. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 289-304.
- Benitez, Y. (2016). Caracterización mineralógica de tres playas de la costa atlántica uruguaya. Práctica Profesional Supervisada. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 32pp
- Bergueiro, J., Dominguez, F. y Morales, N. (1990). Conducta de algunos crudos y derivados del petróleo derramados en arena de playa de baleares. *Boll. Soco Hist. Nat. Balears*, 33, 279-286.
- Bermúdez, J., Lastra, M., Sánchez-Mata, A., Gallego, Ml. (2003). Efecto de vertidos de hidrocarburos sobre los fondos

blandos: intermareales y submareales. En: El impacto del Prestige: análisis y evaluación de los daños causados por el accidente del Prestige y dispositivos para la regeneración medioambiental y recuperación económica de Galicia, Fundación Barrié. Instituto de Estudios Económicos de Galicia. Pp 113-136

Clark, R.B. (2001). Marine Pollution. Quinta edición. Oxford University Press. p. 64 – 97.

Curvelo, A., Novoa, S. (2015). Caracterización mineralógica – geoquímica de la fracción pesada de las arenas negras de “El Águila”, Canelones. En: Expo Cierre, CSIC, Montevideo, Uruguay.

Dean RG. (1977). Equilibrium beach profile: US Atlantic and Gulf Coasts, Department of Civil Engineering. Ocean Engineering Rep. No. 12. University of Delaware, Newark.

DINAMIGE. (2002). Estudio geológico minero del depósito de arenas negras de Aguas Dulces, Departamento de Rocha. Dirección Nacional de Minería y Geología, división geología, Uruguay, 3-39

El Observador (27 de diciembre de 2018) Boya petrolera de José Ignacio perdió 5.800 litros y afectó a cuatro animales. El Observador. Recuperado de: <https://www.elobservador.com.uy/>

El País (03 Febrero 2019). Derrame de crudo en la boya petrolera de José Ignacio ya fue controlado, según ANCAP. El País. Recuperado de: <https://www.elpais.com.uy/>

El País (20 Abril 2020). Prefectura trabajó en derrame de hidrocarburo en boya de José Ignacio. El País. Recuperado de: <https://www.elpais.com.uy/>

Evia, G.; Gudynas, E. (2000). Ecología del paisaje en Uruguay: aportes para la conservación de la diversidad biológica. AECI-MVOTMA. Sevilla, España. 173 pp.

Ferrando L, Bossi J, Maldonado S, Schipilov A y Campal N. (2003). Evaluación de reservas de arenas negras en Aguas Dulces, Departamento de Rocha, Uruguay. Revista Uruguaya de Geología, 10: 15-28

Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.

Folk, R.L., Andrews, P.B., y Lewis, D.W. (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use Chubut, Argentina. Actas X Congreso Geológico Argentino (Tucumán) 1, 75–78.

Gibbs, R., Matthews, M., Link, D. (1971). The relationship between sphere size and settling velocity. Journal of Sedimentary Petrology. 41, 7-18.

Gómez Pivel, MA, (2006), Geomorfología y procesos erosivos en la costa atlántica uruguaya, en Menafra, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F., Conde, D. (eds.), Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, 35-44.

- González, J., Joaquin Irigoyen, J. Mirel Cabrera, M., Tassano, M. (2016). Determinación de tasas de dosis radioactivas naturales por espectrometría gamma a partir de ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K en arenas negras de playas de Villa Argentina (Canelones) Uruguay. En: Expo Cierre, CSIC, Montevideo, Uruguay.
- Goñi, J. C. (1950). Arenas negras ilmenítico – monacíticas del Uruguay. Boletín de la Facultad de Ingeniería 4(1): 103-110.
- Goñi, J. C. (1952). Arenas negras ilmenítico – monacíticas del litoral sur – uruguayo. Revista de la Facultad de Ingeniería: 209-236.
- Goso, C., Piñeiro, G., Ugalde, R. y Olivera, A. (2016). Mapas geomorfológicos y geológicos a escala 1:50.000 de la costa uruguaya, memoria descriptiva y síntesis geológica. Proyecto MVOTMA (DINAMA - UdelaR). Estudio de la vulnerabilidad a la erosión costera y sedimentación dunar en la costa platense y atlántica. 162 pp. (informe inédito).
- Gutiérrez Elorza, M. (2008), Geomorfología. Pearson/Prentice Hall, Madrid, pp 898.
- ICRP. (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- IDEuy. (2020). Visualizador. Infraestructura de datos espaciales. Uruguay. Recuperado de: https://visualizador.ide.uy/ideuy/core/load_public_project/ideuy/
- ITOPF. (2011a). Reconocimiento de hidrocarburos en las costas. Recuperado de <https://www.itopf.org/>
- ITOPF. (2011b). Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino. Recuperado de <https://www.itopf.org/>
- Kaiser, M y Aziz, A y Ghieth, B. (2014). Environmental hazards and distribution of radioactive black sand along the Rosetta coastal zone in Egypt using airborne spectrometric and remote sensing data. Journal of environmental radioactivity. 137C. 71-78.
- Lara, P; Oyhantçabal, P; Belousova, E. (2020). Two distinct crustal sources for Late Neoproterozoic granitic magmatism across the Sierra Ballena Shear Zone, Dom Feliciano Belt, Uruguay: Whole-rock geochemistry, zircon geochronology and Sr-Nd-Hf isotope evidence, Precambrian Research, Volume 341,105625
- López Laborde, J. (2005). Caracterización y Diagnóstico del Litoral Costero sobre el Río de la Plata y el Océano Atlántico (Nueva Palmira a Chuy). Universidad de Mar del Plata. Informe técnico Freplata. 97pp.
- López Laborde, J., Perdomo, A., Gomez, M. (2000). Diagnóstico Ambiental y Socio-Demográfico de la Zona Costera Uruguay del Río de la Plata: Compendio de los principales resultados. EcoPlata, Montevideo, Uruguay. 180pp.
- Masquelin, H. (2002). A evolução estrutural e metamórfica do Terreno Punta del Este-Sudoeste Uruguiaio. Tese de doutorado. Instituto de Geociências-UFRGS, Brasil, 350 pp.
- MTOP – PNUD. (1979). Proyecto Conservación y Mejora de Playas. Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Proyecto

de las Naciones Unidas para el Desarrollo, UNESCO. Montevideo. 593pp.

Noguera, A. L., Bentos Pereira, H., y Fornaro, L. (2014). Radiactividad natural en la zona costera del departamento de Rocha, Uruguay. *AUGMDOMUS*, 5, 213-218.

Omar, M., Hassan, A., (2002). The occurrence of high concentration of natural radionuclides in black sands of Malaysian beaches. *Jurnal Sains Nuklear Malaysia* 20 (1–2), 30–36.

Piriz, C. (1953). Las arenas negras radiactivas del Uruguay. *Revista Química Industrial* 4(1): 288 – 301.

Preciozzi, F., Masquelín, H., Basei, M. (1999). The namaqua/grenville terrane of eastern Uruguay: 2nd South American symposium on isotope geology, Argentina, 338-340

Precciozzi, F., Masquelín, H. y Sánchez, L. (1993). Geología de la porción sur del Cinturón Cuchilla Dionisio. Guía de Excursión, I Simposio del NeoProterozoico- Cámbrico de la Cuenca del Plata. La Paloma, Uruguay. 3-39

SOHMA. (2020). Contribución al estudio de olas información estadística en la costa Sur y Este del Uruguay, Armada Nacional, Uruguay. 22 pp.

Short, A (1996) The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review. *Rev Chil Hist Nat* 69, 589–604.

Shuaibu, H., Khandaker, M., Alrefae, T. (2017). Assessment of natural radioactivity and gamma-ray dose in monazite rich black Sand Beach of Penang Island, Malaysia, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 119, Issue 1, 423-428.

Spoturno, J., Oyhançabal, P., Loureiro, J. (2012) Mapa Geológico del Departamento de Maldonado, Acuerdo de cooperación científica y técnica Facultad de Ciencias (UdelaR)-Dirección Nacional de Minería y Geología, Uruguay, escala 1/100 000.

UNSCEAR, (2000). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the effect of atomic radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York. 659pp.

Veiga R, Sanches N, Anjos RM, Macario K, Bastos J, Iguatemy M, Aguiar JG, Santos AMA, Mosquera B, Carvalho C, Baptista Filho M y Umisedo NK. (2006). Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Radiation Measurements* 41(2): 189-196