

El istmo arenoso de Gibraltar-La Línea: fisicoquímica de sedimentos y dinámica geomorfológica

José Manuel Recio Espejo, Eladio Bracho Galafate y Rafael Cerpa González

Recibido: 15 de enero de 2025 / Revisado: 20 de febrero de 2025 / Aceptado: 21 de febrero de 2025 / Publicado: 9 de octubre de 2025

RESUMEN

Se lleva a cabo una caracterización fisicoquímica de los sedimentos arenosos que conforman el istmo Gibraltar-La Línea. Ello ha permitido la separación en el mismo de facies de génesis eólica de otras de tipo playa. La datación cronológica realizada, coincidente con otras anteriores, revela una conformación de este espacio geográfico en fechas muy recientes casi históricas.

Palabras clave: sedimentos, fisicoquímica, cronología, istmo Gibraltar-La Línea.

ABSTRACT

A physical-chemical characterisation of the sandy sediments that make up the Gibraltar-La Línea isthmus has been carried out. This has allowed the separation of eolian facies from beach facies. The chronological dating carried out, which coincides with previous dating, reveals that this geographical space was formed very recently, almost historically.

Keywords: sediments, physical chemistry, chronology, Gibraltar-La Línea isthmus.

1. INTRODUCCIÓN

En la celebración de las jornadas del pasado mes de abril de 2024, sobre Fauna y Flora del Instituto de Estudios Campogibaltareños, que tuvieron lugar en San Roque, se planteó la existencia, en los sedimentos arenosos que sustentan el parque Reina Sofía de La Línea de la Concepción (Cádiz), de una capa dura/costra en profundidad que vendría a entorpecer el normal crecimiento de las raíces de los árboles de repoblación y jardinería allí sembrados, aconsejándose por ello la rotura de la misma para facilitar el normal crecimiento de estos (Lámina 1).

Los primeros datos sobre los sedimentos que conforman el tómbolo que une Gibraltar a la masa continental, fueron aportados por García del Barrio *et al.* (1970), quien desde el punto de vista edafológico los incluyó y cartografió en la serie de suelos que denominó “La Atunara”, tratándose de suelos del litoral a base de “arenas voladeras”, no coherentes, mayormente silíceas y con pequeña formación bioclástica carbonatada.

El perfil estudiado sólo llegó hasta la profundidad de 50 cm, mostrando unos valores de pH de 7.0, contenido en materia orgánica del 1.14%, no calcáreo y unos niveles de arcilla menores al 3.5%. El material parental que le daba origen lo describió como correspondientes a dunas litorales, sin cementación y suelto, con potencia de unos 4 metros y arenas procedentes de “la piedra de la mar”, lumaquela muy caliza con un 60 % de carbonatos y edad pliocena.

Rose y Rosenbaum (1991) aportaron algunos datos al respecto en su trabajo sobre la geología de Gibraltar, y con más detalle Rose y Hardman (1994), quienes realizaron un análisis fisicoquímico de las arenas litorales y de playas, y más concretamente sobre la gran duna rampante de Gibraltar, determinando su carácter suelto y procedencia alóctona, su color, naturaleza muy poco carbonatada y constituida mayoritariamente a base de granos de cuarzo bien rodados de arenas medias con presencia de fragmentos de esquistos. Para el caso concreto del

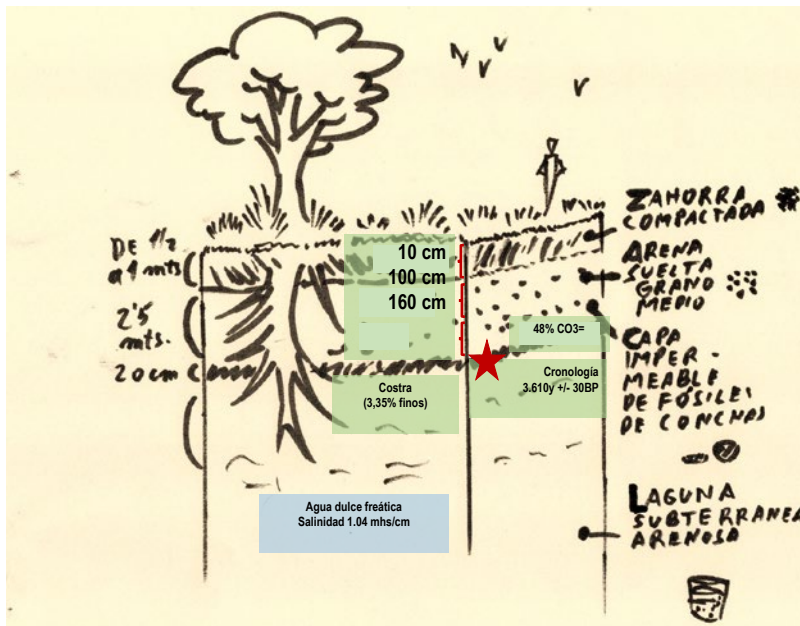


Lámina 1. Esquema sedimentario de partida en el Parque Reina Sofía de La Línea de la Concepción. Datos fisicoquímicos y cronología. Elaboración propia

istmo, hicieron resaltar su granulometría a base de arenas marinas de tamaño medio con potencia de unos 10 m. y cronología holocena, haciendo referencia a la falta de dataciones cronológicas que fechasen estas formaciones.

Gutiérrez *et al.* (1991), en su estudio sobre la geología de la provincia de Cádiz, no aportaron datos relevantes sobre estas arenas del tómbolo; Zazo *et al.* (1994), efectuaron dataciones en la playa/flecha de La Atunara aportando cronologías entre 3.329-2.700 BP, señalando unos niveles máximos transgresivos a cronologías en torno a +/- 2.000 BP.

En esta misma línea Rodríguez Vidal *et al.* (2010) determinaron el color y el diámetro de estas arenas dunares en el entorno inmediato a Gibraltar calificándolas de grano medio a grueso y representándolas mediante histogramas. Posteriormente, Rodríguez Vidal *et al.* (2011), en el sondeo efectuado, obtuvieron sobre los dos metros de profundidad, una cronología de 2.680 +/- 30 BP, no realizando comentario alguno sobre su posible retrabajamiento eólico.

Gracia *et al.* (2011) incluyeron al sector de La Atunara en el litoral mediterráneo, deteniéndose en la estabilidad y avances de sus playas, comentando algunos aspectos de la granulometría de estas arenas. Montes *et al.*, (2017) y Gracia *et al.* (2023) no proporcionaron

datos fisicoquímicos ni granulométricos de las muestras estudiadas.

La cartografía de la serie Magna de la zona (IGME, 2012 a y b) separa geomorfológicamente formaciones tipo dunas de génesis eólica, de otras arenas tipo playas y de las correspondientes a flechas litorales. Datos de índole histórica como los aportados por López Fernández (2006 y 2022), Pardo González (2020), o Sáez Rodríguez (2006) ayudan a aproximarnos también a entender la génesis y evolución geomorfológica de este istmo arenoso.

En base a lo expuesto, el presente trabajo intenta describir y caracterizar fisicoquímicamente dos perfiles sedimentarios de 160 y 190 cm de espesor, desarrollados sobre estas arenas del istmo, así como poner de manifiesto la presencia en profundidad de una costra dura carbonatada desarrollada por encima del nivel de un agua freática dulce y bicarbonatada responsable de su formación. Al mismo tiempo aporta una cronología de estas formaciones e intenta hacer resaltar la utilidad de algunos parámetros fisicoquímicos para diferenciar las distintas formaciones eólicas arenosas que configuran el tómbolo actual.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha procedido a la apertura de dos perfiles/sondeos en este espacio arenoso, por un lado, el



Lámina 2a. Istmo arenoso Gibraltar-La Línea. Elaboración propia a partir de Google Earth



Lámina 2b. Localización del perfil "El Barco" y muestra "zahorra". Elaboración propia a partir de Google Earth



Lámina 2c. Localización del perfil "El Conchal" y muestras "playa". Elaboración propia a partir de Google Earth

perfil denominado "El Barco" a cota de 1-2 m. s. n. m. y coordenadas de $36^{\circ} 09' 51,61''$ (N)/ $5^{\circ} 20' 24,20''$ (W), y por otro, el perfil "El Conchal" a 2-3 m. y a $36^{\circ} 09' 51,61''$ (N)/ $5^{\circ} 20' 24,20''$ (W). Se complementaron con el muestreo de arenas de playa, "Playa I (foreshore) y II (backshore)" a cota de 0-0,5 m s. n. m. y posicionadas en $36^{\circ} 09' 58,17''$ (N)/ $5^{\circ} 20' 14,77''$ (W), y "Playa III (paleoplaya)" a unos 3-4 m. s. n. m. y a coordenadas $36^{\circ} 10' 00,14''$ (N)/ $5^{\circ} 20' 19,29''$ (W). De igual forma se muestreó la capa de zahorra que recubre en la actualidad la mayor parte del parque para su estudio comparativo con las formaciones arenosas infrayacentes (Lámina 2 a, b y c).

Se ha consultado la cartografía geológica existente de IGME (2012 a y b), la cartografía a escala 1:10.000 del Mapa Topográfico de Andalucía, el software QGIS 3.34.5 "Prizren" del Instituto Geográfico Nacional (2020) y analizado

las imágenes *Google Earth* correspondientes donde se tomaron las altitudes y coordenadas de los perfiles y muestras superficiales estudiadas.

En el laboratorio se procedió al estudio físico-químico de estas muestras procediéndose a la descripción de perfiles según FAO (1977), la determinación de los parámetros de susceptibilidad magnética (Dearing, 1999), carbonatos totales (Duchaufour, 1975), densidad aparente, real y porosidad (M.A.P.A., 1986), color (Munsell, 1990), fracciones granulométricas/textura (Soil Survey England and Wales, 1982), salinidad/conductividad eléctrica (U.S.D.A., 1973) y pérdida por calcinación (Primo y Carrasco, 1973; Guitián y Carballas, 1976). En el agua freática se determinaron el contenido en pH, carbonatos, bicarbonatos y nitratos (Domenec Ros, 1979). La datación por radiocarbono C^{14} fue realizada en el laboratorio *Beta Analytic Inc.* (Miami FL33155USA).

3. RESULTADOS Y COMENTARIOS

La lámina 1 muestra un esquema de las primeras impresiones de campo, una capa de zahorra compactada superpuesta a un paquete de arenas sueltas de grano medio y supra yacientes a otra capa impermeable con conchas fósiles, todo ello constituyendo “un sustrato de capas antagónicas”. Por debajo de ésta se detectó también la existencia de agua subterránea descrita como “laguna subterránea arenosa” (Lámina 1).

El perfil “El Barco” fue abierto para caracterizar morfológicamente y fisicoquímicamente estas diferentes capas anteriormente descritas. Este perfil muestra un horizonte/capa artificial de color pardo fuerte a parduzco (7.5YR 5/5-7.5YR 4/4) que descansa sobre una formación arenosa con un espesor de hasta 160 cm de profundidad y cromas 10YR 6/2 (gris pardo brillante) a 10YR 4/1 (grisáceas). Por debajo de éste aparece una capa endurecida o costra a base de arenas y conchas de bivalvos fuertemente cementada, que viene a poner de manifiesto la descripción previamente realizada (Lamina 1), tratándose quizás de la lumaquela comentada por García del Barrio *et al.* (1970) (Lámina 3 a, b y c).

La capa de zahorra superficial está totalmente descarbonatada, y son del 7-10 % en la capa inferior arenosa, derivado de la presencia de restos de conchas de bivalvos existentes. La capa endurecida infrayacente presenta sin embargo un contenido elevado de carbonatos del 48% (Tabla I; lámina 3a), provocándole impermeabilidad,

consistencia y dureza frente a los superiores. La presencia de sales es inexistente y el contenido de elementos orgánicos (P.calc.) decrece con la profundidad.

El paquete arenoso (40-160 cm) presenta un contenido en arenas del 94,45%, estando los finos muy escasamente representados (55%; Tabla III; gráfico 1). La costra infrayacente es de naturaleza arenosa muy parecida a la anterior, con un contenido del 96,65% de arenas y de un 3,35 de finos (Tabla I; gráfico 1). El reparto granulométrico de esta fracción arena se muestra en la tabla III; mientras que en superficie las arenas predominantes son las de tamaño muy finas, en las dos muestras tomadas a 40 y 160cm de profundidad muestran un predominio de las fracciones medias y finas (49,08 y 39,59% de valor medio respectivamente) estando las demás fracciones muy poco representadas. Idéntico reparto de estas distintas fracciones de las arenas se observa en la capa/costra inferior endurecida por los carbonatos (+160 cm).

El gráfico 2 muestra el reparto de estas arenas. En ellas se pone de manifiesto de nuevo la similitud existente entre los horizontes de arena sueltas y la capa endurecida, y en base a ello puede deducirse que han sido afectadas por una clara selección de tipo eólico. La morfología de la curva correspondiente a la capa superficial de zahorra vendría a ayudar a poner de manifiesto esta selección por el viento.

El agua freática presente es de naturaleza no salina (1,04 mhs/cm; Lámina 1, Gráfico 1)



Lámina 3a. Facies externa de la capa cementada

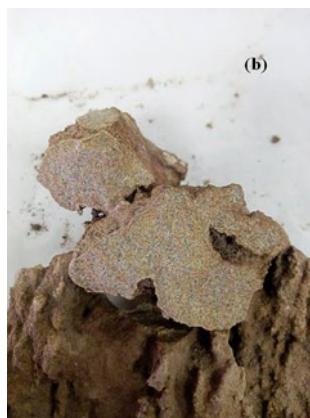


Lámina 3b. Sección de la capa cementada



Lámina 3c. Concha de *Acanthocardia tuberculata* utilizada para datación

(Prof., cm)	Color (s)	Color (h)	CO ₃ ⁼ (%)	C.E. mhs/cm	P. calc. (%)	S.M. (10 ⁻⁹) χ m ³ /kg	D. apr. (g/cm ³)	D. real (g/cm ³)	Poros. (%)	Arenas (%)	Finos (%)
Perfil "El Barco"											
0- 40	7,5YR 5/6	7,5YR 4/4	0,00	0,77	4,54	280	n.d.	n.d.	n.d.	67,65	32,35
40-100	10YR 6/2	10YR 4/1	7,00	0,87	2,23	200	1,55	2,55	39,41	94,45	5,55
100-160	10YR 6/2	10YR 4/1	10,00	0,87	1,69	185	1,5	2,55	41,17	96,65	3,35
Costra			48,00								
Perfil "El Conchal"											
0-54	2,5Y 5/2	2,5Y 3/0	5	0,22	1,48	405	1,64	2,62	37,4	96,9	3,1
54-90	2,5Y 6/2	2,5Y 4/2	5	0,22	1,14	435	1,63	2,64	38,25	98,3	1,7
90-120	2,5Y 6/2	2,5Y 4/2	5	0,19	1,08	330	1,64	2,63	37,64	97,75	2,25
120-185	2,5Y 6/2	2,5Y 4/2	5	0,63	1,03	275	1,6	2,62	38,93	98,45	1,55
185-190	2,5Y 6/2	2,5Y 4/2	6	0,24	1,19	290	1,65	2,57	36,96	98,55	1,45

Tabla I. Caracterización fisicoquímica de los perfiles estudiados.

(Prof., cm)	Color (s)	Color (h)	CO ₃ ⁼ (%)	C.E. mhs/cm	P. calc. (%)	S.M. (10 ⁻⁹) χ m ³ /kg	D. apr. (g/cm ³)	D. real (g/cm ³)	Poros. (%)	Arenas (%)	Finos (%)
Playa I: 0-20	abigarrado	abigarrado	3,00	3,63	1,08	175	1,62	2,61	37,93	100	0
Playa II: 0-20	abigarrado	abigarrado	4,00	4,17	1,03	185	1,6	2,58	37,98	99,75	0,25
Playa III: 0-20	10YR 5/1	10YR 3/1	3,00	0,40	1,66	520	1,7	2,62	35,11	97,1	2,9
Zahorra: 0-20	10YR 7/6	10YR 6/6	54,00	0,38	2,51	75	n.d.	n.d.	n.d.	73,65	26,35

Tabla II. Caracterización fisicoquímica de muestras superficiales.

y presenta un contenido en bicarbonatos en disolución de 640 mg/l, y menos de 0,1 ppm de carbonatos; su pH es de 7-7,5 y los niveles de nitratos encontrados son de 3-1 ppm. La datación efectuada por radiocarbono C¹⁴ en una concha de bivalvo (*Acanthocardia tuberculata*) situada a 160 cm de profundidad ha revelado una cronología de 3.610 y +/- 30 BP (Lámina 3c, Gráfico1).

Estos datos parecen indicar por un lado la falta de contaminación de estas aguas, y, por otro, la formación del encostramiento del horizonte arenoso descrito que estaría causado por la precipitación de los bicarbonatos presentes. Dada la cota en que se encuentra posicionado el perfil y a la oscilación del nivel piezométrico motivado por el régimen de mareas, sería la causa de la génesis de esta capa endurecida de no más de un metro de espesor (Gráfico 3 a, b y c). Las fechas encontradas (3.610 y +/- 30 BP) están cercanas a las encontradas por otros autores (Zazo *et al.*,

1994; Rodríguez Vidal *et al.*, 2011), y vienen a ayudar a interpretar y profundizar en la génesis y evolución reciente de este istmo/tómbolo actual, y, al mismo tiempo, poner de manifiesto la existencia de un antiguo depósito de paleoplaya posteriormente retrabajado por la acción del viento.

Con el objeto de complementar esta interpretación se procedió también a la apertura del perfil "El Conchal" situado más en el interior del istmo arenoso, localizado a una mayor cota y a una mayor distancia del actual nivel de playa (Tablas I y III; Lámina 2c). Este perfil de tonalidades 2,5Y 7/2-6/2 (pardo grisáceo) aparece muy descarbonatado hasta al menos los 190 cm de profundidad, de igual forma que el anterior y derivado de los restos de conchas presentes (5-6%); no posee salinidad alguna y la pérdida por calcinación revela bajos contenidos de materia orgánica. Su textura es arenosa con finos

Perfil "El Barco" (Prof. cm; mm Ø)	Muy gruesas (2-1)	Gruesas (1-0.5)	Medias (0.5-0.25)	Finas (0.25-0.125)	Muy finas (0.125-0.063)
0- 40	0	2,3	6,70	33,20	57,75
40 100	3,45	4,3	50,21	38,10	3,89
100-160	1,37	6,0	47,96	41,08	3,59
Media.	2,41	5,2	49,08	39,59	3,74
Costra (no CO₃⁼)	0,55	1,4	47,85	49,37	0,85
Perfil "El Conchal"					
0-54	7,09	29,16	51,13	11,35	1,26
54-90	3,69	23,33	54,78	16,47	1,71
90-120	4,23	24,51	54,05	15,52	1,67
120-185	3,64	29,68	56,82	9,16	0,67
185-190	9,73	28,94	49,97	10,61	0,72
Media.	5,83	27,21	53,35	12,62	1,2

Tabla III. Distribución granulométrica de la fracción arena.

Muestra (Prof. cm; mm Ø)	Muy gruesas (2-1)	Gruesas (1-0.5)	Medias (0.5-0.25)	Finas (0.25-0.125)	Muy finas (0.125-0.063)
Playa I: 0-20	10,53	23,0	54,13	12,09	0,20
Playa II: 0-20	2,75	15,6	71,00	10,36	0,25
Playa III: 0-20	13,92	29,6	42,45	12,08	1,94
Zahorra: 0-20	10,97	18,4	36,85	22,98	10,76

Tabla IV. Distribución granulométrica de la fracción arena.

presentes que no sobrepasan el 3,1 %.

La presencia mayoritaria de arenas de tamaño medio (49,97-56,82 %) es muy evidente, y a diferencia del perfil "El Barco", las de diámetro grueso están muy representadas. El gráfico 2 muestra gráficamente este reparto, así como la diferencia existente con las anteriores, revelando una falta de selección eólica, tratándose pues de un nivel de arenas de una antigua playa.

De igual forma y para poner de manifiesto lo anteriormente comentado se muestrearon arenas de la playa actual (Playa I y II) así como otra más distante perteneciente a una paleoplaya (Playa III). De cromas abigarrados las primeras y de gris/gris muy oscuro (10YR 5/1(s)-10YR 3/1(h)) la tercera, los carbonatos están poco representados (igualmente procedentes de las conchas de bivalvos), algo salinas las primeras y muy arenosas y finas muy poco representados. Aquí las arenas de diámetro muy gruesas

(2-1 mm Ø) y gruesas (1-0.5 mm Ø) son las predominantes, están altamente representadas y la selección eólica es inexistente (Tablas II y IV).

La capa de zahorra que actualmente cubre la mayor parte del parque Reina Sofía también ha sido caracterizada con el objeto de poner de manifiesto su gran diferencia fisicoquímica con las muestras arenosas naturales infrayacentes, color 10YR 7/6 (s) y amarillo parduzco en húmedo 10YR 6/6 como ejemplo de ello (Tabla II y IV).

Como señalaron Rose y Hardman (1994) estas arenas, al igual que las arenas dunares de Gibraltar, están constituidas a base de granos de fragmentos de esquistos y roca metamórfica en general, de naturaleza melanocratoferromagnésica, bien rodados y pesados, junto a granos de cuarzo leucocratos mucho más ligeros junto a carbonatos procedentes de trozos de bivalvos, a veces redisueltos por las aguas

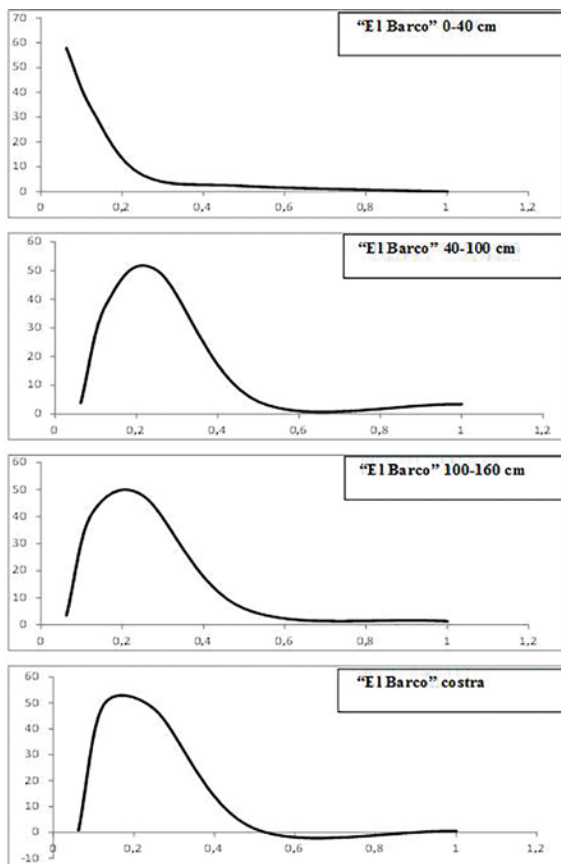


Gráfico 1. Reparto granulométrico del perfil "El Barco"

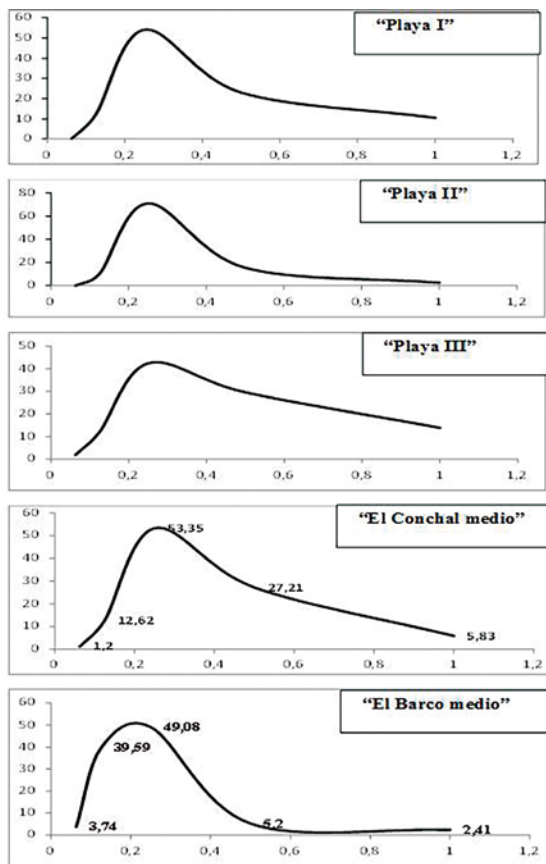


Gráfico 2. Reparto granulométrico de las muestras estudiadas

de lluvia. Las tablas I y II muestran los valores obtenidos de densidad real y aparente, porosidad y susceptibilidad magnética para las muestras estudiadas.

Estos resultados ayudan a poner de manifiesto la formación eólica, de playa y paleoplayas de las arenas que conforman el istmo, y al mismo tiempo, a ayudar a interpretar la evolución geográfica experimentada por éste. En el perfil "El Barco" el carácter eólico de sus arenas y la selección efectuada por el viento hacia las fracciones menos pesadas viene denotado por unos valores de 1,5 g/cm³ de densidad aparente, 2,55 g/cm³ para la real y de unos valores entre 185-280 $\chi\text{m}^3/\text{kg}$ para la susceptibilidad magnética, frente a otros superiores que aparecen en el perfil "El Conchal" donde la presencia de minerales ferromagnesianos oscuros y densos más difíciles de movilizar son **más abundantes** (densidad real en torno a 2.6 g/cm³

y susceptibilidad magnética con valores de 435 $\chi\text{m}^3/\text{kg}$, Tablas I y II).

4. CONCLUSIONES

Para la zona estudiada, los datos obtenidos ponen de manifiesto la existencia en profundidad de una capa endurecida y de menor permeabilidad a base de arenas eólicas cementadas por carbonatos. De igual forma se detecta la presencia de agua freática de naturaleza dulce, rica en bicarbonatos y libre de contaminación, causante de esta cementación ligada a las oscilaciones mareales.

Se pone de manifiesto la existencia de arenas poco carbonatadas y tonalidades grises de diámetro medio y fino correspondientes a facies eólicas, frente a otras más de tipo playa donde predominan las fracciones más gruesas de la arena.

Parámetros fisicoquímicos como la densidad aparente, real o susceptibilidad magnética han

servido para la diferenciación entre ambos tipos de facies, al estar relacionados con una mayor presencia de fragmentos densos melanocratos frente a otros más ligeros de naturaleza cuarzosa movilizados por el viento.

Estos parámetros, junto a la granulometría, pueden servir para la realización de una cartografía de detalle de las distintas formaciones sedimentarias conformadoras de este istmo arenoso. La cronología obtenida podría indicar una génesis de este espacio geográfico en tiempos recientes casi históricos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Clemente Pérez, M. J., González Regalado, M.L., Rodríguez Vidal J., Cáceres, L. M., Toscano, A., Gómez, P., Ruiz, F., Abad, M., Finlayson, C., Finlayson, G., Fa, D. (2016). “Evolución paleoambiental holocena de la Bahía Algeciras/ Gibraltar”. *Geo-Temas*, 16 (2), pp. 395-398.
- Dearing, J.A. (1999). Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 system. *British Library Cataloguing in Publication Data. United Kingdom*, p.54.
- Domenec Ros, J. (1979). *Prácticas de Ecología*. Edit. Omega, p.181.
- Duchaufour, Ph. (1975). *Edafología*. Ed. Toray Masson (Barcelona), p.476.
- FAO (1977). *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. Roma.
- García del Barrio Ambrosy, I., Malvarez Mayo, L., González Tacón, J.J. (1970). *Mapas comarcales de suelos: Campo de Gibraltar (Cádiz)*. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Madrid, p. 198.
- García, F.J., Benavente, J., Alonso, C., Del Rio, L., Abarca, J.M., Anfuso, G., García de Lomas, J. (2011). Las dunas del litoral gaditano. En “Las dunas de España”, E. Sanjaume Saumell y F. Javier Gracia Prieto (Eds.), Sociedad Española de Geomorfología, pp. 359-384.
- García, F.J., Montes, J., Del Rio, L., Benavente, J., Plomaritis, T.A., Aranda, M., Martínez, A. (2023). Geomorfología de las costas ibéricas del estrecho de Gibraltar: transición paisajística y morfodinámica entre ámbitos atlánticos y mediterráneos. En “El estrecho de Gibraltar: llave natural entre dos mares y dos continentes”, Pérez-Rubín y Ramírez T. (Eds). *Memorias de la R.S.E.H.N.*, segunda época, XVI, pp109-129.
- Guitián, F., Carballas, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Edit. Pico-Sacro. Santiago, p. 288.
- Gutiérrez Más, J.M., Martín Algarra, A., Domínguez Bella, S., Moral Cardona, J.P. (1991). *Introducción a la geología de la provincia de Cádiz*. Servic. Public. Universidad de Cádiz, p. 315.
- IGME. (2012 (a)). Mapa geológico de España a escala 1:50.000: Algeciras (1.078).
- IGME. (2012 (b)). Mapa geológico de España a escala 1:50.000: La Línea de la Concepción (1.075).
- Instituto Geográfico Nacional, (2020). Software QGIS 3.34.5 “Prizren” a partir del Modelo Digital del Terreno con una resolución de 2 metros (MDT02), derivado LiDAR.
- López Fernández, M. (2006). “Una isla en Gibraltar. ¿Imprecisión cronística o realidad física antes de la segunda mitad del siglo XIV”. *Almoraima. Revista de Estudios de Estudios Campogibaltareños*, 36, pp. 69-178.
- López Fernández, M. (2002). “Los cercos a Gibraltar en 1333: factores logísticos y geológicos”. *Exedra Revista del Ateneo de la Bahía Campo de Gibraltar*, 1, pp.64-79.
- M.A.P.A. (1986). *Métodos de análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Public. Secretaría General Técnica. Madrid, p. 343.
- Montes, J.; Del Rio, L.; Benavente, J. (2017). “Caracterización morfodinámica y cambios recientes en las playas mediterráneas de la costa de Cádiz”. *Geo-Temas*, 17, pp. 63-66.
- Munsell, C. (1990). *Munsell soil color charts*. Koll Morgen Instrument Corporation. Maryland (EE.UU).
- Pardo González, J. C. (2020). *La imagen de Gibraltar y su campo, de las primeras imágenes a 1800*. Public. Diputación de Cádiz, p. 445.
- Primo Yufera, E.; Carrasco Dorrien, J.M. (1973). *Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes*. Edit. Alhambra. P. 472.
- Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L. M., Finlayson, J. C., Gracia, F.J., Martínez Aguirre A. (2004). “Neotectonics and shoreline history of the Rock of Gibraltar, south Iberia”. *Quaternary Science Review*, 23, 2017-2029.

- Rodríguez Vidal, J., Cáceres Puro, L. M., Martínez Aguirre, A. (2010). “Implicaciones paleoambientales del registro de arenas eólicas pleistocenas en el Peñón de Gibraltar”. *Cuaternario y Arqueología: Homenaje a Francisco Giles Pacheco*, 93-100.
- Rodríguez Vidal, R., Cáceres, L.M., Abad, M., Ruíz, F., González Regalado, M.L., Finlayson, C.; Finlayson, G., FA, D.; Rodríguez LLanes, J.M.; Bailey, G. (201). “The recorded evidence of AD 1755 Atlantic tsunami on the Gibraltar coast”. *Journal of Iberian Geology*, 37 (2),177-193.
- Rose, E.P.F., Rosenbaum, M. S. (1991). *A field guide to the geology of Gibraltar*. Published by The Gibraltar Museum, p. 192.
- Rose, E.P.F.; Hardman, E.C. (1994). “Quaternary geology of Gibraltar”. *AEQUA Monografías (“Gibraltar during the Quaternary”)*, 2, 21-25
- Sáez Rodríguez, A. J. (2006). *La montaña inexpugnable. Seis siglos de fortificaciones en Gibraltar (XII-XVIII)*. Public. del Instituto de Estudios Campogibaltareños, Algeciras, p.480.
- Soil Survey England and Wales (1982). *Soil Survey laboratory methods. Technical monographs nº6*. Harpenden (England), p. 83.
- USDA (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Edit. Limusa (México), p.172.
- Zazo, C., Goy, J. L., Hillaire Marcel, C., Dabrio, C. J., Hoyos, M., Lario, J., Bardají, T., Somoza, L., Silva, P. G. (1994). “Variaciones del nivel del

mar: Estadios isotópicos 7, 5 y 1 en las costas peninsulares (S y SE) e insulares españolas”. *AEQUA Monografías (“Gibraltar during the Quaternary”)*, 2, pp 26-35.

José Manuel Recio Espejo

Doctor en Ciencias, Ecología (Geografía Física), Universidad de Córdoba

Eladio Bracho Galafate

Miembro del Movimiento Ciudadano Locos del Parque (La Línea de la Concepción, Cádiz)

Rafael Cerpa González

Miembro del Movimiento Ciudadano Locos del Parque (La Línea de la Concepción, Cádiz)

Cómo citar este artículo

José Manuel Recio Espejo, Eladio Bracho Galafate y Rafael Cerpa González. “El istmo arenoso de Gibraltar-La Línea: fisicoquímica de sedimentos y dinámica geomorfológica”. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibaltareños* (63), octubre 2025. Algeciras: Instituto de Estudios Campogibaltareños, pp. 221-229.
