



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Facultad de Ciencias del Mar

CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y PETROGRÁFICA DE LOS MATERIALES QUE AFLORAN EN LA COSTA DEL PARQUE NATURAL DE CORRALEJO (FUERTEVENTURA), Y SU PUESTA EN VALOR



PATRICIA GARCÍA SANJOSÉ

Tesis de Máster Oficial en Gestión Costera

Las Palmas de Gran Canaria, 2013



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA



Programa de Máster Oficial en Gestión Costera

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y PETROGRÁFICA DE LOS MATERIALES QUE AFLORAN EN LA COSTA DEL PARQUE NATURAL DE CORRALEJO (FUERTEVENTURA), Y SU PUESTA EN VALOR

Tesis de Máster presentada por **PATRICIA GARCÍA SANJOSÉ**

Dirigida por el **Dr. D. JOSÉ MANGAS VIÑUELA**

El Director

La Tesinanda

Las Palmas de Gran Canaria, a 28 de junio de 2013

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que me han ofrecido su apoyo, y que han contribuido directa o indirectamente con sus consejos, sus conocimientos y su interés al desarrollo de este trabajo. En primer lugar, a mi director de Tesis de Máster el Dr. José Mangas Viñuela, que depositó su confianza en mí y me proporcionó los medios para sacar adelante este trabajo, quisiera agradecerle su dedicación, su interés y su completa disposición para ayudarme. Además, me gustaría resaltar su calidad humana y cercanía.

Gracias al PROYECTO CSO2010-18150 “Diagnóstico ambiental de los sistemas de dunas de Canarias para la elaboración de modelos sostenibles de gestión Territorial” del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y a su investigador principal el Dr. Luis Hernández Calvento, también al PROYECTO SEJ2007-64959/GEOP “Consecuencias ambientales inducidas por el desarrollo turístico en espacios insulares: alteraciones de los procesos naturales en sistemas de dunas litorales de Canarias y Cabo Verde” y a su investigadora principal Emma Pérez-Chacón, por la financiación económica de las campañas de campo y los gastos de los análisis de petrografía, SEM, EMPA y geocronología.

Agradecer a José Eugenio Ortiz y Trino de Torres del laboratorio de Estratigrafía Molecular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid su desinteresada contribución a este trabajo con las dataciones de aminocronología realizadas. También me gustaría mencionar a aquellas personas que han aportado algún tipo de información que ha sido de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo, Pablo Máyer, Itahisa y Eli, y por otra parte, a Ignacio Alonso y Marian Fregenal por dedicarme parte de su tiempo a resolver mis dudas. No puedo olvidarme tampoco de Silvia, por sus consejos y sus explicaciones necesarias para el trabajo de laboratorio.

Gracias a mis compañeros, Gema, Esmeralda, Annety, Pilar y Alejandro, por los buenos momentos de convivencia y esas mañanas de trabajo tan agradables, os vais a hacer famosos como os sigan nombrando en todas los agradecimientos... También me gustaría recordar a mis compañeros del Máster, sobre todo a Paula, Miriam, Jorge y Valentina, con los que he pasado muy buenos momentos y he compartido algo más que las clases, ha sido una agradable sorpresa haberme encontrado con vosotros... De manera especial, quería darle las gracias a Valentina, que empezó siendo compañera de clase y a lo largo de estos dos años se ha convertido en una gran amiga. Hemos vivido muy buenos momentos, imposibles de resumir en unas líneas, y también los días de sacrificio con la tesina. Gracias por tus lecturas, tus recomendaciones y tu apoyo.

Gracias a todas las personas que me han demostrado su interés y apoyo, a la familia canaria y a mis amigos, en especial a Laura e Inés, por el largo recorrido que hemos vivido juntas, y que casualmente, nos trajo hasta Gran Canaria.

De manera especial quería darle las gracias a Paco, por su paciencia y comprensión. Gracias por hacerme las cosas tan fáciles y estar a mi lado. Por último, a mis padres, Joaquín y Nati, y a mi hermano Pablo, quería agradecerles su ayuda y el apoyo incondicional en la distancia.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 5 |
| 4. METODOLOGÍA | 6 |
| 4.1 Toma de muestras..... | 6 |
| 4.2 Análisis granulométrico | 6 |
| 4.3 Calcimetría..... | 9 |
| 4.4 Estudio petrográfico | 9 |
| 4.5 Análisis mineralógicos de EMPA y SEM..... | 10 |
| 4.6 Estratigrafía | 11 |
| 4.7 Geocronología | 12 |
| 5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO | 13 |
| 5.1 Marco geográfico y geológico de Fuerteventura | 13 |
| 5.2 Zona de estudio | 17 |
| 5.2.1 Contexto geológico y geomorfológico del Parque Natural de Corralejo | 18 |
| 5.2.2. Parque Natural de Corralejo..... | 19 |
| 5.2.3. Descripción de los materiales de la zona de estudio | 20 |
| 6. RESULTADOS | 23 |
| 6.1 Análisis granulométrico y contenido en carbonatos..... | 23 |
| 6.2 Análisis petrológico | 27 |
| 6.3 Análisis EMPA y SEM | 35 |
| 6.4 Geocronología | 37 |
| 6.5 Estratigrafía | 38 |
| 6.6 Discusión de resultados..... | 41 |
| 7. PUESTA EN VALOR | 46 |
| 8. CONCLUSIONES | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA | 52 |
| ANEXOS | 58 |

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los depósitos sedimentarios detríticos que se encuentran en la isla de Fuerteventura ha cobrado gran importancia recientemente ya que a través de su interpretación geológica se pueden conocer mejor los cambios globales que han dejado su huella en la isla, y estos pueden ser correlacionados con los descritos en otras partes del mundo. Existen fundamentalmente trabajos geomorfológicos, cronoestratigráficos y paleontológicos de depósitos sedimentarios marinos, y también sobre calcretas, paleosuelos y paleodunas, que afloran en diversos puntos del territorio insular; sin embargo, nunca se han llevado a cabo estudios sobre la naturaleza y la abundancia de los componentes detríticos (supramareales e intermareales), ni de las rocas sedimentarias que afloran a lo largo de la costa mayorera. En este sentido, el análisis integrado sedimentológico y petrográfico de estos depósitos sedimentarios puede permitir conocer mejor la procedencia de estos componentes detríticos, el medio sedimentario donde se formaron y su evolución a lo largo del tiempo geológico.

El Parque Natural de Corralejo -PNC-, localizado al noreste de la isla de Fuerteventura, es el lugar escogido para nuestra investigación. Este espacio protegido es un recurso natural indiscutible y ha sido objeto de desarrollo turístico en la última mitad del siglo XX y, por lo tanto, constituye hoy en día un elemento importantísimo en la economía turística de la isla. Por otro lado, este espacio es un buen ejemplo de los sistemas playa-duna canarios y por este motivo ha sido objeto de protección por el Gobierno de Canarias y en él se han realizado investigaciones de diversa índole. Desde el punto de vista geológico, se han efectuado algunos estudios geomorfológicos y sedimentológicos para caracterizar este sistema sedimentario, contribuyendo, de alguna manera, al inventario de la geodiversidad costera. No obstante, es recomendable incrementar el conocimiento sobre la geodiversidad puesto que es un elemento fundamental en la gestión de los espacios protegidos y, a su vez, la puesta en valor de sus morfologías y materiales geológicos resulta imprescindible para poder definir en ellos los Lugares de Interés Geológico (LIG's y, a nivel europeo, GEOSITES). En este sentido, en los últimos años, se ha comenzado a considerar la necesidad de conservar y gestionar el Patrimonio Geológico como parte integrante e importante del Patrimonio natural. Así, la ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, plantea como uno de sus objetivos el hacer un inventario de LIG's, y en el Anexo VIII de la citada ley, se consideran distintas unidades geológicas a nivel nacional, entre las cuales se incluyen "sistemas volcánicos; formas de modelado singulares representativos de la acción del clima actual y del pasado; depósitos y formas de modelado singulares de origen fluvial y eólico; y depósitos y formas de modelado costeros y litorales", todas ellas relacionadas con la geología de la costa del PNC. Los LIG's son, por tanto, un mecanismo de

protección de la geodiversidad e indirectamente de la biodiversidad, por lo que podrían utilizarse como una forma de gestionar los ecosistemas costeros de manera sostenible.

Por todo ello, se eligió el trabajo de caracterizar los materiales que afloran en la costa del PNC, no sólo para contribuir al mejor conocimiento de su geodiversidad, sino por la información de carácter científico que nos va a dar sobre la evolución de la costa durante la historia geológica reciente de esta parte de la isla. Dado que el estudio de la procedencia de los sedimentos arenosos detríticos es la primera vez que se realiza en Fuerteventura, se abre un amplio abanico para futuras investigaciones en otros ambientes playa-duna de la isla, tanto actuales como son los de la zona de Jandía o El Cotillo, o antiguos, mio-pleistocenos, que aparecen diseminados en numerosos puntos de la geografía costera majorera. Además, los resultados de esta investigación podrán ser comparados con los que se han obtenido recientemente en sistemas playa-duna de Lanzarote, La Graciosa y Gran Canaria, completando así los datos sobre la naturaleza de las arenas que constituyen la materia prima de formación de los sistemas costeros actuales del archipiélago canario.

2. ANTECEDENTES

Los primeros estudios geológicos de los que se tiene constancia en la isla de Fuerteventura fueron realizados por Hartung (1857). A partir de esta fecha y durante poco más de un siglo se suceden una serie de publicaciones que tratarán de establecer la geología general de la isla, fundamentalmente con trabajos sobre materiales volcánicos y, en menor proporción, sobre rocas sedimentarias marinas (Rothpletz y Simonelli, 1890; Benitez, 1945; Hausen, 1958; Müller y Tietz, 1966; Crofts, 1967; Lecointre et al., 1967 y Klug, 1968), calcretas (Hartung, 1857; Rothpletz y Simonelli, 1890), paleosuelos (Fritsch, 1867), y las primeras menciones a nidos de *Anthophora* (Aranda Millán, 1909 y Hernandez Pacheco, 1909).

Con el trabajo de Fuster et al. (1968) y las primeras dataciones radiométricas en los años setenta (Rona y Nalwalk, 1970; Grunau et al., 1975), se establece una nueva estratigrafía de las unidades plutónicas y volcánicas que sienta las bases de la geología de Fuerteventura. Aunque por estas fechas siguen predominando los estudios referentes al vulcanismo, se hace una revisión de lo publicado anteriormente sobre depósitos sedimentarios marinos, calcretas, paleosuelos y paleodunas, fundamentalmente, gracias a los nuevos datos aportados por las dataciones y la bioestratigrafía. Se caracterizan los depósitos pliocenos, pleistocenos y cuaternarios, desde el punto de vista cronoestratigráfico y bioestratigráfico (Meco, 1975, 1977, 1981, 1982, 1983 y 1988; Criado, 1986), y comienza a darse un nuevo enfoque respecto a estos depósitos como “testimonios” paleoclimáticos. Con estos antecedentes, se fue generando un creciente interés por la paleoclimatología, que se refleja actualmente en las diversas publicaciones sobre cambios relativos del nivel de mar (Zazo et al., 1997 y Zazo et al., 2002), y variaciones climáticas en las Islas Canarias (Meco et al., 2002; Meco et al., 2006 y Criado et al., 2012).

Del PNC han sido ampliamente estudiadas las arenas eólicas del Jable (Criado, 1987; Criado et al., 2004; Alonso et al., 2006 y Criado et al., 2007), tanto sus características geomorfológicas, como su sedimentología y dinámica sedimentaria. También se han descrito y datado algunos niveles de conglomerados fosilíferos de origen marino (Meco, 1997 y Criado et al., 2004), paleodunas (Criado, 1987; Criado et al., 2004), y se han descrito intercalaciones de paleosuelos, conteniendo polvo sahariano, y paleodunas (Criado et al., 2012). No existen, sin embargo, estudios petrológicos de procedencia de estos depósitos arenosos (tanto de los sedimentos detríticos como de las rocas sedimentarias), ni de su naturaleza y abundancia. Este tipo de estudios de procedencia de arenas sí se han llevado a cabo en diversas partes del mundo (Arribas, 2010), y en el ámbito de Canarias se han realizado en las islas de Gran Canaria (Hernández y Mangas, 2004; Alonso et al., 2008), Lanzarote (Mangas et al. 2008) y La Graciosa (Mangas et al., 2012). En cuanto a las rocas volcánicas en

Corralejo, existen dataciones realizadas por Ibarrola et al. (1989), Coello et al. (1992) y Meco et al. (2002).

Respecto a la geodiversidad, los primeros inventarios de Puntos de Interés Geológico -PIG's- fueron iniciados por el Instituto Tecnológico Geominero de España -ITGE- desde 1978, fecha en la que comienzan a publicarse las primeras hojas del mapa geológico de España. En este sentido, en las memorias de los mapas geológicos que se publican en el siglo XXI ya se indican los PIG's. Éstos se han descrito en la memoria de los mapas insulares de Gran Canaria (ITGE, 1992) y a escala menor 1:25.000, como por ejemplo, en la memoria del mapa de El Tostón-Corralejo (Balcells y Barrera, 2004). Además, dentro del Instituto Geológico y Minero Español -IGME- hay investigadores que han creado el grupo de Patrimonio Geológico que es muy activo organizando reuniones y cursos, y realizando publicaciones sobre estos temas (Baretino et al., 2000; Lamolda, 2005; Carcavilla et al., 2007; García Cortés, 2008, entre otros). A su vez, ha sido fundamental la aprobación de la ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, que contempla en su artículo 9 la elaboración y actualización de un Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y en el que se incluye también la elaboración de un inventario de Lugares de Interés Geológico. Por este motivo, la sección de Patrimonio del IGME propone en 2009 una nueva metodología para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico -IELIG-, con el objetivo de que esté unificada para todo el territorio nacional, y que además pueda ponerse en común con iniciativas europeas e internacionales. Con esta nueva metodología, se realiza la primera revisión de la geodiversidad y del patrimonio geológico municipal en Canarias, particularmente en la franja costera del término municipal de Arucas (Déniz, 2009, Déniz y Mangas, 2010) y, el inventario y valoración de los Lugares de Interés Geológico de la costa de Las Palmas de Gran Canaria (Déniz, 2011, Déniz y Mangas, 2012). En la página web del IGME se puede visitar la sección actualizada sobre las actividades y publicaciones sobre Patrimonio Geológico y Geodiversidad en España (www.igme.es).

3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Este trabajo tiene como objetivo principal caracterizar sedimentológicamente y petrológicamente los materiales que afloran en la costa del Parque Natural de Corralejo, es decir, estudiar la naturaleza, abundancia y procedencia de los distintos componentes que forman las arenas y las rocas sedimentarias y volcánicas, con el fin de conocer la geodiversidad costera de este espacio, y realizar una puesta en valor de los elementos geológicos que puedan ser de interés. Para ello, es necesario desarrollar una metodología científica que se concreta a través de los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar texturalmente los sedimentos arenosos y determinar la abundancia de componentes carbonatados, para detectar las posibles variaciones de los parámetros granulométricos y del contenido en carbonatos a lo largo de la costa, y en los diferentes subambientes intermareal y supramareal.
- Analizar mineralógicamente, petrográficamente y crono-estratigráficamente las arenas, rocas sedimentarias y rocas volcánicas, para obtener información acerca del medio de depósito, condiciones de formación de estos materiales, y su evolución geológica.
- Poner en valor de los diferentes elementos geológicos (materiales y morfologías) estudiados para determinar si hay algún lugar que pueda ser considerado de interés para proponerlo como LIG.

4. METODOLOGÍA

A continuación se desarrolla la metodología empleada para llevar a cabo este estudio, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en cuanto a la caracterización sedimentológica de los sedimentos arenosos (intermareales y supramareales) y de las rocas sedimentarias y volcánicas.

4.1 Toma de muestras

Por cada punto de muestreo se cogieron unos 200 gramos de sedimento superficial, recolectando un total de 18 muestras de arena (Figura 1) y 38 muestras de roca de los distintos afloramientos.

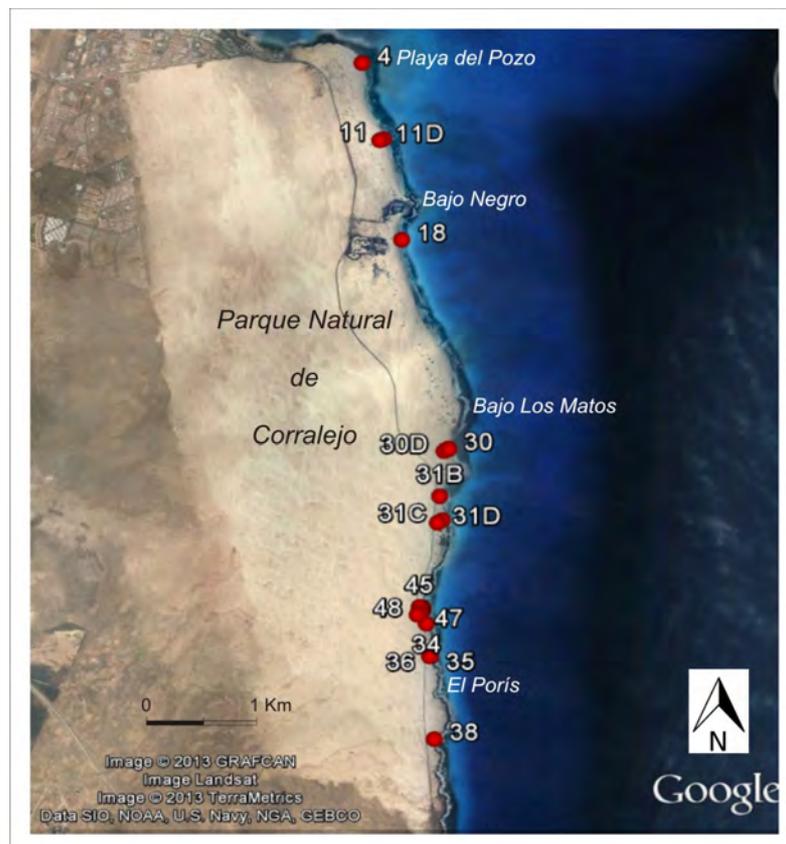


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el PNC de las muestras de sedimentos arenosos.

4.2 Análisis granulométrico

El tamizaje en seco es la técnica utilizada para estudiar la distribución del tamaño de las partículas, y nos permite obtener el tamaño medio de partícula (mean), grado de selección (sorting), asimetría (skewness) y angulosidad (kurtosis), que son los parámetros utilizados principalmente para definir las características texturales de los sedimentos.

Para la obtención de estos parámetros granulométricos, las muestras fueron previamente lavadas con agua destilada y secadas en una estufa a 60° durante 24 horas. Una vez eliminadas las impurezas, cada muestra fue cuarteada hasta obtener una muestra representativa constituida por 100 ± 10 gramos; posteriormente, fueron tamizadas durante 10 minutos con una tamizadora Octagon Digital (Figura 2), mediante una columna de 16 tamices con una abertura de malla de 8.00, 5.60, 4.00, 2.80, 2.00, 1.40, 1.00, 0.710, 0.500, 0.355, 0.250, 0.180, 0.125, 0.090, 0.063 y 0.045 mm.



Figura 2. Tamizadora Octagon Digital con columna de 16 tamices (laboratorio de geología ULPGC).

La fracción de muestra obtenida en cada tamiz se pesó en una balanza con una precisión de 0,1 mg, y los pesos obtenidos se incorporaron al programa GRADISTAT versión 2.0 (Blott y Pie, 2001), que calcula aritmética y geoméricamente los diferentes parámetros estadísticos, en unidades métricas y unidades phi, usando el método de los momentos y el método grafico de Folk y Ward (1957). Para la representación de los resultados, se consideró el diámetro de cada fracción en unidades phi (Krumbein, 1934) donde,

$$\text{Phi } (\Phi) = -\log_2 d$$

siendo **d** el diámetro de grano en mm; y para la interpretación de los resultados se utilizaron las clasificaciones de Wentworth (1922) (Tabla 1) y Folk y Ward (1957) (Tabla 2).

| Wentworth scale category | Particle diameter (mm) | Φ Scale |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Boulders | > 256 | < -8 Φ |
| Cobbles | 64-256 | -6 Φ a -8 Φ |
| Pebbles | 4-64 | -2 Φ a -6 Φ |
| Granules | 2-4 | -1 Φ a -2 Φ |
| Very coarse sand | 1-2 | 0 Φ a -1 Φ |
| Coarse sand | 1/2-1 | 1 Φ a 0 Φ |
| Medium sand | 1/4-1/2 | 2 Φ a 1 Φ |
| Fine sand | 1/8-1/4 | 3 Φ a 2 Φ |
| Very fine sand | 1/16-1/8 | 4 Φ a 3 Φ |
| Silt | 1/256-1/16 | 8 Φ a 4 Φ |
| Clay | < 1/256 | > 8 Φ |

Tabla 1. Escala de clasificación de Wentworth (1922) del tamaño medio de las partículas.

El tamaño medio o diámetro medio de las partículas está representado por la media, y se utiliza como indicador ambiental por estar relacionado con las condiciones energéticas (Spencer, 1963). El grado de selección está representado por la desviación estándar, y en sedimentología refleja el grado de variación entre los distintos tamaños de grano (Folk y Ward, 1957). De esta manera, un alto grado de selección indicaría que existe un rango limitado de tamaños de grano, y esto ocurre en ambientes sedimentarios con una banda estrecha de energía (Larson et al., 1997). Tanto la asimetría como la curtosis son medidas de dispersión. La asimetría establece la desviación de la curva de una distribución normal. Tiene valores positivos cuando existe una mayor proporción de material fino que la que presentaría una curva normal y valores negativos cuando hay un exceso de partículas gruesas. En cuanto a la curtosis, indica en cierta manera el tipo de selección. Este parámetro mide la concavidad de la curva, de manera que cuanto más pobre es la selección más plana o platicúrtica es la curva (valores de curtosis menores que 1). En una distribución gaussiana la curtosis sería igual a 1.

| Grado de selección o sorting | Asimetría | Curtosis |
|---|--------------------------|------------------------------------|
| Muy bien seleccionada < 0.35 | Muy positiva +0.3 a +1.0 | Muy platicúrtica < 0.67 |
| Bien seleccionada 0.35 - 0.50 | Positiva +0.1 a +0.3 | Platicúrtica 0.67 - 0.90 |
| Moderadamente bien seleccionada 0.50 - 0.70 | Simétrica +0.1 a -0.1 | Mesocúrtica 0.90 - 1.11 |
| Moderadamente seleccionada 0.70 - 1.00 | Negativa -0.1 a -0.3 | Leptocúrtica 1.11 - 1.50 |
| Pobremente seleccionada 1.00 - 2.00 | Muy negativa -0.3 a -1.0 | Muy Leptocúrtica 1.50 - 3.00 |
| Muy pobremente selecc. 2.00 - 4.00 | | Extremadamente Leptocúrtica > 3.00 |
| Extremadamente poco seleccionada > 4.00 | | |

Tabla 2. Clasificación de Folk y Ward (1957).

4.3 Calcimetría

El contenido en carbonatos se determinó mediante el método volumétrico del calcímetro de Bernard (Wiesmann et al., 1951) (Figura 3). Esta técnica consiste en medir la diferencia de volumen de un líquido indicador desplazado por el CO₂ desprendido, antes y después de producirse la reacción:



en la que el carbonato de la muestra reacciona con el ácido clorhídrico (diluido al 10%), dando lugar a una sal (CaCl₂), H₂O y CO₂ en forma gaseosa. Para el desarrollo de este análisis fue necesario realizar una recta de calibrado previa con una muestra patrón de carbonato cálcico puro, ya que este método presenta el inconveniente de que la reacción que se produce se ve influenciada por la temperatura y la presión ambiental. Se realizaron 3 réplicas de cada muestra tomando diferentes pesos de cada una, con valores comprendidos entre 0,30 y 0,35 gramos, para obtener el valor promedio que fue tomado como el representativo de cada muestra.



Figura 3. Calcímetro de Bernard utilizado para medir contenido en carbonatos (laboratorio de geología, ULPGC)

4.4 Estudio petrográfico

El estudio petrográfico se realizó con dos objetivos, por un lado identificar los distintos componentes de los materiales geológicos aflorantes en la costa (tanto litoclastos como fragmentos de diversas rocas y minerales, y bioclastos de restos de flora y fauna marina) y, por otro, conocer la abundancia relativa cuantificando las posibles variaciones en cuanto a la distribución de los mismos. Con todo ello, se pretende determinar la procedencia y evolución geológica de estos componentes.

Se seleccionaron y prepararon 56 muestras tanto de arenas como de rocas sedimentarias y volcánicas, y se estudiaron sus correspondientes láminas delgadas con un microscopio petrográfico Leitz Wetzlar y el software PETROGRAPH para el contaje de puntos. Sobre cada lámina se realizó un contaje de 300 puntos y se utilizaron 12 canales que sirvieron para hacer una estimación del porcentaje de los 12 componentes que se muestran en la Tabla 3.

De los 12 canales, los porcentajes calculados para el canal 10 y 12 fueron contabilizados de manera independiente, para poder comparar las muestras bajo los mismos parámetros, ya que los datos de abundancia de cemento y porosidad sólo fueron contabilizados para algunas de las rocas sedimentarias, y el porcentaje de vacuolas para las rocas volcánicas.

| Canales | Componentes |
|---------|------------------------------|
| 1 | Mallas de alga |
| 2 | Moluscos |
| 3 | Equinodermos |
| 4 | Foraminíferos |
| 5 | Briozoos |
| 6 | Melanocratos |
| 7 | Intraclastos |
| 8 | Fragmentos de roca volcánica |
| 9 | Óxidos Fe-Ti |
| 10 | Cemento |
| 11 | Leucocratos |
| 12 | Huecos |

Tabla 3. Canales utilizados y componentes tenidos en cuenta para el estudio petrográfico.

4.5 Análisis mineralógicos de EMPA y SEM

Estas técnicas fueron utilizadas para determinar la composición y morfología de los cementos en las rocas sedimentarias, ya que ofrecen información sobre las condiciones y ambiente en el que ha sido producida la cementación. Con la microsonda electrónica o EMPA (*Electron Microprobe Analysis*) se realizaron análisis químicos de 8 láminas delgadas, en los Servicios Científico Técnico de la Universidad de Barcelona, utilizando la microsonda CAMECA SX-50, equipada con 4 espectrómetros dispersivos en longitud de onda verticales y un EDS del tipo Silicon Drift Detector (Figura 4b). Esta técnica permite realizar análisis químicos cuantitativos de áreas microscópicas, analizando la concentración de distintos elementos químicos en un punto determinado del mineral.

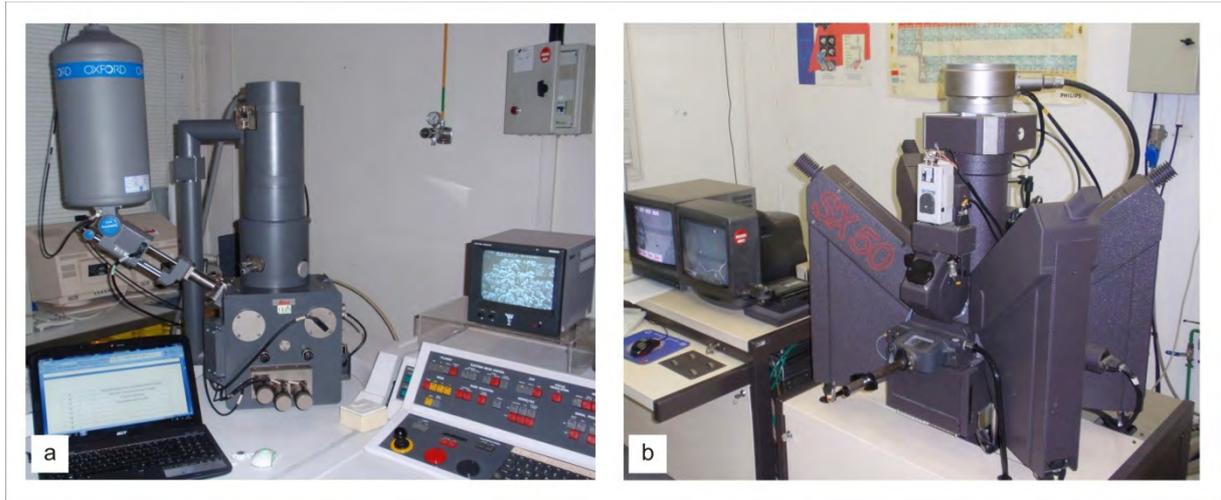


Figura 4. (a) Microsonda electrónica; (b) Microscopio electrónico. (Servicios Científico Técnico de la Universidad de Barcelona).

El microscopio electrónico de barrido o SEM (*Scanning Electron Microscope*), se utiliza para la observación de las morfologías de los materiales, la realización de microanálisis puntuales y la obtención de imágenes directas. En este sentido, se utilizó un microscopio electrónico de Barrido Quanta 200 FEI, Co, Génesis (EDAX), con sistema de análisis por separación de energías de rayos X, con un sistema EDS acoplado para la adquisición de los espectros de RX, y un sistema de catodoluminiscencia Centaurus (Figura 4a). Esta técnica permitió observar la morfología de los granos de arena y de los componentes de las rocas sedimentarias, y también permitió apreciar la composición química de éstos.

4.6 Estratigrafía

Las columnas estratigráficas se realizaron para obtener la relación de superposición de los materiales estudiados en cada punto y a lo largo de la costa del PNC, y de esta manera, poder interpretar y reconstruir su historia geológica. Se levantaron 9 columnas en diferentes afloramientos de la zona de estudio, localizando su emplazamiento mediante GPS (Figura 5) y posteriormente, su representación fue realizada con el software Corel Draw X.3. En cada representación se interpreta la litología, el carácter textural (que representa el tamaño de limo a bloque), así como una descripción geológica de cada nivel.



Figura 5. Ubicación de columnas estratigráficas realizadas en el PNC (modificado de Google, 2013).

4.7 Geocronología

Se realizaron dataciones en dos muestras, por una parte se dataron conchas de bivalvos del género *Patella* del nivel conglomerático marino localizado en la columna estratigráfica S-3, utilizando la técnica radiométrica del C14, en el laboratorio Beta Analytic de Londres. Por otro lado, se dataron diversas muestras de gasterópodos terrestres del género *Theba* que aparecen en los paleosuelos rojizos debajo de las dunas y mantos eólicos del PNC y que constituyen el sustrato de las arenas eólicas actuales. Esta datación se realizó mediante la técnica de la aminocronología (racemización de aminoácidos de las conchas) en el Laboratorio de Estratigrafía Molecular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid.

5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

En primer lugar se describen las principales características geográficas y geológicas de la isla de Fuerteventura para posteriormente incidir en el marco geológico de la zona costera de estudio que es el PNC.

5.1 Marco geográfico y geológico de Fuerteventura

Fuerteventura es una de las islas más orientales del archipiélago canario y se sitúa en el margen continental africano a tan sólo unos 100 km de la costa de África (Figura 6). Tiene una superficie de 1.659,71 km², incluyendo la Isla de Lobos, y se caracteriza por un relieve con escasas formaciones montañosas, siendo la altura máxima el Pico de la Zarza con 807 m que se encuentra al sur de la isla, en la Península de Jandía.

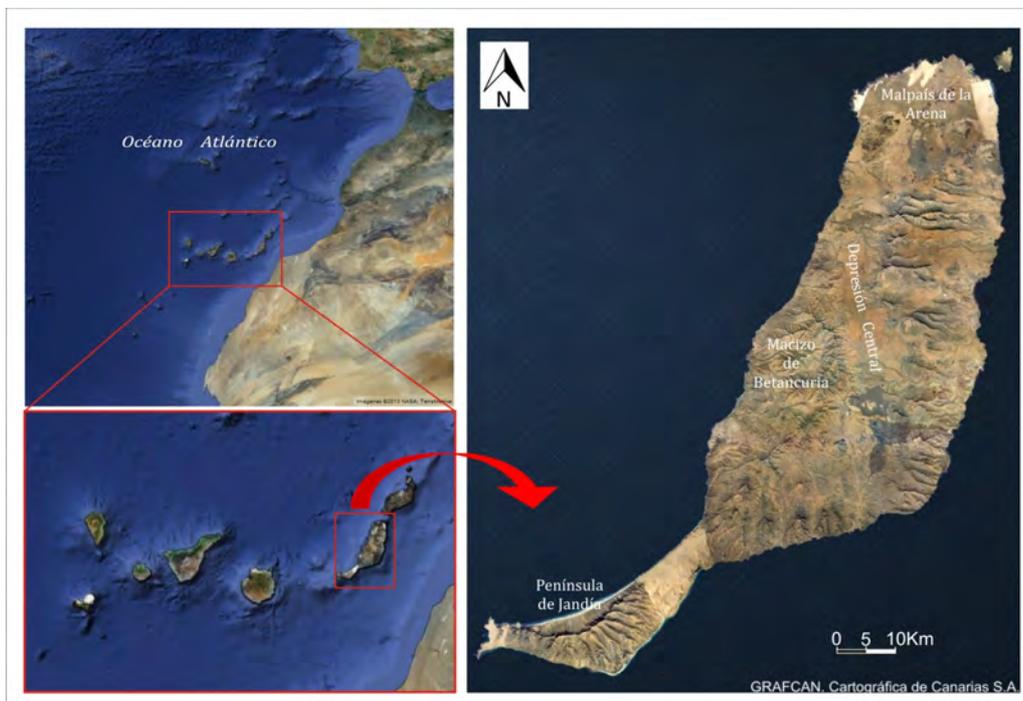


Figura 6. Ubicación geográfica de Fuerteventura en el margen continental africano y en el archipiélago canario (modificado de Google Earth y GRAFCAN, 2013).

A grandes rasgos se distinguen varias provincias fisiográficas, una depresión central de origen tectónico, que se caracteriza por una orografía bastante plana, con alturas entre 100 y 200 m, y que está flanqueada por el Macizo de Betancuria al oeste, y una zona de fuertes escarpes suavizados por la erosión, cerros y “cuchillos” en la parte oriental. El norte de la isla está ocupado, casi en su totalidad, por el Malpaís de la Arena, formado por lavas y conos volcánicos de las erupciones más recientes. Al sur, y separada del resto de la isla por el Istmo de la Pared, se encuentra la península de Jandía, con una alineación montañosa central que divide la vertiente de Barlovento de morfología

cóncava, y la vertiente de Sotavento, que se caracteriza por la presencia de una red de barrancos cortos y estrechos de morfología semiradial, que han sido excavados desde las partes más elevadas. Otros elementos geomorfológicos de interés son las extensas formaciones dunares, tanto en el Istmo de Jandía, como en la zona nororiental de Fuerteventura, cerca de Corralejo, cuyo desarrollo está favorecido por el clima sub-desértico de la isla.

El clima es árido, con una temperatura media anual que oscila entre 14,7 y 22,3 °C, siendo enero el mes más frío y agosto el más cálido. Otra de las características del clima de Fuerteventura es su elevada sequedad, con un valor de precipitación media anual que varía entre 46,4 y 234,3 mm. En cuanto a la humedad relativa media oscila entre el 60 y 82%. El alto grado de insolación es otro de los elementos destacables, presentando una media anual de aproximadamente 2.800 horas de sol, y los vientos presentan unas velocidades promedio superiores a 10 km/h pudiendo llegar a 58 km/h.

En cuanto a la geología, comenzaremos diciendo que el origen de las islas Canarias está relacionado con una anomalía del manto terrestre (mantle plume) en el noroeste del margen continental africano. Esta anomalía da lugar a un punto caliente (hot spot) que origina un vulcanismo más o menos continuo a lo largo del tiempo y que forma un rosario de islas debido al movimiento de la placa oceánica africana. Fuerteventura es la isla más antigua del archipiélago canario, pues contiene afloramientos de rocas volcánicas submarinas con edades de unos 34 millones de años y subaéreas que han sido datadas en 22,4 millones de años (Coello et al., 1992; Guillou et al., 2004, Ancochea et al., 2004). Como en el resto de las islas volcánicas intraplaca oceánicas asociadas a punto caliente, Fuerteventura presenta dos etapas claras de formación (fase de formación submarina y fase subaérea). La primera se caracteriza por un periodo de vulcanismo submarino cuya actividad comienza hace unos 34 Ma (en el Oligoceno) y en la que se generan materiales subvolcánicos, volcánicos y plutónicos que afloran excepcionalmente en el centro-oeste de la isla, gracias a la tectónica, a la actividad magmática insular (levantamiento de algunos bloques insulares y presencia de fallas de desgarre), y a la posterior erosión durante varios millones de años. Estos materiales volcánicos submarinos forman el Complejo Basal de la isla, y puede verse tanto su distribución cartográfica como su cronología en la Figura 7. En la segunda etapa de vulcanismo subaéreo mioceno, se forman tres estratovolcanes, cada uno de ellos con fases de crecimiento en escudo (erupciones de magmas poco diferenciados) y fases de declive alcalino (erupciones de magmas diferenciados). Posteriormente, hay un periodo de reposo eruptivo en el que predomina la erosión y formación de depósitos sedimentarios, y finalmente, hay una fase de reactivación volcánica plio-cuaternaria, con la emisión de nuevos magmas poco diferenciados y con un volumen de material emitido escaso. Durante las etapas recientes de formación insular, existen procesos erosivos que dan lugar a distintos materiales sedimentarios.

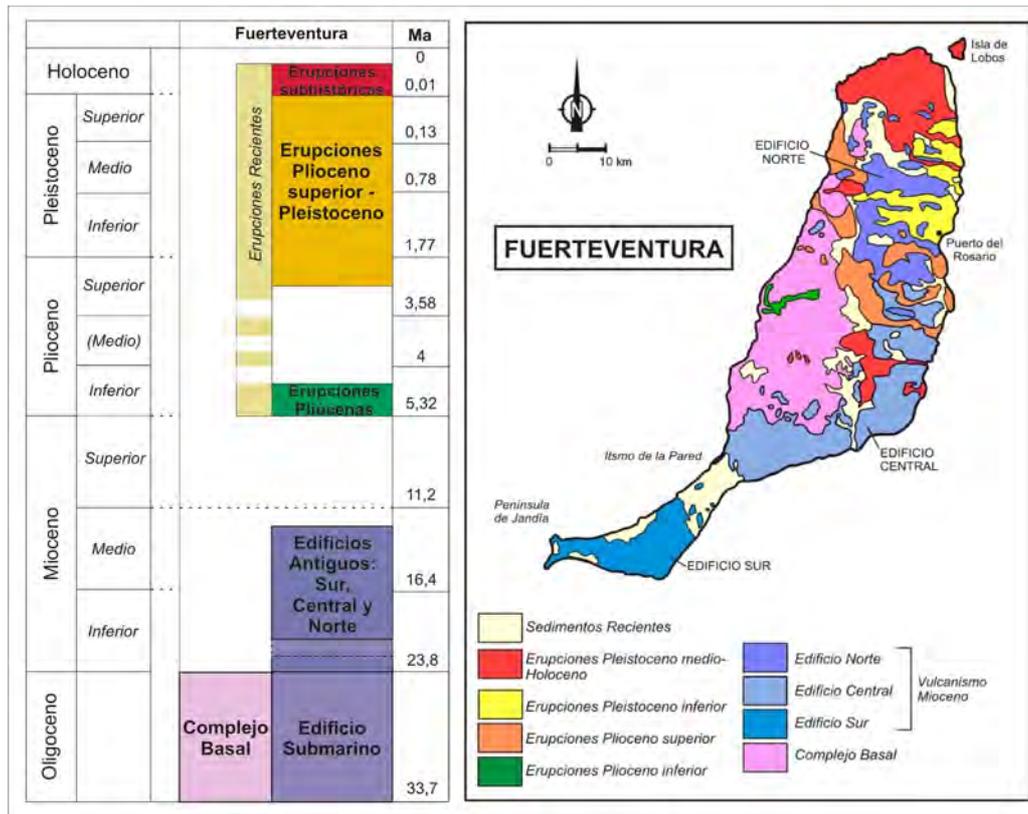


Figura 7. Cronología de los diferentes episodios volcánicos y mapa geológico de Fuerteventura (Ancochea et al., 2004).

Los materiales del Complejo Basal son muy variados y su cartografía confusa pues son rocas antiguas y han sufrido diferentes procesos geológicos de alteración y metamorfismo. Así, en los alrededores de Ajuí (oeste de la isla) aparecen afloramientos de la litosfera oceánica atlántica con sedimentos mesozoicos (capa 1 de la corteza oceánica cretácica, de unos 100 Ma), materiales volcánicos submarinos de la capa 2 de la corteza oceánica jurásica (basaltos MORB), de unos 160 Ma, y del edificio insular, oligocenos de unos 35 Ma. Igualmente, es frecuente encontrar en todo el oeste de la isla rocas plutónicas miocenas (de composiciones ultrabásicas a félsicas), que representan las cámaras magmáticas que alimentaron las erupciones volcánicas insulares, y un enjambre de diques miocenos que son las conexiones entre las cámaras magmáticas profundas y la superficie. Por todo ello, la complejidad de materiales es tan extraordinaria que fue definida con el nombre de Complejo Basal antiguamente y actualmente como fase de formación submarina.

El primer episodio volcánico subaéreo tras el emplazamiento del Complejo Basal ocurre durante el Mioceno, entre los 22,4 Ma y los 12 Ma (Coello et al., 1992). Esta etapa se caracteriza por la construcción de tres edificios volcánicos que evolucionan de manera independiente pero con actividades contemporáneas (Figura 7), volcán del norte o Tetir, centro o Gran Tarajal y sur o Jandía. Su actividad volcánica está asociada al punto caliente con fisuras corticales de dirección NNE-SSO que

se prolongan hacia el norte en la Isla de Lanzarote (volcanes miocenos de Ajaches y Famara), y continúan más allá hacia el Banco de La Concepción y varios montes sumergidos hacia el norte. Fuerteventura y Lanzarote son parte del mismo edificio volcánico, mientras que el Banco de la Concepción es un edificio independiente. Los edificios volcánicos miocenos de Fuerteventura están bastante desmantelados por la erosión de millones de años, pero en los distintos restos erosivos (cuchillos) se aprecian apilamientos de centenas de metros de coladas basáníticas-basálticas-traquibasálticas con intercalaciones de potencias variables de piroclastos de distintos tamaños, y aglomerados volcánicos. Por otra parte, durante la actividad volcánica oligocena-miocena de la isla tuvo que existir uno o varios deslizamientos gravitacionales gigantes cuyos materiales se observan al cartografiar la ladera sumergida oeste de la isla. Posteriormente a la fase de construcción miocena, hay una etapa de reposo eruptivo que dura hasta el Plioceno, aproximadamente hasta los 5,3 Ma, lo que favorece el incremento de la actividad erosiva durante esta etapa y la formación de depósitos sedimentarios insulares y marinos.

Hacia finales del Mioceno, durante el Messiniense, tiene lugar una fase regresiva que favorece la generación de los primeros depósitos dunares, gracias a la removilización de las arenas marinas puestas al descubierto. Posteriormente, en el tránsito Mio-Plioceno se generan los primeros depósitos sedimentarios asociados a episodios marinos transgresivos, que se disponen sobre las coladas miocenas, sirviendo de asiento a algunas de las emisiones que se producen tras la reactivación volcánica. En el Plioceno Inferior el inicio de la actividad volcánica está asociado a varios puntos de emisión aislados, con la formación de edificios piroclásticos de carácter estromboliano, según la dirección NNE-SSO, y la emisión de coladas poco importantes desde el punto de vista volumétrico. Sin embargo, en el Plioceno superior-Pleistoceno inferior es cuando empieza a desarrollarse un vulcanismo más masivo y con una representación cartográfica más importante hacia el centro y norte de la isla (Figura 7).

En el Pleistoceno inferior se forman notables edificios estrombolianos emplazados fundamentalmente en la mitad norte de la isla. La lava de estos volcanes, de composición basáltica olivínica, se canaliza por los barrancos hasta llegar a la costa formando plataformas casi horizontales. En esta misma época, hace 1,8 Ma aproximadamente, y durante un periodo climático árido, se forman calcretas (costras de carbonato cálcico) en la parte superior de las formaciones dunares (Meco et al., 2006), y algunas de ellas quedarán cubiertas en parte por el vulcanismo más reciente. Durante el Pleistoceno medio-Holoceno se produce una nueva etapa de rejuvenecimiento volcánico, que corresponde a uno de los últimos periodos constructivos de la isla, e incluye erupciones subhistóricas como las de Montaña Quemada con 461.000 años, varios centros eruptivos en el

Malpaís del Bayuyo, al norte de la isla, con 214.000 y 359.000 años, y la colada de la zona de Pozo Negro, perteneciente al Malpaís Grande con 136.000 años, todos ellos datos por Meco et al. (2005).

En cuanto a los depósitos sedimentarios cuaternarios (de edad pleistocena-holocena), los de origen marino corresponden a varios pulsos transgresivos debido al aumento de la temperatura durante los periodos interglaciares, depositándose arenas y conglomerados que forman las rasas marinas, como por ejemplo, las del Jandiense (etapa isotópica marina: Isotopic Ocean Stage -IOS- 5e) con edad Pleistoceno superior y que contienen fauna cálida con *Strombus bubonius* (Meco et al., 1986), o las del Erbanense (IOS 1) del Holoceno (Meco et al., 1986). Por otro lado, también aparecen distintos episodios de formación de calcretas, paleosuelos y paleodunas que corresponden a cambios globales (fases frías glaciares y templadas interglaciares) durante el cuaternario. Actualmente, aparecen en distintos lugares de la isla sedimentos sueltos o poco consolidados como los jables (arenas eólicas) y playas en zonas costeras, coluviones en las laderas, aluviones en barrancos y suelos en zonas deprimidas.

5.2 Zona de estudio

El área de estudio se sitúa en la zona nororiental de la isla de Fuerteventura, al sur de la localidad de Corralejo, en el término municipal de la Oliva; comprende la zona intermareal y supramareal de la mayor parte de la franja costera del Parque Natural de Corralejo, desde la Punta de Tivas situada al norte, hasta el Barranco de Las Pilas situado al sur (Figura 8).

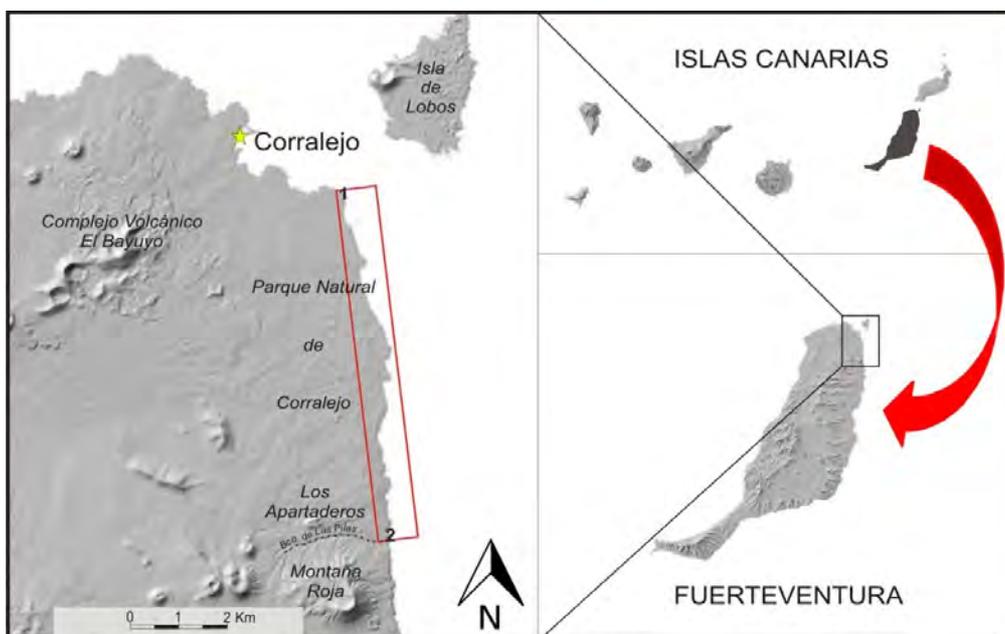


Figura 8. Ubicación de la zona de estudio. (1) Punta de Tivas, (2) Barranco de Las Pilas (modificado de GRAFCAN, 2013).

5.2.1 Contexto geológico y geomorfológico del Parque Natural de Corralejo

Lo más destacable del relieve en la parte nororiental de Fuerteventura son las suaves pendientes que no sobrepasan el 5% (IGME, 2004), formando una extensa plataforma tendida hacia el norte en la que sobresalen las elevaciones de los edificios piroclásticos cuaternarios (como el complejo volcánico El Bayuyo, Los Apartaderos, etc.), sobre las coladas del malpaís de la Arena. Además, aparece frecuentemente un sustrato sedimentario constituido por la alternancia de depósitos de paleosuelos arenas-limosas de colores marrones y paleodunas arenosas de tonos cremas, todos ellos ligeramente cementados.

Gran parte de la superficie de este sustrato vulcano-sedimentario está recubierta por acumulaciones de arenas que aparecen formando dunas y mantos eólicos, y se conocen con el nombre de “jable” de Corralejo. El jable ha sido estudiado desde el punto de vista geomorfológico, sedimentológico, así como su dinámica sedimentaria (Criado, 1987; Criado et al., 2004; Alonso, I. et al., 2006 y Criado et al., 2007). Se trata de arenas bioclásticas de procedencia marina, cuya fuente de alimentación se localiza en la plataforma costera situada al N y NE de la isla. La entrada de estos sedimentos hasta el interior del campo de dunas se produce a través de las calas situadas en el casco urbano de Corralejo y el tramo de costa comprendido entre la Punta de Tivas y la Playa de Los Matos (Criado, 1987; Gobierno de Canarias, 2006) (Figura 9), y debido a la predominancia de los vientos del N, a partir de estas entradas costeras la arena se mueve hacia el sur generando las formaciones dunares de distintos tipos y los mantos eólicos.

En los espacios interdunares se observan a veces depresiones en las que aflora el sustrato de los depósitos eólicos actuales. Generalmente, estos niveles son arenosos y con colores claros en su parte inferior, mientras que en su parte superior son arenoso-limosos, de color marronáceo y presentan gasterópodos terrestres e icnitas de insectos (ootecas de acrídidos). Algunos de los gasterópodos han sido datados por Criado et al. (2004) en niveles situados al norte del campo de dunas de Corralejo, obteniendo edades entre 16.980 y 13.980 años (Pleistoceno superior). Estos depósitos tienen gran interés paleoclimático, tanto por su contenido fosilífero como por presentar en ocasiones intercalaciones de polvo sahariano (Criado, 2012). Además de los campos de dunas, otros elementos geomorfológicos de interés son los paleobarrancos, que se encuentran fundamentalmente en la parte central y sur de la zona de estudio, marcando el límite sur de este espacio protegido el barranco de las Pilas.

En cuanto a la franja costera se caracteriza por la presencia de playas arenosas bien desarrolladas en el tramo norte y central fundamentalmente, desde la Playa del Pozo hasta Playa Larga, y a partir de la Playa de Los Matos hasta Playa Alzada disminuyen en longitud y aparecen interrumpidas por salientes rocosos que corresponden a los afloramientos de las coladas basálticas del Pleistoceno medio (Figura 9). Más al sur la costa presenta morfología de plataforma de abrasión o rasa marina, en la que predominan los afloramientos volcánicos, y donde se encuentran algunos niveles de eolianitas (Criado 1987; Criado et al., 2004), concretamente en el barranco de Las Pilas, y se disponen estos depósitos eólicos antiguos sobre coladas pleistocénicas.



Figura 9. Ubicación de playas en la zona de estudio del PNC (Modificado de GRAFCAN, 2013).

5.2.2. Parque Natural de Corralejo

El Parque Natural de Corralejo constituye un lugar de gran interés biológico y geológico, además de ser un lugar de gran valor paisajístico, por lo que son varias las figuras de protección que han sido establecidas en con el fin de proteger fundamentalmente su biodiversidad. En 1987 fue declarado Parque Natural por la ley 12/1987, de Declaración de Espacios Naturales de Canarias, en la que se incluyeron dentro de este espacio las dunas de Corralejo y el islote de Lobos. Posteriormente, en 1994 por la ley 12/1994 de 19 de diciembre de Espacios Naturales de Canarias se realiza la reclasificación de los Espacios Naturales Protegidos, clasificándose y delimitándose las dunas de Corralejo y Montaña Roja, como Parque Natural.

En 1987 es declarado también Zona ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves), junto al islote de Lobos, según la Directiva 79/409/CEE relativa a la Conservación de las Aves Silvestres. Además, ha sido denominado Área de sensibilidad Ecológica (ASE) y prácticamente toda su superficie está considerada como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Existen dos LIC's, uno terrestre que ocupa la misma superficie que el Parque Natural y otro de carácter marino, que corresponde a los bancos de arena que incluyen especies como *Cymodocea nodosa* y la *Halophila decipines*, y se encuentra en la franja marina situada entre el campo de dunas y el islote de Lobos.

Las últimas acciones de conservación encaminadas a proteger y gestionar este espacio fueron desarrolladas por el Gobierno de Canarias, por medio de la aprobación del Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) en el 2006, y en el mismo año por la Dirección General de Costas, en cuyo informe se trata la problemática actual en cuanto a la degradación de este espacio, y se proponen distintas medidas de actuación.

5.2.3. Descripción de los materiales de la zona de estudio

A lo largo de la zona intermareal afloran niveles sedimentarios holocenos tanto de origen marino como subaéreos, así como rocas volcánicas de diferentes edades. Los niveles sedimentarios marinos estudiados corresponden a rocas de playa (*beachrocks*) y conglomerados fosilíferos fuertemente compactados. Los *beachrocks* son arenas y cantos de playa litificados mediante cementos de composición calcítica o aragonítica, por lo que su origen está relacionado con playas de arena carbonatadas. Estos depósitos se distinguen claramente en la playa del Moro, playa del Dormidero y playa Alzada (Figura 10a), donde se disponen paralelamente a la línea de costa, buzando hacia el mar con una inclinación que no supera el 10% y alcanzando dimensiones métricas.



Figura 10. (a) Beachrock de Playa Alzada; (b) Conglomerado marino con cantos de basalto, cantos de calcarenita y moluscos.

Cuando afloran en la zona intermareal suelen indicar un déficit sedimentario, aunque tienen un gran potencial como protectores contra la erosión gracias a su morfología y gran resistencia a la erosión (Rossi, 1988). Por estos motivos y porque su localización permite determinar las variaciones del nivel del mar en el registro fósil, han sido ampliamente estudiados en todo el mundo (Kindler y Bain, 1993; Font y Calvet, 1997; Rey et al., 2004; De Oliveira et al., 2006; Kelletat, 2006; Vousdoukas et al., 2007), incluyendo las Islas Canarias (Calvet et al., 2003; Mangas et al., 2011).

También aparecen a largo de la costa niveles de conglomerado fosilífero de origen marino, con cantos de basalto subangulosos a subredondeados, cantos angulosos de calcarenita y fósiles de moluscos marinos (Figura 10b), entre los que destacan los del género *Patella*. A lo largo de la costa varían los distintos componentes, encontrándonos con conglomerados en los que predominan los cantos de basalto y sin apenas matriz ni restos fósiles, a otros cuyo esqueleto es más heterogéneo estando formados por cantos de basalto y calcarenita, con fósiles y matriz arenosa microconglomerática. En el PNC uno de estos niveles de conglomerados marinos fueron descritos y datados por Meco et al. (1997), con edades que indican dos pulsaciones transgresivas hace 4.000 años y otra posterior hace 2.000 años, y por Criado et al. (2004) en 1.770 años; este nivel marino transgresivo fue denominado *Erbanense*, y corresponde al estadio Isotópico 1.

En cuanto a los depósitos sedimentarios de carácter subaéreo se han identificado paleosuelos y eolianitas. Los paleosuelos, como su nombre indica, son suelos que se formaron en el pasado bajo unas condiciones climáticas diferentes a las actuales, estando asociados, en Corralejo, a periodos de mayor humedad (Criado, 2012). Los niveles estudiados se caracterizan por tener una matriz arenosa-limosa, en la que aparecen cantos de basalto de tamaño centimétrico, rizoconcreciones y una costra endurecida a techo (Figura 11a).

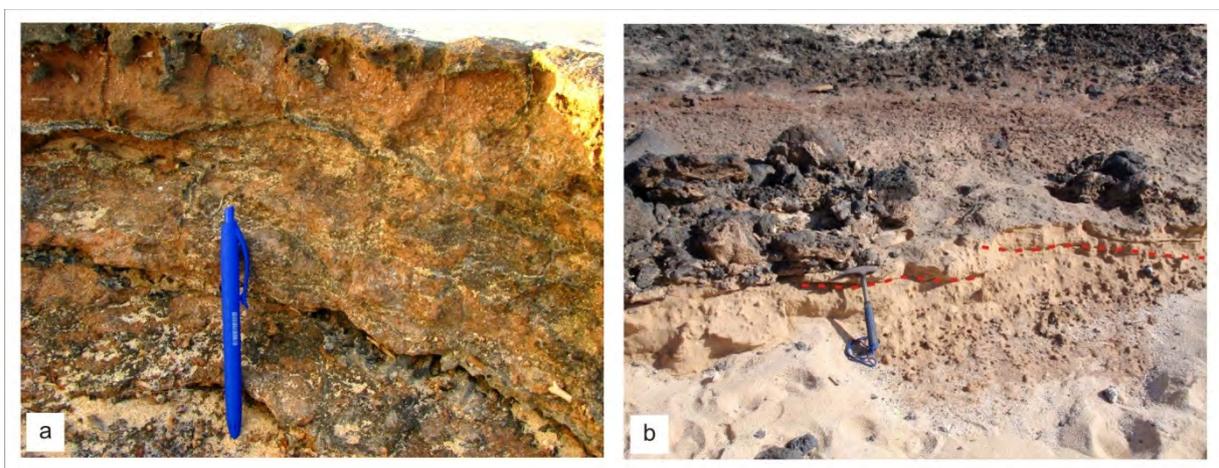


Figura 11. (a) Paleosuelo; (b) Eolianitas con estratificación cruzada, presentan conglomerados a techo y un nivel de areniscas con icnitas de insectos en la base.

Las eolianitas son depósitos arenosos formados por granos de arena que originalmente fueron depositados por acción del viento en la zona de dunas costeras (Figura 11b), y presentan estratificación cruzada como estructura característica. Se observa además que en la base de estos depósitos eólicos suele aparecer un nivel arenoso con icnitas de insectos y fósiles de gasterópodos terrestres, al igual que los depósitos descritos por Meco et al. (2006), y que corresponden con niveles de paleosuelos. En Corralejo, como se mencionó anteriormente, se han descrito niveles de eolianitas en el extremo sur, concretamente en el barranco de Las Pilas donde se disponen bajo la colada del Pleistoceno medio (Criado, 1987; Criado et al., 2004). Aparecen también calcarenitas masivas, sin ningún tipo de estructura sedimentaria, que bien podrían corresponder a depósitos de mantos eólicos, de zonas interdunares, o barras subacuáticas.

Los afloramientos de rocas volcánicas los encontramos intermitentemente como salientes rocosos a lo largo de la costa del PNC, desde La Punta de Tivas en el norte hasta El Porís en el sur, y entre ellos, los que aparecen en el Bajo Negro, Bajo Los Matos, Bajo del Moro y Playa de la Rosaleda (Figura 12 a y b). Se trata todas ellas de coladas efusivas, de composición basáltica olivínico-piroxénicas, aunque desde el punto de vista geocronológico, los afloramientos lávicos pertenecen a dos erupciones distintas. Según Balcells y Barrera (2004) desde la Punta de Tivas hasta Bajo Negro corresponden a erupciones Pleistoceno medio-superior y Holoceno, y el resto hacia el sur son Pleistoceno inferior. No obstante, Criado et al. (2007) usando el método K/Ar, y citando a Meco et al. (2002), indica que las lavas del norte (El Cotillo) tienen una edad de 134.000 (± 5.000) años, mientras que las del sur (erupción de Los Apartaderos), datadas por Criado, dan 173.000 (± 40.000) años. Por lo tanto, según estas últimas edades, todas las coladas volcánicas que afloran en el PNC serían coladas formadas en el Pleistoceno medio.



Figura 12. (a) Afloramiento de rocas volcánicas en el tramo sur, entre el Porís y Los Lavaderos; **(b)** detalle de las coladas basálticas tipo malpaís.

6. RESULTADOS

A continuación se describen los resultados obtenidos en la investigación que se ha llevado a cabo a partir de muestras de sedimentos y de rocas sedimentarias y volcánicas que aparecen en la zona costera del PNC.

6.1 Análisis granulométrico y contenido en carbonatos

Con el fin de conocer las características sedimentológicas de los materiales que afloran en la zona intermareal y supramareal de la costa del PNC se realizaron análisis granulométricos y calcimetría de 18 muestras de arena recolectadas para obtener por un lado, los parámetros que definen sus características texturales, y por otro, su composición carbonatada. La información obtenida a partir de los datos del contenido en carbonatos permite diferenciar las zonas que más acumulan granos biogénicos carbonatados y en las que aparecen componentes litogénicos, esencialmente silicatados. Además, las características texturales del sedimento (parámetros granulométricos) dan información sobre los procesos geológicos que actúan, tanto transversalmente como longitudinalmente a la línea de costa. En este sentido, las características hidrodinámicas y geomorfológicas del litoral influyen en la distribución y transporte del sedimento detrítico. Así, por ejemplo, intervienen la acción del oleaje, mareas y corrientes; la orientación de la costa con relación a los agentes marinos; la pendiente de la playa; la presencia de salientes rocosos o islotes cercanos y el afloramiento de bancos de arena o de coladas lávicas en zonas submareales. El estudio detallado de los resultados texturales y de la geomorfología costera, nos permitirá por tanto, interpretar de mejor manera las características de esta franja costera.

La calcimetría de las arenas estudiadas en las zonas intermareal y supramareal indica un alto contenido en carbonatos, con valores superiores al 80% (Tabla 4). Estos datos confirman los resultados obtenidos anteriormente por otros autores (Criado, 1987 y Alonso et al., 2006) para las arenas eólicas del campo de dunas de Corralejo. Se trata por tanto, de arenas biogénicas con valores de CaCO_3 que oscilan entre el 80.8 y 95.2%, y unos valores mínimos y máximos que oscilan entre el 4.8 y 19.2% de material no carbonatado. Estos valores nos indican la escasez de fragmentos líticos aportados por un área fuente distinta a la marina.

| MUESTRAS | TIPO | GRANULOMETRÍA | | | | CALCIMETRÍA |
|----------|------|----------------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| | | T. medio (phi) | Selección | Asimetría | Curtosis | % CaCO ₃ |
| 4D | S | 1,23 | 0,75 | 0,07 | 1,00 | 88,70 |
| 11 | I | 1,29 | 0,73 | -0,04 | 0,86 | 92,19 |
| 11D | S | 1,76 | 0,51 | -0,01 | 1,18 | 95,20 |
| 19B | I | 1,21 | 0,59 | 0,01 | 0,94 | 91,12 |
| 30D | S | 1,04 | 0,70 | 0,40 | 1,35 | 92,71 |
| 31A | I | 1,04 | 0,41 | 0,18 | 0,90 | 91,04 |
| 31B | I | 1,62 | 0,41 | -0,05 | 1,04 | 90,44 |
| 31C | I | 1,11 | 0,39 | -0,01 | 0,96 | 93,09 |
| 31D | S | 1,25 | 0,72 | 0,33 | 1,00 | 85,39 |
| 34 | I | 1,03 | 0,44 | 0,14 | 0,93 | 88,38 |
| 35 | I | 0,59 | 1,10 | -0,33 | 2,02 | 80,82 |
| 36 | S | 1,59 | 0,55 | 0,02 | 1,06 | 90,71 |
| 38 | S | 1,73 | 0,58 | 0,06 | 1,17 | 90,08 |
| 44 | I | 1,22 | 0,46 | 0,02 | 0,98 | 91,64 |
| 45 | S | 1,71 | 0,67 | 0,04 | 1,05 | 89,85 |
| 47 | S | 1,77 | 0,58 | 0,05 | 1,14 | 91,08 |
| 48 | S | 1,84 | 0,55 | 0,10 | 1,10 | 90,10 |
| 49 | I | 1,12 | 0,53 | 0,31 | 1,02 | 88,38 |

Tabla 4. Resultados del análisis granulométrico y contenido en carbonatos de las muestras de sedimentos de la zona supramareal (S) e intermareal (I) de la costa de Corralejo.

En cuanto a la distribución del contenido en carbonatos en la zona de estudio no se observan tendencias de variación entre los subambientes intermareal y supramareal. A lo largo de la costa los resultados muestran heterogeneidades en las muestras que corresponden a las playas del Pozo y el Médano (4D, 11 y 11D), y El Porís (35 y 36) (Figura 13); el primer caso podría deberse a la mayor influencia antrópica a la que están sometidas las playas del Pozo y el Médano situadas en el tramo norte, entre el casco urbano de Corralejo y los hoteles situados en el centro del PNC; en el segundo caso, las muestras corresponden a un tramo de costa rocosa en la que apenas hay aportes de sedimentos y es además una de las zonas donde muere la duna, lo que nos indica que no existe un trasvase de sedimentos desde la zona supramareal a la zona intermareal.

Los valores mínimos corresponden a las muestras situadas junto a las playas rocosas de La Rosaleda (31D) y El Porís (35), y el resto de muestras analizadas indican valores de contenido en carbonatos bastante homogéneos para el resto de las playas.

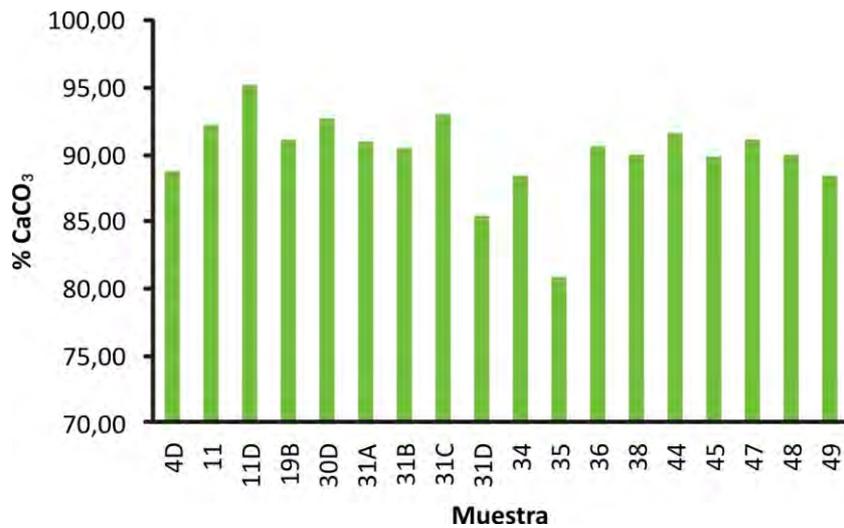


Figura 13. Contenido en carbonatos (%) por muestra a lo largo de la costa del PNC.

En cuanto a los resultados granulométricos, el diámetro medio de las muestras corresponde a sedimentos de tamaño arenas, estando constituida la cobertera sedimentaria por arenas de diámetro medio 0.59 a 1.62 Φ en el intermareal, que según la escala de clasificación de Wentworth (1922) corresponden a arenas gruesas a medias. En el supramareal las arenas tienen un diámetro medio de 1.04 a 1.84 Φ , que según la misma escala, corresponden a arenas medias. Los resultados muestran que las arenas eólicas presentan una mayor homogeneidad textural, esto se relaciona con las características del agente de transporte, en este caso el viento, que es un agente sin grandes oscilaciones de sus valores de velocidad a lo largo del tiempo y más selectivo que el oleaje. En la zona intermareal concurren oleajes, mareas y corrientes que pueden tener valores energéticos muy variables a lo largo del año, desde los grandes temporales marinos de invierno a las calmas del otoño.

A través de los datos obtenidos y la representación de las curvas granulométricas (Figura 14), se diferencian las distintas poblaciones de sedimentos a partir de los puntos de inflexión de la curva, población gruesa, población media y población fina, siendo los valores negativos de phi los tamaños más gruesos.

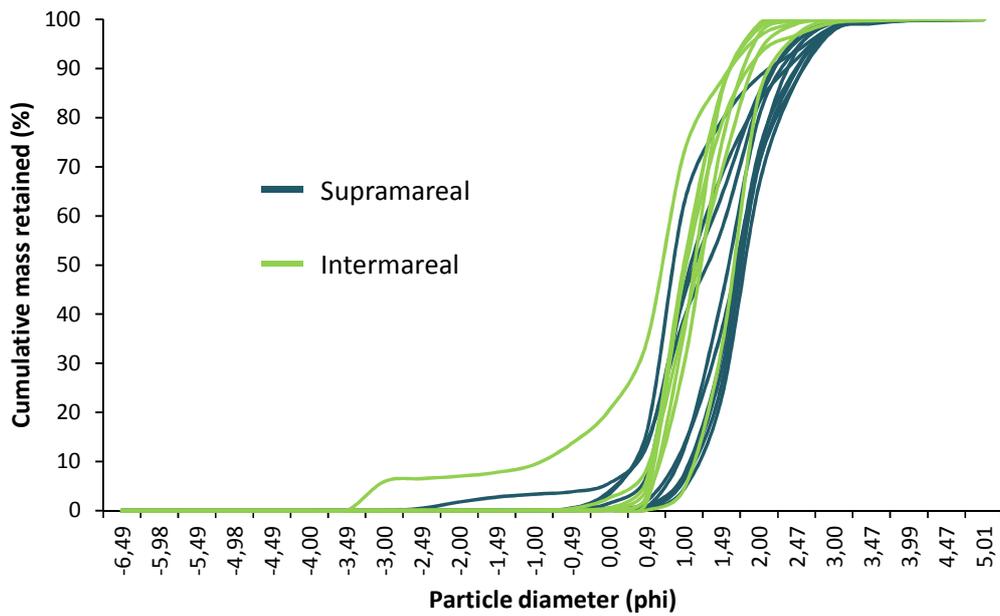


Figura 14. Curvas acumuladas para la zona supramareal e intermareal del PNC.

La elevada pendiente de las curvas confirma la homogeneidad textural, que es mayor en las muestras de la zona supramareal, con un claro predominio de la población de tamaños medios entre 1-2 Φ . También se observan ciertas variaciones en 3 muestras de la zona intermareal (11, 31B y 35), y tres muestras de la zona supramareal (4D, 30D, y 31D) cuyos valores se alejan de la curva promedio calculada para cada subambiente, y corresponden a las playas del Pozo-Médano, Dormidero, Moro y El Porís.

En la figura 15, aparecen representados gráficamente los valores obtenidos del tamaño medio de grano de cada muestra, y los resultados del resto de parámetros granulométricos calculados: selección, angulosidad y curtosis. La selección refleja el tipo de transporte y es una medida del grado de fluidez o viscosidad. En nuestro caso varía, en el conjunto de muestras, de bien seleccionada a pobremente seleccionada, con valores entre 0.39 y 1.10 Φ . Teniendo en cuenta los dos subambientes, la clasificación de las arenas eólicas es moderadamente bien seleccionada (0.51 a 0.75 Φ), y las arenas intermareales de bien seleccionadas a mal seleccionadas (0.39 a 1.10 Φ). En el tramo de costa situado al norte, desde la playa del Pozo a playa Larga las muestras 4D, 11D y 19B presentan una selección moderada a moderada buena; en playa Alzada, la clasificación de las muestras 44, 45, 47, 48 y 49 es moderadamente buena a buena y en la playa del Moro, 31A y 31B indican buena selección.

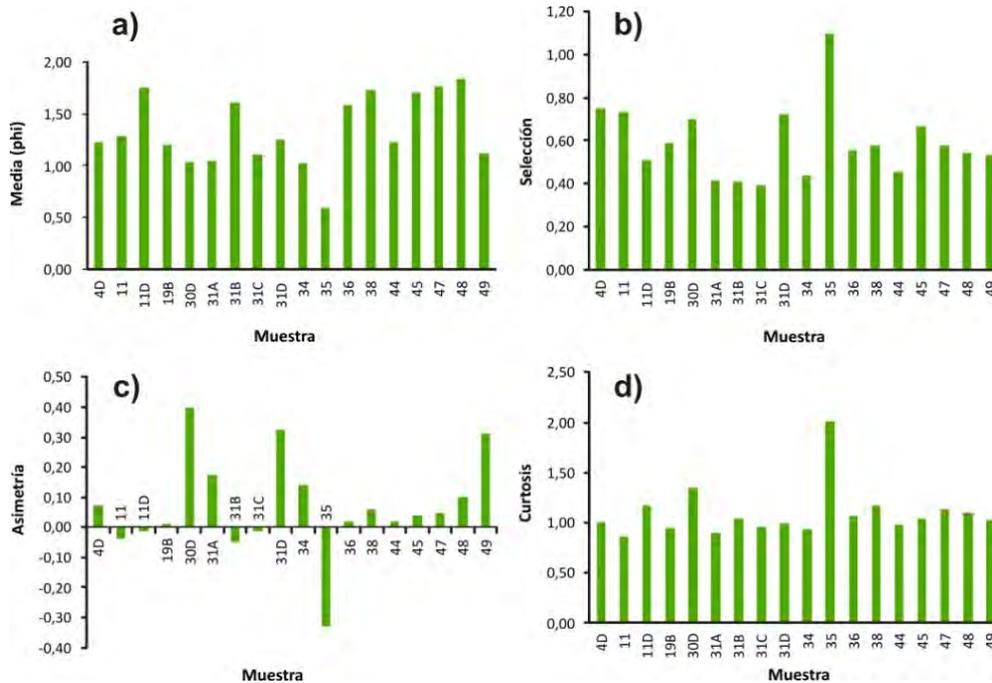


Figura 15. Representación gráfica de los resultados para cada parámetro granulométrico: **(a)** Tamaño medio, **(b)** Selección, **(c)** Asimetría y **(d)** Curtosis.

En cuanto a los parámetros de asimetría muestran si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media, que son medidas de la tendencia central y reflejan la energía cinética media del agente de transporte. Así, los valores muy positivos indican un exceso de materiales finos (cola de finos) y los muy negativos un exceso de materiales gruesos (cola de gruesos). En la mayoría de las muestras predominan las distribuciones simétricas, y en mucha menor proporción las de asimetría muy positiva que reflejan el exceso de finos, por ejemplo en las muestras 30D y 31D de arena eólica, y 49 del intermareal. También destaca el comportamiento anómalo de la muestra 35 con asimetría muy negativa, lo que indicaría un exceso de gruesos en la zona intermareal de El Porís. Por último, los resultados de la curtosis, que es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos o colas, indican un predominio de las distribuciones mesocúrticas (igual selección el centro de la distribución que las colas) y, en menor proporción, las leptocúrticas (mejor selección en el centro de la distribución que las colas).

6.2 Análisis petrológico

El estudio petrológico permite conocer la naturaleza de los sedimentos detríticos y, a su vez, ayuda a determinar el área fuente o lugar de procedencia de los mismos. Para ello han sido calculados los porcentajes de cada componente (granos de arena de fragmentos de rocas volcánicas

y sedimentarias, de minerales, y de fragmentos de distintos bioclastos), tanto de los sedimentos como de las rocas sedimentarias. En las distintas láminas delgadas se han identificado diferentes minerales como olivinos, piroxenos (augitas), feldespatos sódico-cálcicos (plagioclasas) y opacos (óxidos de Fe y Ti), además de fragmentos de roca calcarenítica (intraclastos constituidos por bioclastos, cemento y matriz fina, o sólo bioclastos), volcánica (basaltos porfídicos con mesostasis microclinalina), y distintos restos organógenos de fauna y flora marina (mallas de algas, moluscos, briozoos, equinodermos, entre otros), siendo estos últimos los componentes principales de las muestras estudiadas.

Para poder analizar la composición petrográfica de los depósitos, es necesario definir las distintas clases petrográficas de granos (Arribas, 2010), por lo que este estudio ha sido realizado en base a un criterio genético (Folk, 1968), en el que los constituyentes principales son los bioclastos y litoclastos. A partir de estos dos grandes grupos se han definido los diversos componentes que han sido objeto de estudio (Figura 16).

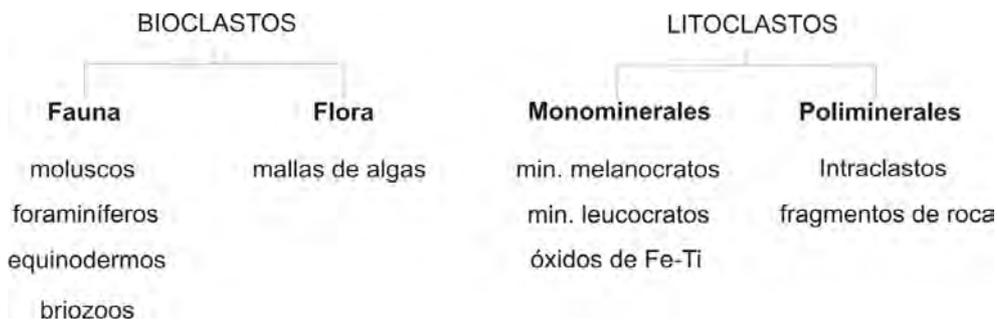


Figura 16. Clasificación de los componentes estudiados en lámina delgada.

Los resultados petrográficos muestran que los bioclastos están constituidos principalmente por fragmentos de mallas de alga y moluscos y, en menor proporción, foraminíferos, equinodermos y briozoos (Figura 16). Las mallas de alga pertenecen a la Familia *Corallinaceae*, División *Rhodophyta*, son algas rojas incrustantes y de composición calcárea. Los moluscos generalmente están representados por fragmentos de conchas de bivalvos, y en menor medida de gasterópodos. En cuanto a los foraminíferos se distinguen varias morfologías entre las que destacan los foraminíferos bentónicos de las Familias *Miliolidae* y *Rotalidae* de caparazón aporcelanado, y *Textularidae* de caparazón aglutinado, así como planctónicos de la Familia *Globigerinidae*. Los briozoos son bastante escasos y aparecen formando colonias, y en cuanto a los equinodermos se observan cortes transversales de espículas de diferentes tamaños y fragmentos de placas del caparazón.

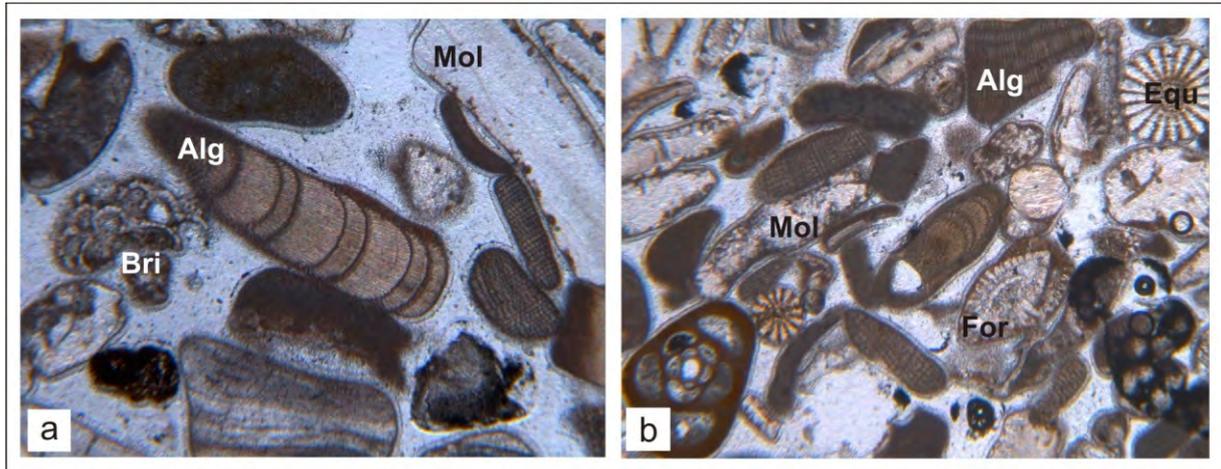


Figura 16. Imágenes de microscopio (NP, 40X) de (a) Arenisca de la Playa de Médano (muestra CORR-6) y (b) Arenisca de Playa Larga (muestra CORR-20). (Alg: mallas de algas, Mol: moluscos, Bri: briozoos, For: foraminíferos y Equ: equinodermos).

Por otro lado, los litoclastos están constituidos fundamentalmente por intraclastos sedimentarios, fragmentos de roca volcánica de composición basáltica y minerales melanocratos como el olivino, piroxenos y óxidos de Fe-Ti y leucocratos como los feldespatos (Figura 17). Los intraclastos son agregados de composición carbonatada, formados principalmente por granos de bioclastos y fragmentos líticos englobados en una matriz limosa en los paleosuelos, o por cemento carbonatado en las eolianitas y beachrocks. Los fragmentos de roca volcánica son de composición basáltica, y aunque el grado de alteración varía de unas muestras a otras, en algunas ocasiones pueden distinguirse fenocristales de olivino y feldespato (plagioclasa), y en otras presentan alteración de los bordes o están completamente alterados.

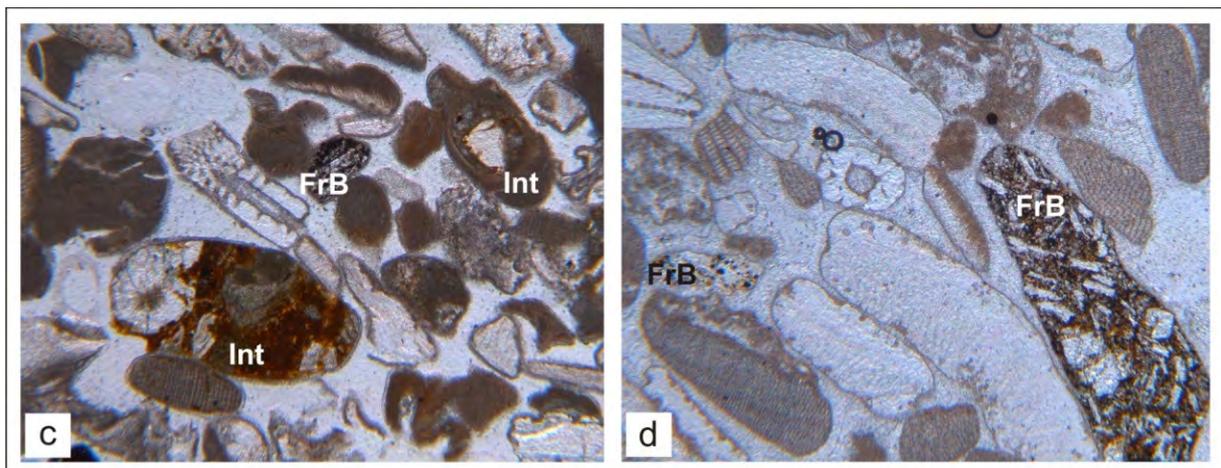


Figura 17. Imágenes de microscopio (NP, 4X) de (c) Arenisca de Playa Larga (muestra CORR_22) y (d) Bloques sueltos de la Playa del Médano (muestra CORR_10B). (FrB: fragmento de roca básica, Int: Intraclasto).

En cuanto a los fragmentos minerales son más bien escasos, siendo el más común el olivino incoloro, relieve alto, fracturas irregulares y birrefringencia alta, y también aparece alguna plagioclasa incolora, relieve bajo, birrefringencia baja y con maclas diversas. Los piroxenos (augita) son de color gris o crema, alto relieve, muestran exfoliación y birrefringencia alta. Los opacos son negros con nícoles paralelos y cruzados.

Además de los componentes señalados, se contabilizaron los porcentajes de cemento y porosidad en las rocas sedimentarias. A través del microscopio petrográfico se observó que la porosidad en las muestras era de dos tipos: intragranular, que es la que existe en las cámaras de foraminíferos, gasterópodos, etc., e intergranular, entre los granos. Los cementos aparecen en parte rellenando la porosidad existente, y en ocasiones formando una banda alrededor de los granos (cemento isopaco) (Figura 18e), y también rellenando la porosidad intragranular (Figura 18f).

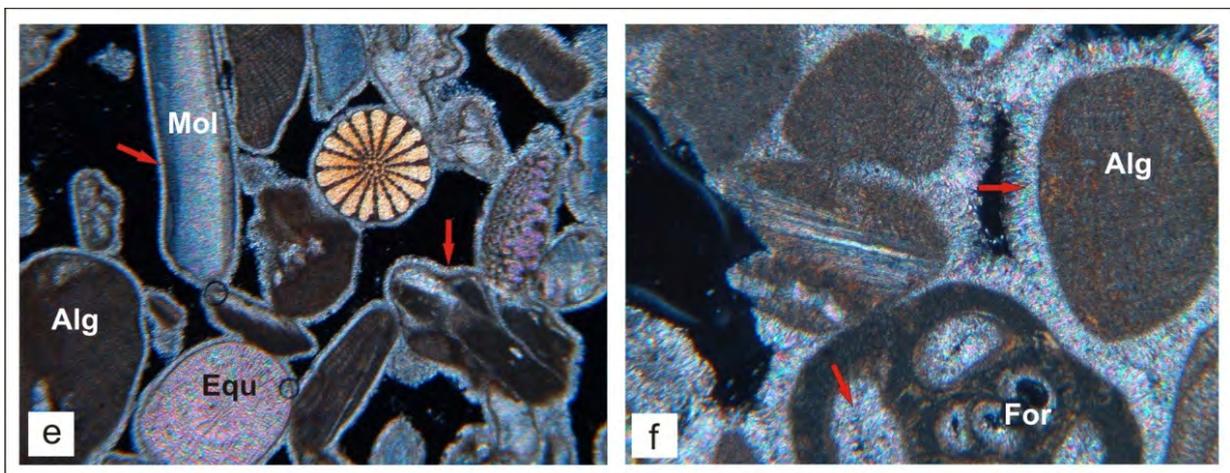


Figura 18. Imágenes de microscopio de (e) Arenisca de la Playa del Médano (muestra CORR-6) con cemento isopaco (NX, 4X) y (f) Bloques sueltos de la Playa del Médano (muestra CORR_10B) con cemento isopaco y cemento rellenando porosidad intragranular (NX, 10X).

Mediante el conteo de puntos se determinó que la porosidad de las rocas sedimentarias en la zona de estudio varía entre un 6.7% y un 26.7%, por lo que tenemos diferentes grados de cementación carbonatada, factor que generalmente está relacionado con el tiempo de enterramiento, siempre que las condiciones físico-químicas de los fluidos carbonatados sean homogéneas. El estudio petrográfico también muestra variaciones en la abundancia de los cementos, entre un 0.3% y un 20.7%, encontrándose las muestras más cementadas al norte de la zona de estudio, desde playa del Pozo hasta la playa del Médano y al sur en Los Lavaderos, y corresponden a muestras de un conglomerado marino fosilífero, de calcarenitas, y a unos bloques de composición calcarenítica que se sitúan a techo de los conglomerados. La composición de estos cementos también es importante, ya que determina el ambiente donde se ha producido la cementación, por lo

que también ha sido estudiada y se presentan los resultados en el siguiente apartado de análisis EMPA y SEM.

Por último, también fueron estudiadas las rocas volcánicas que afloran a lo largo de la costa, concretamente en Los afloramientos volcánicos de la Punta de Tivas, playa del Médano, Bajo Negro, Bajo Los Matos, playa Alzada, El Porís y al sur, entre Los Lavaderos y el barranco de Las Pilas. Las rocas volcánicas presentan textura porfídica con fenocristales de olivino y clinopiroxeno (augita), y los primeros a veces aparecen iddingsitizados o con alteraciones rojizas o negruzcas en los bordes. Las muestras más alteradas son las que se encuentran desde el Bajo Negro hasta playa Alzada, y las que presentan menos alteración están situadas en la Punta de Tivas y al sur de la zona de estudio. Estas alteraciones son normalmente a óxidos de Fe y Mn, hidróxidos de Fe e hidróxidos de Mn. La mesostasis suele ser microcristalina, en la que predomina la augita y la plagioclasa, y aparece también olivino y óxidos de Fe y Ti (Figura 19 g y h). El porcentaje de vacuolas varía entre el 1.7 y 37.3%, y en ocasiones están rellenas de lodo micrítico y cristales de esparita y/o zeolitas.

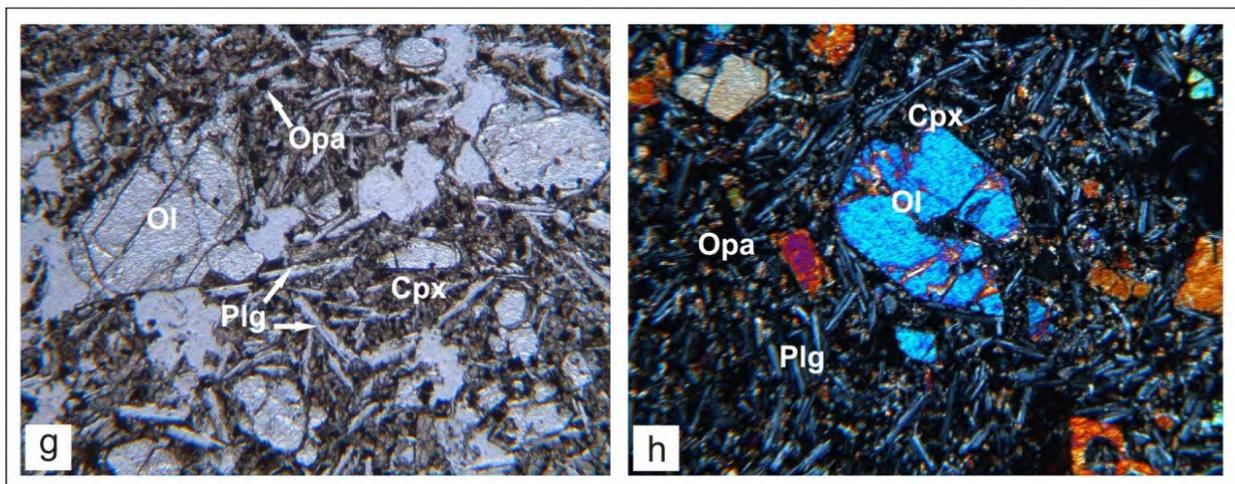


Figura 19. Imágenes de microscopio de (g) Roca volcánica de la Punta de Tivas (muestra CORR-0) (NP, 4X) y (h) Roca volcánica del Bajo del Moro (muestra CORR-32) (NX, 4X). (Ol: olivino, Plg: plagioclasa, Cpx: clinopiroxeno, Opa: Opacos).

Los resultados del análisis petrográfico de los materiales sedimentarios (arenas sueltas y rocas), se han representado a través de diagramas triangulares, cuyos vértices corresponden a los tres componentes principales, B: Bioclastos, I: Intraclastos, y L: Litoclastos. Para una mejor interpretación de la abundancia y distribución de estos componentes, se han representado por un lado las rocas sedimentarias para los tramos norte y sur de la costa (desde playa del Pozo hasta el Bajo Negro y desde el Bajo Negro hasta el sur), y por otro lado, los subambientes intermareal y supramareal para las arenas. En general se observa una gran homogeneidad en las arenas, cuyas muestras son fundamentalmente bioclásticas (Figura 20b), tanto en la zona intermareal como

supramareal. Las rocas sedimentarias, sin embargo, presentan mayor heterogeneidad debido al mayor contenido en intraclastos, fundamentalmente en las muestras que corresponden al tramo norte de la costa (Figura 20a). En el tramo sur son bastante homogéneas a excepción de la muestra 25 que corresponde a un paleosuelo situado en el Bajo Los Matos.

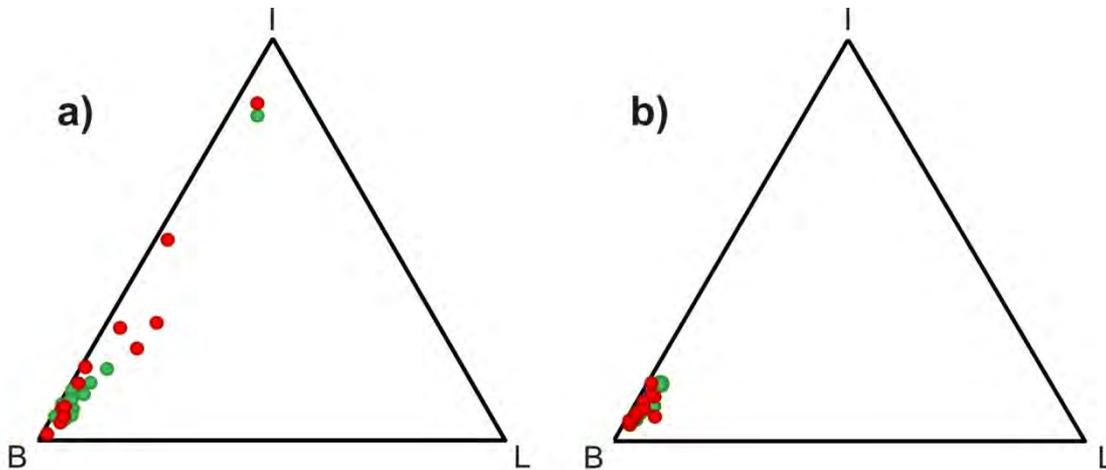
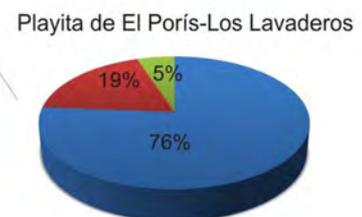
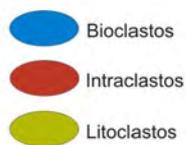
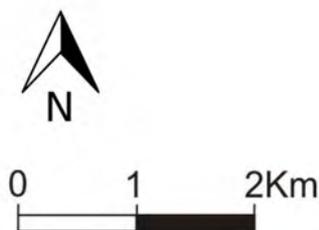


Figura 20. Triángulos composicionales B-I-L; B:Bioclastos, I:Intraclastos, L:Litoclastos; **(a)** representación B-I-L de las rocas sedimentarias para el tramo norte de la costa de Corralejo (círculos rojos) y tramo sur (círculos verdes); **(b)** representación B-I-L de los sedimentos de la costa de Corralejo, en la zonas intermareal (círculos rojos) y supramareal (círculos verdes).

Para una mejor interpretación de las variaciones en la abundancia de estos componentes a lo largo de la costa, en la Figura 21 aparecen representados los porcentajes de bioclastos, intraclastos y litoclastos en las distintas playas, para las rocas sedimentarias. Aunque se observa una clara predominancia en cuanto al contenido en bioclastos, en algunas zonas se observan tendencias en la abundancia de intraclastos y, en menor medida, de litoclastos.

Figura 21. Distribución de componentes principales B-I-L a lo largo de la costa para las rocas sedimentarias y sedimentos arenosos.



Los valores de abundancia de los bioclastos varían entre el 88 % y el 46 %, y como se mencionó anteriormente, también existen heterogeneidades en cuanto a la abundancia de intraclastos, que varían entre el 46% en la Playa del Pozo, donde se encuentran las muestras con mayor abundancia en intraclastos, y el 10% en Playa Larga. A partir de la Playa de Los Matos, la abundancia es del 28% disminuyendo hacia Playa Alzada hasta un 12%. Al sur de la zona de estudio, en la zona situada entre La Playita de El Porís y los Lavaderos, la abundancia es del 19%. En cuanto a los litoclastos se observan los valores máximos y mínimos de abundancia en la Playa del Pozo al norte y entre el Porís y Los Lavaderos al sur, con un 8% y 5% de litoclastos respectivamente, no sobrepasando el 1-2 % en el resto de la costa.

Aunque las proporciones de los distintos componentes varían en el área de estudio, son los bioclastos los que aparecen con una mayor abundancia, por lo que el análisis de láminas delgadas confirma los altos valores en carbonatos obtenidos por calcimetría (80.8 a 95.2 %). Esta clara predominancia de bioclastos y escasez de terrígenos se da tanto en las rocas sedimentarias como en las arenas, siendo los componentes principales en ambos casos los moluscos, con un 42 % de abundancia en las arenas y un 38 % en las rocas sedimentarias y las mallas de algas, con un 37 % de abundancia en las arenas y un 32 % en las rocas sedimentarias (Figura 22). También se observa una mayor abundancia de intraclastos en las rocas sedimentarias con valores del 19%, respecto a las arenas con un 9%.

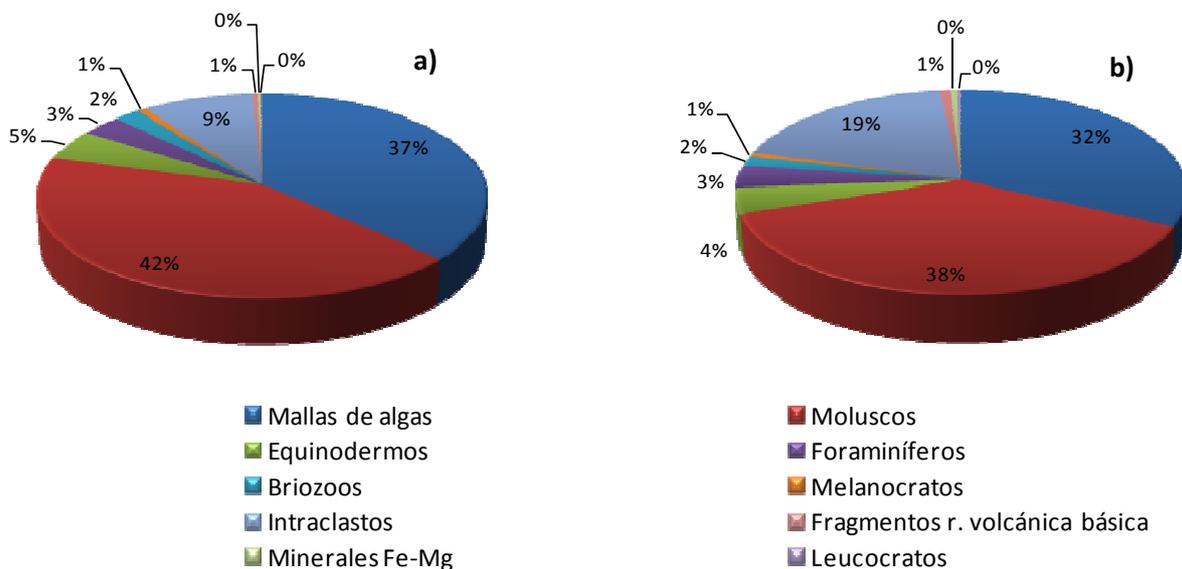


Figura 22. Abundancia de componentes en el sedimento arenoso superficial (a) y en las rocas sedimentarias (b).

En las muestras estudiadas predominan, por tanto, los moluscos y las mallas de algas, pero un análisis más detallado nos permite ver ciertas heterogeneidades en cuanto al contenido de estos dos componentes principales respecto al resto de bioclastos, como foraminíferos, equinodermos y briozoos, con una abundancia en estos últimos que varía entre el 0.3% y 22.5% para las rocas sedimentarias (Figura 23). Las muestras que presentan mayor heterogeneidad en este caso son las que tienen un mayor contenido de foraminíferos fundamentalmente y equinodermos, y éstas corresponden al conglomerado marino con fósiles de la playa del Viejo y las calcarenitas que se encuentran entre la playa del Médano hasta playa Larga.

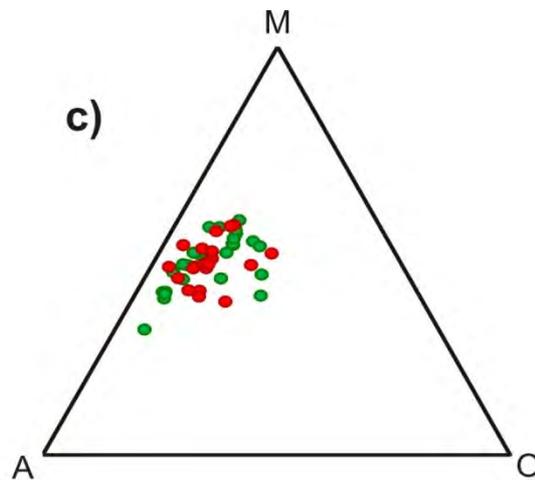


Figura 23. Representación A-M-O de las rocas sedimentarias (círculos verdes) y arenas (círculos rojos) de la costa de Corralejo; A: Algas M: Moluscos, O: Otros componentes bioclásticos (foraminíferos, equinodermos y briozoos).

6.3 Análisis EMPA y SEM

Con el análisis EMPA se ha obtenido la composición de los cementos, lo que ha permitido determinar el ambiente de cementación de las rocas sedimentarias, en función del contenido en Mg y Sr. La composición química de los cementos carbonatados confirma que hay dos tipos de esparita (Tabla 5), una con alto contenido en Mg (>10% de $MgCO_3$) y en Sr (> 1.100 ppm) denominado HMC (*High-Mg-calcite*) y otra con bajo contenido en Mg (< 10% de $MgCO_3$) y en Sr (<1.500 ppm), que se llama LMC (*Low-Mg-calcite*). Los resultados obtenidos indican que la presencia de $MgCO_3$ y Sr determina el origen marino de la cementación, ya que ambos están ausentes en el agua dulce. Las concentraciones de Fe, Mn, K y Si son despreciables y algunas veces por debajo del poder de detección de la microsonda electrónica.

| Muestra | MgCO ₃ (%) | Sr (ppm) | TIPO |
|---------|-----------------------|-----------------|------|
| 6 | 8,10 (σ 7,0) | 1480 (σ 576) | LMC |
| 8 | 15 (σ 7,5) | 1563 (σ 457) | HMC |
| 9A | 18,5 (σ 6,4) | 1186 (σ 69) | HMC |
| 10A | 14 (σ 7,7) | 1425 (σ 320) | HMC |
| 23 | 9,1 (σ 5,1) | 1233 (σ 306) | LMC |
| 24 | 8,4 (σ 7,3) | 1460 (σ 416) | LMC |
| 28 | 13,7 (σ 0,2) | 1433 (σ 306) | HMC |
| 39 | 8,3 (σ 6,7) | 1300 (σ 100) | LMC |

Tabla 5. Análisis con microsonda electrónica de cementos carbonatados cálcicos en calcarenitas (muestras 6, 8, 23 y 24), conglomerado fosilífero (9A y 39), bloques sueltos (10A) y eolianitas (28).

Los análisis de microsonda electrónica de los cementos de los bioclastos confirman que son principalmente carbonatos cálcicos pobres en magnesio y con trazas de Sr. Así, se han analizado restos de mallas de algas coralíneas, fragmentos de moluscos, conchas de foraminíferos y trozos de colonias de briozoos que contienen valores de CaCO₃ entre 83 y 87%, de MgCO₃ entre 11 y 13%, y de Sr entre 1000 y 2700 ppm, por lo tanto confirman que son animales marinos que captan el carbonato cálcico, magnesio y estroncio del agua de mar. Algunas conchas de moluscos son esencialmente de CaCO₃ y posiblemente corresponden a fragmentos de gasterópodos terrestres. Los equinodermos no daban análisis químicos correctos debido al tamaño y forma de las partículas.

A través del SEM se han podido tomar fotografías a nivel microscópico para observar la morfología de los cementos de carbonato cálcico y hacer análisis semicuantitativos para caracterizar los minerales. Los cementos están constituidos por cristales rómbicos prismáticos de aragonito de tamaño de micras, raramente con morfologías pseudoexagonales, que se disponen perpendicularmente a los bordes de los granos de arena (cemento isopaco) (Figura 24a y b), (Figura 25a y b). También aparecen estos cristales prismáticos de aragonito rellenando las cavidades de los fósiles (gasterópodos, foraminíferos y briozoos) y en los huecos entre granos. Asimismo, se han identificado cristales cúbicos de cloruro sódico (halita) y cristales tabulares de arcillas que se pegan a los granos y al cemento aragonítico. Se han observado ocasionalmente procesos de disolución de aristas y vértices en algunos cristales de aragonito y halita.

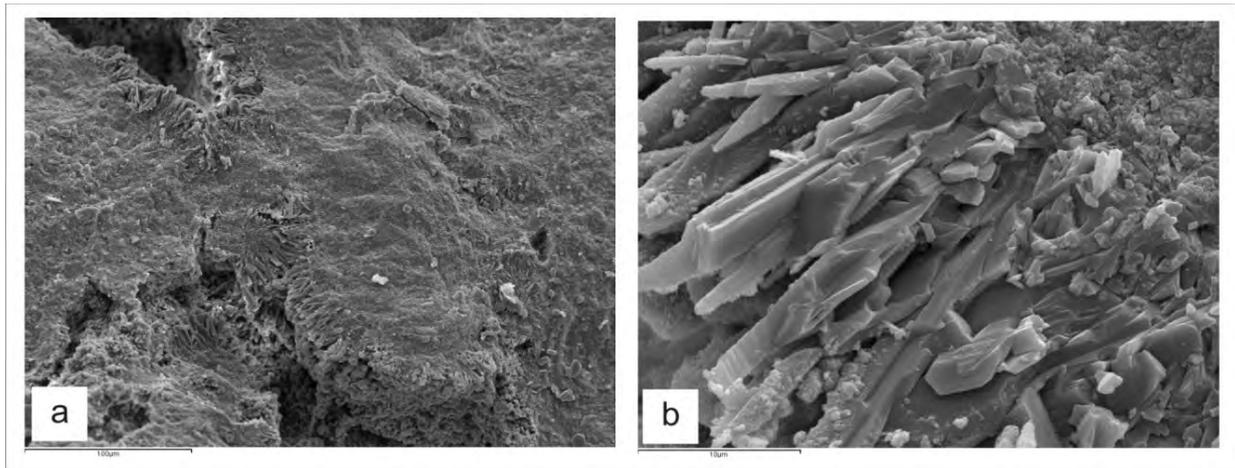


Figura 24. Imágenes al microscopio electrónico de la muestra CORR-20; **(a)** granos de arena masivos con cemento isopaco alrededor de ellos y porosidad entre granos **(b)** detalle del cemento en el borde de un grano de arena y crecimiento perpendicular de aragonito prismático, con pequeños cristales de sal y arcilla adosados algunas caras.

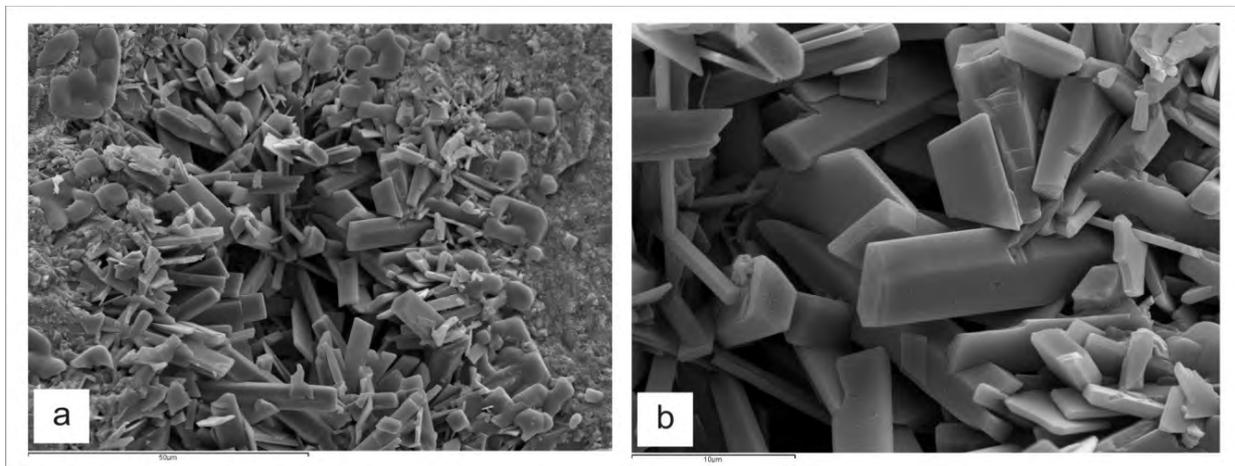


Figura 25. Imágenes al microscopio electrónico de la muestra CORR-20; **(a)** cemento aragonítico relleno una cavidad (drusa) y algunos cristales cúbicos de cloruro sódico (halita) con procesos de disolución **(b)** detalle de la fotografía anterior donde se observan cristales prismáticos rómbicos de aragonito.

6.4 Geocronología

Se han llevado a cabo análisis de racemización/epimerización de conchas de gasterópodos terrestres de los géneros *Theba*, midiendo la isoleucina, ácido aspártico, fenilalanina y ácido glutámico en 5 ejemplares de cada género en 5 muestras recolectadas en paleosuelos marrones que conforman en muchos lugares del PNC el sustrato de las dunas actuales, para poder establecer su edad y la aminoestratigrafía de cada muestra empleando los algoritmos de cálculo de edad de Ortiz *et al.* (2006). Los resultados de las dataciones han dado edades que oscilan entre 8.300 y 17.000 años (tabla 6), que corresponden al Pleistoceno superior-Holoceno y estarían entre las aminozonas 5 y 6 definidas por Ortiz *et al.* (2006) y que corresponden con periodos de formación de dunas en el archipiélago canario.

| Muestra | Latitud N UTM | Longitud W UTM | Edad (Ka) |
|---------|---------------|----------------|------------|
| CORR-2 | 611566 | 3177970 | 8.3 ± 4.3 |
| CORR-4 | 612085 | 3177991 | 17.3 ± 6.5 |
| CORR-8 | 611521 | 3176136 | 10.1 ± 4.7 |
| CORR-18 | 613063 | 3176591 | 13.2 ± 4.2 |
| CORR-23 | 613190 | 3174544 | 11.6 ± 3.5 |

Tabla 6. Situación de las muestras de caracoles terrestres del género *Theba* en el PNC y edades (Ka) obtenidas mediante la técnica de la aminocronología.

En cuanto al análisis geocronológico por C14 de los bivalvos (*Patella*) que se encuentran cementados en el conglomerado marino, y aparecen en la zona intermareal de la playa del Médano, los resultados dan edades de 1.260 ± 30 BP (Tabla 7). Por lo tanto, es un nivel sedimentario holoceno que se corresponde con el IOS 1.

| Sample Data | Measured Radiocarbon Age | 13/12 C Ratio | Conventional Radiocarbon Age |
|------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------|
| CORR-9A Beta 350321 | 800 +/- 30 BP | 2.9 o/oo | 1260 +/-30 BP |

Tabla 7. Edad BP de los bivalvos del Género *Patella* obtenidas mediante la técnica del C14.

6.5 Estratigrafía

Para llevar a cabo este estudio se levantaron nueve columnas estratigráficas de los afloramientos que corresponden a los depósitos sedimentarios y volcánicos de la costa del PNC, su localización general se muestra en el apartado 4.6 del capítulo Metodología y las fichas descriptivas de cada columna en el Anexo (página 59). A continuación, se presenta una descripción detallada con fichas descriptivas de cada columna.

Columna S-1

Esta columna está localizada en la Playa del Pozo. Tiene una potencia de aproximadamente 1m de espesor, diferenciándose dos niveles de calcarenitas masivas, uno de 70cm en la base, y sobre éste otro nivel de 30cm con procesos de disolución. No se observa ningún tipo de estructura sedimentaria.

Columna S-2

Esta columna presenta una potencia de aproximadamente 1m de espesor. En la base encontramos un nivel de 70cm de lavas afánicas y vacuolas rellenas de zeolitas, que han sido identificadas de visu y a través del microscopio petrográfico. La edad de los materiales lávicos es del

Pleistoceno medio-superior y Holoceno, según Balcells y Barrera (2004), edad que determinaron para las lavas situadas desde la Punta de Tivas hasta el Bajo Negro (esta edad se aplica a las columnas S-1 a S-5). Según otros autores (Criado et al., 2007 y Meco et al., 2002), indican que las lavas son del Pleistoceno medio para todas las coladas que afloran en el PNC. Sobre estos materiales volcánicos en la base hay un nivel de calcarenitas masivas de 30cm de espesor, con procesos de disolución a techo.

Columna S-3

La columna S-3 se localiza en la playa del Médano. Tiene una potencia de unos 2m y desde la base al techo aparece, aproximadamente 1m de lavas escoriáceas y sobre éstas se distinguen dos niveles de calcarenitas, el situado sobre los materiales lávicos corresponde a un nivel masivo sin estructuras sedimentarias y sobre éste se apoya un nivel calcarenítico con estratificación cruzada de alto ángulo, buzando hacia tierra. Sobre la eolianita aparece un conglomerado con cantos de basalto subangulosos y cantos de calcarenita, englobados en una matriz arenosa-microconglomerática con fósiles de bivalvos y gasterópodos marinos. En este nivel se realizó la datación de las conchas de *Patella*, dando una edad de 1.260 ± 30 BP, por lo que este nivel se corresponde con el IOS 1, interpretado como uno de los últimos picos transgresivos ocurridos durante el Holoceno. Sobre estos depósitos conglomeráticos aparecen una serie de bloques sueltos y/o cementados al conglomerado. Estos bloques son angulosos a subangulosos, de tamaño decimétrico a métrico (con tamaños que oscilan entre 60 y 90 cm) y aparecen imbricados buzando hacia el mar. Texturalmente son calcarenitas que presentan una especie de pátina superficial que los recubre y contienen gasterópodos terrestres.

Columna S-4

Esta columna está situada en la playa del Viejo y tiene una potencia de aproximadamente 2m. En la base se diferencian al menos tres niveles de calcarenitas, los dos primeros de 30 y 50cm respectivamente, son de aspecto masivo y el tercero presenta estratificaciones cruzadas de alto ángulo con procesos de disolución a techo. En cuanto a sus características petrográficas se han podido observar en el nivel superior, la presencia de granos muy redondeados y doble cementación isopaca en el borde de los mismos. Por encima de estos materiales se apoya discordantemente un nivel de conglomerados de características similares a los descritos en la columna S-3 y en el techo de la secuencia, vuelven a aparecer los bloques de calcarenitas angulosos muy cementados descritos anteriormente.

Columna S-5

La columna S-5 se localiza en la playa del Bajo Negro. Tiene una potencia de más de 2m de espesor, con lavas basálticas en la base y sobre éstas se apoya un nivel de calcarenitas masivas, que presenta procesos de disolución a techo y conglomerados con cantos de basalto, cantos de calcarenita y fósiles de gasterópodos y bivalvos, de las mismas características que los mencionados anteriormente.

Columna S-6

Localizada en playa Larga, se caracteriza por una secuencia de al menos cuatro niveles de calcarenitas masivos, con un espesor total de 1m aproximadamente, y con estratificaciones cruzadas de alto ángulo en los niveles superiores y laminación paralela. Hacia el techo hay un nivel de conglomerados fosilíferos con cantos de basalto y cantos de calcarenita, que se diferencia de los descritos anteriormente por la escasa matriz arenosa.

Columna S-7

Esta columna está localizada en el Bajo Los Matos, con una potencia inferior a 1.5m. En la base aflora un malpaís escoriáceo, que según Balcells y Barrera (2004), es de edad Pleistoceno inferior. Por encima de los materiales volcánicos se distinguen 4 niveles, el primero corresponde a un paleosuelo de color rojizo con una matriz arenosa-limosa, en el que se observan cantos de basalto de tamaño centimétrico, rizoconcreciones, nidos de antóforas y gasterópodos terrestres. Por encima de éste se distingue una eolianita poco cementada con estratificación cruzada, y sobre ésta aparece un conglomerado con cantos de basalto y fósiles marinos. En el techo de la secuencia, aparecen de nuevo los bloques sueltos rectangulares angulosos de calcarenitas, de las mismas características que los descritos en la columna 3.

Columna S-8

La columna S-8 tiene unos 2m de espesor y se localiza en el Bajo los Matos. En la base se distingue una eolianita con nidos de antóforas y sobre ésta se apoya un nivel de calcarenitas masivas y un nivel de conglomerados con cantos de basalto y fósiles marinos.

Columna S-9

Esta columna está localizada al sur de la zona de estudio, en Los Lavaderos, y está formada por una secuencia de 1.5m de potencia constituida por calcarenitas y a techo un nivel de aproximadamente 30 cm de espesor formado por conglomerados con cantos de basalto con escasa matriz.

Interpretación estratigráfica

Conforme a los resultados obtenidos se puede concluir que las coladas volcánicas forman la base de la secuencia estratigráfica, ya que se observan en la mayoría de afloramientos y en el resto suponemos que existen, aunque éstos aparezcan cubiertos por los sedimentos arenosos actuales. De esta manera, los materiales más antiguos en la zona de estudio corresponden al Pleistoceno medio, según Meco et al. (2002) y Criado et al. (2007). Sobre los materiales lávicos se superponen depósitos calcareníticos masivos hasta el Bajo Los Matos, donde aparece un nivel de paleosuelo (S-7) y más al sur depósitos de eolianitas (S-8 y S-9). Las calcarenitas tienen aspecto masivo y suelen estar muy cementadas, no tienen ningún tipo de estructura sedimentaria, pero por sus características texturales, y su posición estratigráfica podrían interpretarse como depósitos interdunares, por estar vertical y lateralmente asociadas con litofacies de dunas eólicas y/o mantos eólicos. Por encima de estas calcarenitas masivas aparecen en algunos niveles que han sido interpretados como eolianitas, en las columnas S-3, S-4, S-6, S-7, S-8 y S-9, que se distinguen por la estratificación cruzada de alto ángulo y su laminación interna. Sobre estos niveles calcareníticos, interpretados como dunas, y sobre los depósitos interdunares o mantos eólicos, se apoya un conglomerado que se observa en la mayoría de las columnas, a excepción de la S-1 y S-2. Este depósito presenta mala selección, y un esqueleto heterogéneo, con cantos angulosos a subangulosos de basalto y calcarenita, lo que quiere decir que no han sido muy retrabajados por el oleaje, por lo que podrían corresponder a un nivel de playa de tormenta que fue depositado de manera discordante sobre las formaciones eólicas antiguas (eolianitas). Esta interpretación se ve afianzada por la existencia de bloques de gran tamaño que aparecen a techo de la secuencia, imbricados y buzando hacia el mar, que debieron depositarse en condiciones de muy alta energía, es decir, asociados a temporales marinos.

6.6 Discusión de resultados

Las playas que forman parte del PNC están caracterizadas por sedimentos arenosos de grano medio en la zona supramareal y de grano medio y grueso en la zona intermareal. Aunque generalmente el tamaño de grano es bastante homogéneo, se observan tamaños de grano más gruesos en las playas del Pozo y del Médano situadas al norte, y en la playa de El Porís situada al sur,

lo que confirma los resultados de Alonso et al., 2006. Las playas situadas al norte se localizan dentro de la zona de entrada del sedimento, que se produce concretamente en las calas situadas en el casco urbano de Corralejo y el tramo de costa comprendido entre la Punta de Tivas y la playa de Los Matos (Criado, 1987; Gobierno de Canarias, 2006). En este sentido, sería lógico pensar que los sedimentos de estas playas tienden a ser más gruesos porque no han sido tan retrabajados por los distintos agentes, como por ejemplo el oleaje, las mareas y el viento. En la playa de El Porís situada al sur no hay apenas aportes sedimentarios y es un tramo de costa donde predominan las rocas volcánicas. El comportamiento anómalo de la muestra 35 del intermareal y su heterogeneidad con respecto a la muestra 36 situada en la misma playa en la zona supramareal confirma que los sedimentos eólicos no están pasando a la zona intermareal de El Porís. Sería fundamental estudiar y caracterizar en un futuro las arenas submareales de los bancos de detríticos que aparecen en el estrecho entre el PNC y la isla de Lobos, ya que son la fuente de los sedimentos que aparecen en las zonas intermareal y supramareal. De esta forma se podría modelizar el ciclo de la arena desde su origen en las zonas sumergidas hasta su movilización y depósito en las zonas emergidas de la playa y la trasplaya.

Por otra parte, teniendo en cuenta el estudio petrográfico de las láminas delgadas de los sedimentos y las rocas sedimentarias, junto con los datos obtenidos por calcimetría, se confirma el origen fundamentalmente biogénico de las arenas del PNC, que ya fueron descritas por Criado, 1987; Criado et al., 2004; Alonso et al., 2006 y Criado et al., 2007. Nuestra investigación aporta la naturaleza de estas partículas biogénicas pues petrográficamente se demuestra que son fragmentos de fauna y flora marina (principalmente mallas de algas y moluscos). Esta abundancia de componentes carbonatados de fauna y flora marina también se ha descrito en otros sistemas playa-dunas de Canarias como, por ejemplo, en la isla de La Graciosa (Mangas et al., 2012), Famara en la isla de Lanzarote (Mangas et al., 2008); en Tufia y Maspalomas en Gran Canaria (Hernández y Mangas, 2004; Alonso A.M. et al. 2008; y Alonso, I. et al. 2008), entre otros. No obstante, en estos sistemas sedimentarios playa-duna cambian los porcentajes de bioclastos y litoclastos, puesto que están influenciados por distintos procesos y morfologías geológicas cercanas al medio de depósito. Por ejemplo, en el campo de dunas y playas de Maspalomas influye en gran medida las partículas que transporta el barranco de Fataga en su desembocadura y, por ello, los depósitos arenosos de las playas de El Inglés y de Maspalomas tienen muchos más aportes de granos de litoclastos (fragmentos de rocas félsicas y básicas, y fragmentos de minerales leucocráticos y melanocráticos) que bioclastos; en el sistema playa-duna de Famara influye la erosión de los acantilados de Famara que son apilamientos exclusivamente de materiales basálticos, y la erosión de las laderas formando coluviones de fragmentos básicos que llegan hasta la costa están aportando principalmente granos de rocas básicas más los bioclastos marinos que se generan en el medio marino; o en La Graciosa, en

general predominan los bioclastos en las playas y dunas del norte (Playa de Las Conchas y Playa de Lambra) y aumentan ligeramente los litoclastos en las del sur (playas del Salado y Francesa). Por otro lado, la escasa presencia de fragmentos líticos en el PNC, tanto en las arenas de las zonas intermareales como en las supramareales, y en las rocas sedimentarias, indica que los agentes geológicos externos no han actuado con mucha intensidad sobre los afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias costeras que forman el sustrato de los sistemas playa-duna actuales del espacio protegido. Por consiguiente, los bajos aportes de partículas arenosas terrígenas en la zona litoral son aportados por los escasos barrancos incipientes que cruzan este-oeste el PNC. En este sentido, en la zona de estudio nos encontraremos con algunos litoclastos de composición calcarenítica fundamentalmente. Aunque hay un predominio en la abundancia de granos de bioclastos del PNC, se observan ciertas tendencias a lo largo de la costa en cuanto al contenido en intraclastos, que es notablemente mayor en la zona situada al norte, en las playas del Pozo y el Médano, y hacia el sur en el Bajo de los Matos. La mayor abundancia de este componente nos indica que las rocas sedimentarias (calcarenitas bioclásticas que afloran en la línea de playa) han sido más retrabajadas por el oleaje y las mareas por su disposición y orientación a la acción de estos agentes marinos, o que los afloramientos costeros de calcarenitas del norte presentan una cementación más ligera y se erosionan más fácilmente.

En general, las calcarenitas bioclásticas, con distinto grado de cementación carbonatada cálcica, que aparecen distribuidas intermitentemente a lo largo de toda la costa del PNC, muestran que sus granos de arenas son fundamentalmente fragmentos de fauna (esencialmente moluscos y, en menor proporción, foraminíferos, briozoos y equinodermos) y flora (mallas de algas rojas coralináceas) marinas, y con bajos contenidos en litoclastos (fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias, y de minerales), lo que difiere de las playas de Famara estudiadas por Mangas et al. (2008) y de Maspalomas (Hernández y Mangas, 2004), cuya composición es más heterogénea y con más litoclastos, y se parecen más a los sistemas playa-duna bioclásticos del norte de La Graciosa (Mangas et al., 2012). Además, el cemento carbonatado que une los granos en las calcarenitas y conglomerados del PNC de forma isopaca es calcita magnesiana conteniendo trazas de Sr, por lo que es de origen marino y nos está indicando que las arenas y cantos han estado bajo el agua (ya en zonas intermareales como submareales) a lo largo de su evolución geológica, desde que eran simplemente sedimentos detríticos sueltos hasta que se han convertido en roca sedimentaria calcarenítica o conglomerados. Por las características cristalográficas de los cristales del cemento isopaco, con formas prismáticas rómbicas, el carbonato cálcico es aragonito. La cementación de rocas calcareníticas, en concreto de beachrocks, ha sido ampliamente estudiada en diversas partes del mundo (Neumeier, 1999; Kneale y Viles, 2000; Spurgeon et al., 2003; Marques Vieira y De Ros,

2006), así como en las islas canarias (Calvet et al., 2003; Mangas et al., 2011) y en todos ellos se han citado cementos aragoníticos con formas de cristales prismáticos creciendo perpendiculares a los bordes de grano (cemento isopaco).

En cuanto a las dataciones la edad obtenida para el conglomerado marino fosilífero de la playa del Medano, están dentro de los rangos de edades obtenidos anteriormente por Meco (1997) y Criado et al. (2004), estando su formación relacionada con alguno de los picos transgresivos del Holoceno (menos de 11.700 años), y que corresponden con la etapa isotópica marina IOS 1 (Isotopic Ocean Stage). La edad del paleosuelo que constituye el substrato del campo de dunas del PNC fue calculada por aminocronología en esta investigación, y tiene una edad que oscila entre 8.3 ± 4.3 y 17.3 ± 6.5 ka (Pleistoceno superior-Holoceno), por lo que estarían entre las aminozonas 5 y 6 definidas por Ortiz et al. (2006), y que corresponden con periodos de formación de dunas en el archipiélago canario. Estos resultados geocronológicos son similares a los obtenidos por Criado et al. (2004) con edades que oscilan entre 16.980 y 13.980 años, en una cantera situada al norte del campo de dunas de Corralejo.

Las edades del substrato volcánico varían entre 134.000 y 173.000 años, es decir, son del Pleistoceno medio. Por consiguiente, sobre un basamento de coladas basálticas del pleistoceno medio (de 781.000 años a 126.000 años), se instalan sistemas playa-duna con depósitos sedimentarios de paleodunas y paleosuelos que corresponden a épocas áridas y húmedas, respectivamente, del Pleistoceno superior (de 126.000 años a 11.700 años)-Holoceno (11.700 años hasta la actualidad) debidas a los cambios climáticos globales que originaron también cambios relativos del nivel del mar.

En nuestro caso, la costa del PNC sufrió la última glaciación hace unos 18.000 años, con una fase de regresión marina que marcó un descenso del nivel del mar de un centenar de m con relación a la posición actual, a una época interglaciar actual de trasgresión marina, con un nivel del mar que a veces ha sido de 1 m por encima de la posición actual. Esta última regresión marina del Pleistoceno superior, dejó al descubierto los sedimentos arenosos submareales y de plataforma continental en la zona del PNC, por lo que los vientos existentes en esa época formaron campos de arenas eólicas a distintas alturas. A su vez, en el periodo interglaciar actual, estos sedimentos eólicos o marinos formados en épocas de regresión marina quedan bajo el agua de mar en las posteriores etapas transgresivas. Además, y siempre que las condiciones ambientales sean adecuadas, se produce la cementación de los granos de arena o los cantos con cristales de carbonato cálcico pobre en magnesio de tipo aragonítico. De esta manera, estos cambios del nivel del mar, formaron rocas

sedimentarias a partir de sedimentos detríticos sueltos, y son las calcarenitas y conglomerados que encontramos actualmente en la zona costera del PNC.

Por otro lado, las calcarenitas en general no presentan estructuras sedimentarias, por lo que podrían interpretarse como espacios interdunares o mantos eólicos. En ocasiones, se observan en los afloramientos apilamientos de estratos de potencias centimétricas, algunos buzando hacia el mar y otros hacia tierra. Por consiguiente, los primeros buzando las capas menos de 10^º hacia el mar, se habrían formado en zonas intermareales y constituirían depósitos de beachrock (roca de playa). Sin embargo, los estratos buzando hacia tierra presentan estratificación cruzada y laminación paralela, por lo que podrían interpretarse como paleodunas o eolianitas. Hay que indicar que se han visto estratos de eolianitas con distinto grado de cementación, unas muy cementadas antiguas y otras desmenuzables más recientes. En conclusión, tenemos calcarenitas que estarían asociadas a medios sedimentarios supramareales (eólicos), intermareales (beachrock) y submareales (barras sumergidas) a lo largo de la historia geológica del Pleistoceno superior y Holoceno del PNC. Por consiguiente, los depósitos arenosos y cantos sueltos de zonas costeras han quedado sumergidos bajo el agua del mar debido a los cambios globales del planeta en el interglaciar actual y, las condiciones físico-químicas y oceanográficas de este fluido acuoso marino han sido adecuadas para formar el cemento carbonatado aragonítico que unió los granos de arena y cantos.

Con relación a los bloques sueltos de calcarenitas muy angulosos y muy cementados situados sobre este conglomerado marino de cantos volcánicos redondeados, debieron depositarse posteriormente a 1260 años antes del presente, a causa de un evento de alta energía, probablemente durante un temporal marino de alta energía de transporte que fue capaz de mover bloques de tamaño decimétrico a métrico de zonas submareales a las zonas intermareales donde se encuentran ahora.

7. PUESTA EN VALOR

Para poner en valor los elementos geológicos y considerarlos parte integrante del Patrimonio Geológico, es necesario definir unos criterios objetivos que permitan la estimación de su singularidad de manera cualitativa o cuantitativa, atendiendo a tres aspectos, el valor intrínseco, la potencialidad de uso y el riesgo de degradación (IGME, 2004). La puesta en valor requiere un estudio de la geodiversidad, que consiste en analizar la variedad de elementos geológicos y la relación existente entre ellos, para poder interpretar desde el punto de vista científico y/o divulgativo los aspectos más destacables sobre la evolución geológica, o el funcionamiento de determinados procesos geológicos. En este sentido, la caracterización de los afloramientos estudiados en el PNC, ha proporcionado información de carácter científico sobre la evolución de la costa durante la historia geológica reciente de esta parte de la isla. Por este motivo y conforme a los resultados obtenidos, se considera que existen elementos que pueden ser de interés sedimentológico y estratigráfico a nivel local. Además, existen dos puntos de Interés Geológico -PIG's- dentro del área del parque natural (IGME, 2004), uno de ellos corresponde al campo de dunas de Corralejo, y el otro a los depósitos marinos erbanenses (IOS 1) constituidos por conglomerados fosilíferos marinos con edades entre 2.000 y 4.000 años, lo que afirma el interés geológico por los depósitos marinos recientes.

Atendiendo a todos los criterios anteriores, y teniendo en cuenta el interés paisajístico de este espacio, se ha considerado que el afloramiento situado en la playa del Médano es el más representativo de la geología costera del PNC, por lo que su propuesta como LIG puede ser desarrollada en un futuro utilizando la metodología del IGME. Los afloramientos están situados entre el casco urbano de Corralejo y los hoteles que se encuentran en el centro del parque natural. Básicamente corresponden a una secuencia de materiales sedimentarios asentados sobre las coladas basálticas del Pleistoceno medio, que representan ambientes costeros intermareales y supramareales del Holoceno, concretamente, varios niveles de eolianitas (capa de calcarenitas con estratificaciones cruzadas de bajo ángulo asociadas a dunas, y varias capas de calcarenitas de mantos eólicos sin estructuras sedimentarias) en la base y el nivel de conglomerado marino con cantos de basalto redondeados y bloques calcareníticos angulosos muy cementados a techo, y que corresponde su cementación a uno de los picos transgresivos del estadio isotópico 1, cuya edad ha sido determinada por C14 sobre *patellas* en 1.260 ± 30 años B.P.

A continuación se puede observar la localización y las características principales de los afloramientos que corresponden al lugar propuesto como LIG (Figura 26).

Localización: **Playa del Médano**

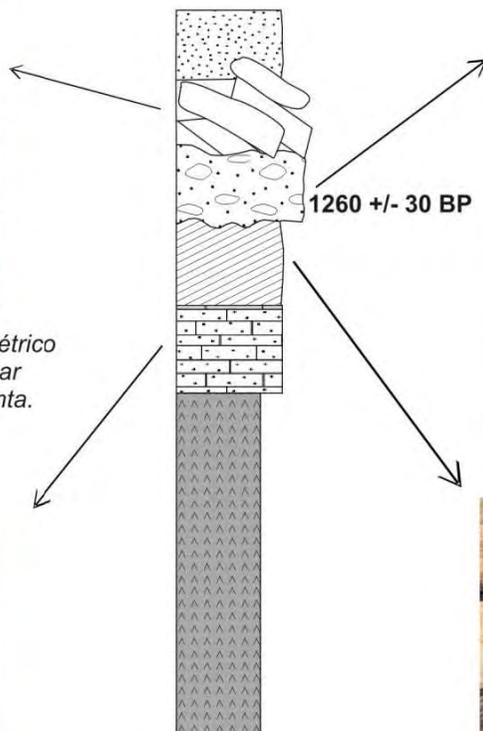
Coordenadas X: 613299 Y: 3177374



Bloques subangulosos de calcarenita de tamaño decimétrico a métrico que aparecen imbricados buzando hacia el mar y corresponden probablemente a un depósito de tormenta.



Nivel tabular masivo inferior de calcarenita con una potencia de aproximadamente un metro, y erosionado irregularmente en la parte superior por procesos de disolución marina.



Conglomerado marino fosilífero con cantos de basalto subangulosos, cantos de calcarenita y fósiles de bivalvos marinos, englobados en una matriz arenosa. La datación realizada en este trabajo ha dado una edad de 1260 +/- 30 BP.



Restos de depósitos de calcarenitas eólicas entre las arenas costeras actuales en la zona intermareal. Presentan estratificación cruzada de alto ángulo, con buzamiento >20° hacia tierra. Sobre estas calcarenitas se disponen de manera discordante un nivel de conglomerado marino fosilífero.

Estos depósitos ya han sido descritos con mayor detalle en el apartado 6.5 de esta memoria.

La metodología a desarrollar en un futuro para definir este punto como LIG, viene recogida en el documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) (IGME, 2009), que se creó con el objetivo de actualizar el Inventario Nacional de los LIG. El primer paso consiste en recopilar bibliografía sobre este espacio, sobre las características geológicas del medio, información relativa a los espacios naturales protegidos, posibles iniciativas preexistentes de inventarios de LIG en la zona y libros o guías de excursiones científicas y de congresos realizados en la región. Además, debe constituirse un grupo de trabajo con colaboradores expertos, que serán seleccionados tras el análisis de la bibliografía referente al dominio geológico a inventariar. Posteriormente, la selección preliminar del lugar como LIG se realiza en base a la metodología *Delphi*, que consiste en una fase previa donde se procede a la selección de expertos, una segunda fase en la que se lanzan cuestionarios para valorar la sensibilidad geoconservacionista del encuestado, el grado de conocimiento personal y relevancia de los expertos, y obtener una lista de posibles LIG, que serán objeto de consideración en una segunda ronda de encuestas. Tras el tratamiento de la información, con los resultados obtenidos se procedería al estudio y descripción del LIG mediante fichas descriptivas y, por último, se realizaría la valoración del interés y selección definitiva, así como la valoración de la vulnerabilidad y la prioridad de protección.

Una vez finalizado el proceso y dependiendo de los resultados obtenidos, se puede proceder a la planificación y gestión del LIG, y su puesta en valor mediante diferentes mecanismos, tanto a nivel legislativo como divulgativo y/o educativo. Esta podría ser, por tanto, una forma de proteger y conservar esta geodiversidad que es parte del patrimonio natural del PNC, dando un valor a los depósitos marinos que son testimonio de los cambios globales acaecidos en el planeta tierra durante el Pleistoceno superior y Holoceno, y a sus formas de modelado costero, estudiados y descritos en esta memoria.

Esta caracterización de la geodiversidad costera en el PNC y su geoconservación como patrimonio geológico (definición de LIG-GEOSITES), abre un abanico de futuras investigaciones sobre este patrimonio natural en otros sistemas playa-duna, actuales y antiguos, en la isla de Fuerteventura y que son frecuentes en las otras islas orientales canarias (Gran Canaria, Lobos, Lanzarote y el archipiélago Chinijo) y, en menor proporción, en las islas occidentales (Tenerife, Gomera, La Palma y El Hierro).

8. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista metodológico, los análisis sedimentológicos, petrográficos, estratigráficos y geocronológicos realizados en los materiales sedimentarios y volcánicos de la costa del Parque Natural de Corralejo, han permitido obtener información sobre la textura, composición y procedencia de los componentes que forman las rocas y de los sedimentos detríticos, así como del ambiente de formación de los mismos y su evolución a lo largo del tiempo geológico.

En cuanto a las características texturales, se observan heterogeneidades en los dos subambientes, intermareal y supramareal. Además, a lo largo de la zona de estudio, las playas del Pozo y del Médano, situadas al norte del espacio natural, presentan tamaños de grano mayores, así como una mayor heterogeneidad en el contenido en carbonatos, que se explica porque forman parte de la zona de entrada de sedimentos, además de la mayor incidencia del oleaje por la orientación de la costa. En relación a los subambientes estudiados hay una mayor homogeneidad y mejor selección en los sedimentos de la zona supramareal (arenas eólicas) respecto a los de la zona intermareal (arenas de playa), lo que se relaciona con el carácter selectivo del agente de transporte, en este caso el viento.

La homogeneidad composicional, en cuanto al contenido en carbonatos de los sedimentos arenosos de las zonas intermareal y supramareal, demuestran el origen biogénico del Jable, y el estudio petrográfico indica una fuente de alimentación esencialmente marina, en la que predominan, entre otros componentes, bioclastos como los moluscos y mallas de algas coralíneas. En cuanto a los granos de arenas que aparecen en las rocas sedimentarias también predominan los componentes bioclásticos, aunque la presencia de intraclastos al norte del parque natural nos está indicando procesos de formación de detríticos terrígenos generados por la erosión del sustrato de calcarenitas antiguas. Por otro lado, la baja abundancia de litoclastos, tanto en los sedimentos arenosos como en las rocas sedimentarias, indica que los agentes de erosión y transporte no han actuado de manera significativa sobre los diferentes afloramientos que aparecen en la línea de costa actual durante el Pleistoceno superior y el Holoceno. También son raros los aportes de sedimentos detríticos asociados a unos barrancos incipientes que cruzan el PNC, con orientación oeste-este.

Atendiendo a los estudios mineralógicos, el análisis de los cementos de las rocas sedimentarias (calcarenitas y conglomerados) por medio de microsonda electrónica (EMPA) y microscopio electrónico de barrido (SEM), nos indica que la cementación es carbonatada cálcica, baja en carbonato magnésico y estroncio, con la cristalización de prismas de aragonito perpendiculares a los granos de arena (cemento isopaco). Esta cementación se ha producido en un ambiente

esencialmente marino, pudiendo haber ocurrido tanto en la zona intermareal como submareal durante el interglaciar actual (después de la última glaciación hace unos 18.000 años antes del presente).

Los materiales que predominan en la costa del Parque Natural de Corralejo son rocas calcareníticas y conglomerados, asociadas a diferentes ambientes de sistemas playa-duna, así como paleosuelos y rocas volcánicas. Los niveles de conglomerados marinos están relacionados con fases más energéticas que las rocas calcareníticas. Los paleosuelos marrones limo-arenosos con abundantes gasterópodos terrestres nos muestran fases más húmedas que las actuales y con mayor aporte de polvo sahariano. Las rocas volcánicas (basaltos olivínicos) del Pleistoceno medio son el substrato de todas las rocas sedimentarias y sedimentos sueltos actuales del PNC.

En cuanto al estudio estratigráfico de los distintos estratos que afloran en la costa del PNC, han podido interpretarse procesos geológicos de distintas características, que han actuado recientemente en esta zona. Además, se han interpretado diferentes ambientes de formación de estos depósitos, que de manera indirecta nos han dado información sobre las variaciones relativas del nivel del mar en épocas recientes: transgresión marina en el último interglaciar (OIS1) con subidas del nivel del mar después del periodo de regresión marina asociado a la última glaciación terrestre (OIS 2).

La determinación de edades mediante las técnicas del C14 en *Patellas* del conglomerado marino de la playa del Médano y de aminocronología sobre gasterópodos terrestres del género *Theba* en los paleosuelos del PNC, han permitido establecer el orden temporal de la secuencias de los materiales estudiados, facilitando la interpretación de la historia geológica de los mismos. De esta manera, se han podido establecer correlaciones con los estadios isotópicos y relacionar los depósitos sedimentarios con los diferentes periodos climáticos recientes.

Asimismo, se ha podido comprobar que la utilización de la aminocronología como técnica de datación, valida los datos obtenidos por otros autores, dando fiabilidad a esta técnica para los gasterópodos terrestres que aparecen frecuentemente en niveles de paleosuelos y paleodunas en Canarias.

Además de las dataciones realizadas, este trabajo de investigación aporta datos novedosos sobre el análisis petrológico de los materiales sedimentarios que afloran en la costa del Parque Natural de Corralejo. Hasta el momento, se habían realizado estudios sedimentológicos y geomorfológicos en este espacio, y se ha comprobado que la petrografía es una técnica analítica que da información fiable sobre el origen de los granos detríticos que conforman los depósitos arenosos y

conglomeráticos. En este sentido, el estudio de la naturaleza y procedencia de los granos de arena y cementos carbonatados abre un abanico de posibilidades en un futuro para llevarse a cabo en otros afloramientos asociados a sistemas playa-duna, tanto actuales como antiguos, de las islas canarias orientales y occidentales, y que no han sido todavía caracterizados petrográficamente.

Con la caracterización de los depósitos sedimentarios y volcánicos, que han sido objeto de este estudio, se ha contribuido a un mejor conocimiento de la geodiversidad costera en el PNC. A su vez, se ha establecido un lugar que podría ser de interés (científico, educativo y turístico) en la playa del Médano y que queda propuesta para en un futuro proceder a su valoración utilizando la metodología recopilada en el IELIG del IGME, sobre Lugares de Interés Geológico (LIG) de importancia municipal (municipio de La Oliva) e insular (Fuerteventura).

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, I, Jiménez, J.A. y Valdemoro, H.I. (2006): Estudio del estado actual de los sistemas dunares de Corralejo y Jandía (Fuerteventura). Identificación de problemas y propuestas de actuación. Informe I, Corralejo. *Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente*.

Alonso, I., Sánchez, I., Mangas, J., Rodríguez, S., Medina R. y Hernández L. (2008): Caracterización textural y composicional de las playas del sector meridional de Gran Canaria. Consideraciones sobre el transporte de sedimentos. *Geotemas*, Vol. 10, 495-498.

Alonso-Zarza, A.M.; Genise, J.F.; Cabrera, M.C.; Mangas, J.; Martín-Pérez, A.; Valdeolmillos, A. y Dorado-Valiño M. (2008): Megarhizoliths in Pleistocene aeolian deposits from Gran Canaria (Spain): Ichnological and palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol.265, 39-51.

Ancochea, E., Barrera, J.L., Bellido, F., Benito, R., Brändle, J.L., Cebriá, J.M., Coello, J., Cubas, C.R., De la Nuez, J., Doblás, M., Gómez, J.A., Hernán, F., Herrera, R., Huertas, M.J., López-Ruiz, J., Martí, J., Muñoz, M. y Sagredo, J. (2004): Geología de España. J. Vera (ed.), SGE-IGME, Madrid, pp. 635-651.

Aranda Millán, F., (1909): Sobre Moluscos de Lanzarote (Canarias). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 9, pp. 112-114.

Arribas, J. (2010): Análisis de la procedencia en depósitos arenosos. En: "Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria" (Ed. A. Arche). Servicio de publicaciones del CSIC, pp. 397-441.

Arribas, J., Alonso, A., Pagés, J.L. y González-Acebrón, L. (2010): Holocene transgression recorded by sand composition in the mesotidal Galician coastline (NW Spain), *The Holocene*, 20(3), pp. 375-393.

Barentino, D., Wimbledon, W.A.P. y Gallego, E. (eds) (2000): Patrimonio geológico: conservación y gestión. Ed. IGME, Madrid, 227 pp.

Benítez Padilla, S. (1945): Ensayo de síntesis geológica del Archipiélago Canario. *El Museo Canario* 14, pp. 9-38.

Blott, S. y Pie, K. (2001): GRADISTAT. A grain size distribution and statistics package for the analysis unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp. 1237-1248.

Cabrera, L. (2010): Sedimentología, estratigrafía, dinámica sedimentaria y evolución de El Jable (Lanzarote). Propuesta de Gestión. *Tesis de Doctoral*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 252 pp.

Calvet, F., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Mangas, J., Pérez-Torrado, F.J., Recio, C. y Travé, A. (2003): Beachrocks from the island of La Palma (Canary Islands, Spain). *Marine Geology*, 197, pp. 75-93.

Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2007): Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Ed. IGME, Madrid. *Cuadernos del Museo Geominero*, nº 7. 360 pp.

- Coello, J., Cantagrel, J.M., Hernán, F., Fúster, J.M., Ibarrola, E., Ancochea, E., Casquet, C., Jamond, C., Díaz de Terán, J.R. y Cendrero, A. (1992): Evolution of Eastern Volcanic Ridge of the Canary Islands based on new K-Ar data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 53, pp. 251-274.
- Criado, C. (1986): Niveles marinos holocenos, formas de modelado y volcanismo subreciente en la costa oriental de Fuerteventura. *Revista de Historia de Canarias*, 175, pp. 723-732.
- Criado, C. (1987): Evolución geomorfológica y dinámica actual del Jable de Corralejo, Fuerteventura. *Revista Geografía Canaria*, 2, pp. 29-52.
- Criado, C., Guillou, H., Torres, J.M., Hansen, A., Hansen, C., Lillo, P. y Naranjo, A. (2004): Geomorphological evolution of Parque Natural de las Dunas de Corralejo (Fuerteventura, Canary Islands). En: *Contribuciones recientes sobre Geomorfología* (G. Benito y A. Díez, eds). SEG, pp. 292-297.
- Criado, C., Guillou, H., Hansen, A., Lillo, P., Torres, J.M., Bethencourt, J.F. y Naranjo, A. (2007): Mapa geomorfológico del Parque Natural de las Dunas de Corralejo (Fuerteventura). *XIII Jornadas de estudio de Lanzarote y Fuerteventura*, tomo II, pp. 399-427.
- Criado, C., Yanes, A., Hernández, L. y Alonso, I. (2011): Origen y formación de los depósitos eólicos en Canarias. En: *Las dunas en España*. (E. Sanjaume y F.J. Gracia, eds). SEG, pp.447-465.
- Criado, C., Torres, J.M., Hansen, A., Lillo, P. y Naranjo, A. (2012): Intercalaciones de polvo sahariano en paleodunas bioclásticas de Fuerteventura (Islas Canarias). *Cuaternario y Geomorfología*, 26 (1-2), pp. 73-78.
- Crofts, R. (1967): Raised Beaches and Chronology in North West Fuerteventura, Canary Islands. *Quaternaria* 9, pp. 247-260.
- De Oliveira Caldas, L.H., Stattegger, K. Y Vital, H. (2006): Holocene sea-level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. *Marine Geology*, 228, pp. 39-53.
- Déniz González, I. y Mangas, J. (2010): Inventario y valoración de los Lugares de Interés Geológico en la Costa de Arucas (N de Gran Canaria). Ed. IGME, En: P. Florido e I. Rábano (Eds.), Una visión multidisciplinar del patrimonio geológico y minero. *Cuadernos del Museo Geominero*, nº 12, pp.75-89.
- Déniz González, I. y Mangas, J. (2012): Lugares de interés geológico en la costa de Las Palmas de Gran Canaria (Islas Canarias): Inventario y valoración. *Geotemas*, v13, pp.1253-1256.
- Folk, K. y Ward, W. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, pp.3-26.
- Font, Y. y Calvet, F. (1997): Beachrocks Holocenos de la Isla de la Reunión, Océano Índico. *Cuadernos de geología Ibérica*, 22, pp. 81-102.

Fritsch K, von (1867): Reisebilder von den Canarischen Inseln. *Petermann's geographischen Mittheilungen*, pp. 22, 1-43.

Fúster, J.M., Hernández-Santín, D. y Sagredo, J. (1968): Geología y vulcanología de las Islas Canarias: Fuerteventura. Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C., 239 pp.

García-Cortés, A. (Ed.) (2008): Contextos geológicos españoles. Una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. Ed. IGME. 235 pp.

Gobierno de Canarias. (2006): Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de Corralejo. Dirección General de Ordenación del territorio. *Documento Informativo*.

Grunau, H.R., Lehner, P., Cleintuar, M.R., Allenbach, P. y Bakker, G. (1975): New radiometric ages and seismic data from Fuerteventura (Canary Islands), Maio (Cape Verde Islands) and Sao Tomé (Gulf of Guinea). En: Borraille GJ et al. (eds). *Progress in Geodynamics, Royal Society Nether. Akad. Arts. Sci*, pp. 89-116.

Guillou, H., Carracedo, J.C., París, R., Torrado, F.J.P. (2004): Implications for the early shieldstage evolution of Tenerife from K/Ar ages and magnetic stratigraphy. *Earth and Planetary Science Letters*, v222, pp.599-614.

Hartung, G. (1864): Geologische Beschreibung der Insel Madeira und Porto Santo. Leipzig

Hausen, H. (1958): Contribución al conocimiento de las formaciones sedimentarias de Fuerteventura (Islas Canarias). *Anuario de Estudios Atlánticos* 4, pp. 37-83.

Hernández-Pacheco, E. (1909): Estudio geológico de Lanzarote y de las isletas canarias. *Memorias de la Real Sociedad española de Historia natural* 6, pp. 107-342.

Hernández, L. y Mangas, J. (2004): Caracterización de los materiales sedimentarios aflorantes en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria). En: *Procesos geomorfológicos y evolución costera* (R. Blanco-Chao, J. López-Bedoya y A. Pérez-Alberti). Universidad de Santiago de Compostela, 67-81.

Ibarrola, E., Ancochea, E., Casquet, C., Fúster, J.M., Hernán, F., Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R., Cantagrel, J.M. y Jamond, C. (1989): Cronoestratigrafía de las series volcánicas postmiocenas de Fuerteventura. *ESF. Meeting on Canarian Volcanism*, pp. 134-138.

IGME (2004): Mapa geológico de España, escala 1:25.000. Hoja 1086-I, 1087-II, El Tostón-Corralejo. Isla de Fuerteventura. IGME, Madrid, Memoria 90 pp.

IGME (2009): Documento metodológico del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Versión 11. Ministerio de Ciencia e Innovación. 61 pp.

Kelletat, D. (2006): Beachrock as Sea-Level Indicator? Remarks from a Geomorphological Point of View. *Journal of Coastal Research*, 22, pp. 1558-1564.

Kindler, P. y Bain, R.J. (1993): Submerged upper Holocene beachrock on San Salvador Island, Bahamas: implications for recent sea-level history. *Geol. Rundsch*, 82, pp. 241-247.

- Klug, H. (1968): Morphologische Studien auf den Kanarischen Inseln. Beiträge zur küstenentwicklung und Talbildung auf einem vulkanischen Archipel. *Schriften des geographische Instituts der Universität Kiel* 24(3), pp. 1-184.
- Kneale, D. y Viles, H.A. (2000): Beach cement: incipient CaCO₃-cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland. *Sedimentary Geology*, 132, pp. 165-170.
- Krumbein, W.C. (1934): Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4, pp. 65-77.
- Lamolda, M.A. (Ed.) (2005): Geociencias, recursos y patrimonios geológicos. IGME, Madrid. 210 pp.
- Larson, R., Morang, A. y Gorman, L. (1997): Monitoring the coastal environment; part II: Sediment sampling and geotechnical methods. *Journal of Coastal Research*, 13, pp. 308-330.
- Lecointre, G., Tinkler, K.J. y Richards, H.G. (1967): The marine Quaternary of the Canary Islands. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 119, pp. 325-344.
- Mangas, J., Cabrera, L.L., Menéndez, I. y Alonso, I. (2008): Beachrock, biolilita y sedimentos arenosos costeros en la playa de Famara (NE de Lanzarote). *Geo-Temas*, 10, pp. 559-562.
- Mangas, J., Pérez-Chacón, E., Hernández-Calvento, L. y Menéndez, I. (2011): Main features of the beachrock outcropping in the Salado Beach, La Graciosa Island (Canary Islands), Meeting of Sedimentology, T2a Coastal environments. Zaragoza, Spain.
- Mangas, J., Pérez-Chacón, E., Hernández-Calvento, L., Menéndez, I. y Rodríguez, S. (2012): Procedencia y características texturales de las arenas eólicas costeras en la isla de la Graciosa (Islas Canarias). *Geotemas*, pp. 577-580.
- Marques, M. y De Ros, L.F. (2006): Cementation patterns and genetic implications of Holocene beachrocks from northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, 192, pp. 207-230.
- Meco, J. (1975): Los niveles con 'Strombus' de Jandía, Fuerteventura. Islas Canarias. *An. Est. Atlánticos*, 21, pp. 643-660.
- Meco, J. (1977): Paleocostas de Canarias. El Museo Canario. Las Palmas de Gran Canaria, 26pp.
- Meco, J. (1981): Neogastrópodos fósiles de las Canarias orientales. *Anuario de Estudios Atlánticos* 27, pp. 601-615.
- Meco, J. (1982): Los Bivalvos fósiles de las Canarias orientales. *Anuario de Estudios Atlánticos* 28, pp. 65-125.
- Meco, J. (1983): Los Bivalvos fósiles de las Canarias orientales (Suplemento). *Anuario de Estudios Atlánticos* 29, pp. 579-595.

Meco, J., Pomel, R.S., Aguirre, E. y Stearns, C.E. (1986): Depósitos marinos del Cuaternario reciente de Canarias. En Meco, J. y Petit-Maire, N. (Eds.). *El Cuaternario reciente de Canarias*. Las Palmas-Marsella, pp.6-42.

Meco, J. (1988): The emergent littoral deposits in Fuerteventura and the evolution of the Canarian marine faunas during the Quaternary. In: *Deserts, Past and Future Evolution. IGCP-252 Fuerteventura* (Petit-Maire editor). LGQ – CNRS. Marseille, pp. 166-178.

Meco, J., Petit-Marie, N., Fontugne, M., Shimmield, G. y Ramos, A.J. (1997): The Quaternary Deposits in Lanzarote and Fuerteventura (Eastern Canary Islands, Spain). En: J. Meco y N. Petit-Maire (eds), *Climates of the Past*. International Union of Geological Sciences, UNESCO y ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 123-136.

Meco, J., Guillou, H., Carracedo, J.C., Lomoschitz, A., Ramos, A.J. y Rodriguez-Yanes, J.J. (2002): The maximum warmings of the Pleistocene world climate recorded in the Canary Islands. *Palaeogeography, Paleoclimatology and Palaeocology*, 185, pp. 197-210.

Meco, J., Ballester, J., Betancort, J.F., Scaillet, S., Guillou, H., Lomoschitz, A., Carracedo, J.C., Petit-Maire, N., Cilleros, A., Medina, P., Soler-Onís, E. y Meco, J.M. (2005): *Paleoclimatología del Neógeno en las Islas Canarias. Mioceno y Plioceno*. Ministerio de Medio Ambiente – Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones de la ULPGC. Las Palmas.

Meco, J., Ballester, J., Betancort, J.F., Cilleros, A., Scaillet, S., Guillou, H., Carracedo, J.C., Lomoschitz, A., Petit-Maire, N., Ramos, A.J.C., Perera, N., y Meco, J.M. (2006): Paleoclimatología del Neógeno en las Islas Canarias. Geliense, Pleistoceno y Holoceno. *Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Las Palmas de G.C.*, 203pp.

Müller, G. y Tietz, G. (1966): Recent Dolomitization of Quaternary Biocalcarenites from Fuerteventura (Canary Islands). *Contributions to Mineralogy and Petrology / Beiträge zur Mineralogie und Petrologie* 13, pp. 89-96.

Neumeier, U. (1999): Experimental modelling of beachrock cementation under microbial influence. *Sedimentary Geology*, 126, pp. 35-46.

Petit-Maire, N., Delibrias, G., Meco, J., Pomel, S. y Rosso, J.C. (1986): Paléoclimatologie des Canaries orientales (Fuerteventura). *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris* 303, pp.1241-1246.

Rey, D., Rubio, B., Bernabeu, A.M. y Vilas, F. (2004): Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex (Ria de Arousa, Galicia, NW Spain). *Sedimentary Geology*, 169, pp. 93-105.

Rona, P.A. y Nalwalk A.J. (1970): Post-Early Pliocene Unconformity on Fuerteventura, Canary Islands. *Geological Society of America Bulletin* 81, pp. 2117-2122.

Rossi, G. (1988): Un exemple d'utilisation d'une défense naturelle contre l'érosion littorale: le grès de plage. *Revue de Géomorphologie dynamique*, 37, pp. 1-10.

Rothpletz, A. y Simonelli, V. (1890): Die marinen Ablagerungen auf Gran Canaria. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft* 42, pp. 677-736.

Sánchez, I., (2010): Los foraminíferos de los distintos ambientes sedimentarios de Maspalomas: Plataforma, playas, dunas, lagoon costero y materiales subyacentes. Aportaciones al origen y evolución de este sistema. *Tesis doctoral*, Universidad de las Palmas de G.C., 240pp.

Spurgeon, D., Davis, R.A. y Shinnu, E.A. (2003): Formation of 'Beach Rock' at Siesta Key, Florida and its influence on barrier island development. *Marine Geology*, 200, pp. 19-29.

Vousdoukas, M.I., Velegrakis, A.F. y Plomaritis, T.A. (2007): Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, 85, pp. 23-46.

Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, pp. 377-392.

Wiesmann, M., Nehring, K. (1951): *Agrikulturrechemisches Praktikum*. Paul Parcy. Berlín.

Zazo, C., Hillaire-Marcel, C., Goy, J.L., Ghaleb, B. y Hoyos, M. (1997): Cambios del nivel del mar-clima en los últimos 250 ka (Canarias Orientales, España). *Boletín Geológico y Minero* pp. 108, 487-497.

Zazo, C., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Gillot, P., Soler, V., Gonzalez, J.A., Dabrio, C.J. y Ghaleb, B. (2002): Raised marine sequences of Lanzarote and Fuerteventura revisited a reappraisal of relative sea level changes and vertical movements in the Eastern Canary Islands during the Quaternary. *Quaternary Science Reviews* 21, pp. 2019-2046.

Anexos





Columna Estratigráfica S-1

Parque Natural de Corralejo
(Fuerteventura)

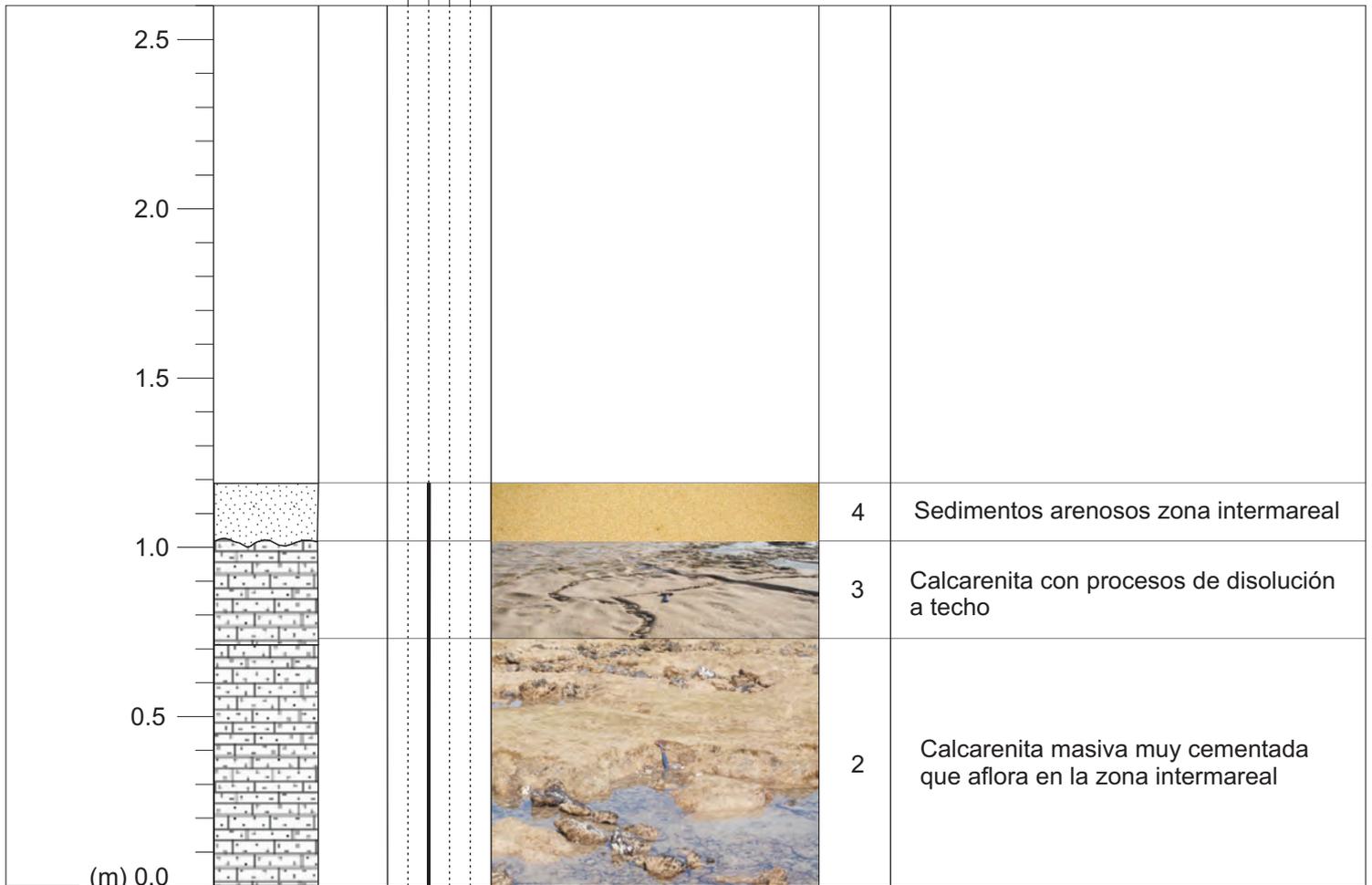
Localización: Playa del Pozo

Litología
Contenido fósil /
Estructuras sedimentarias
Fango Lutitas
Arena Arenitas
Grava Conglomerados
Bloque Aglomerados

Fotografía

Muestra CORR_BR

Descripción Litológica



Litología

- Calcarenita
- Arenas
- Eolianita
- Paleosuelo

- Conglomerado
- R. Volcánicas básicas
- Bloques sueltos

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

- Imbricación de cantos o bloques
- Estratificación cruzada
- Ootecas de insectos
- Gasterópodos marinos
- Gasterópodos terrestres
- Bivalvos



Columna Estratigráfica S-3

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)

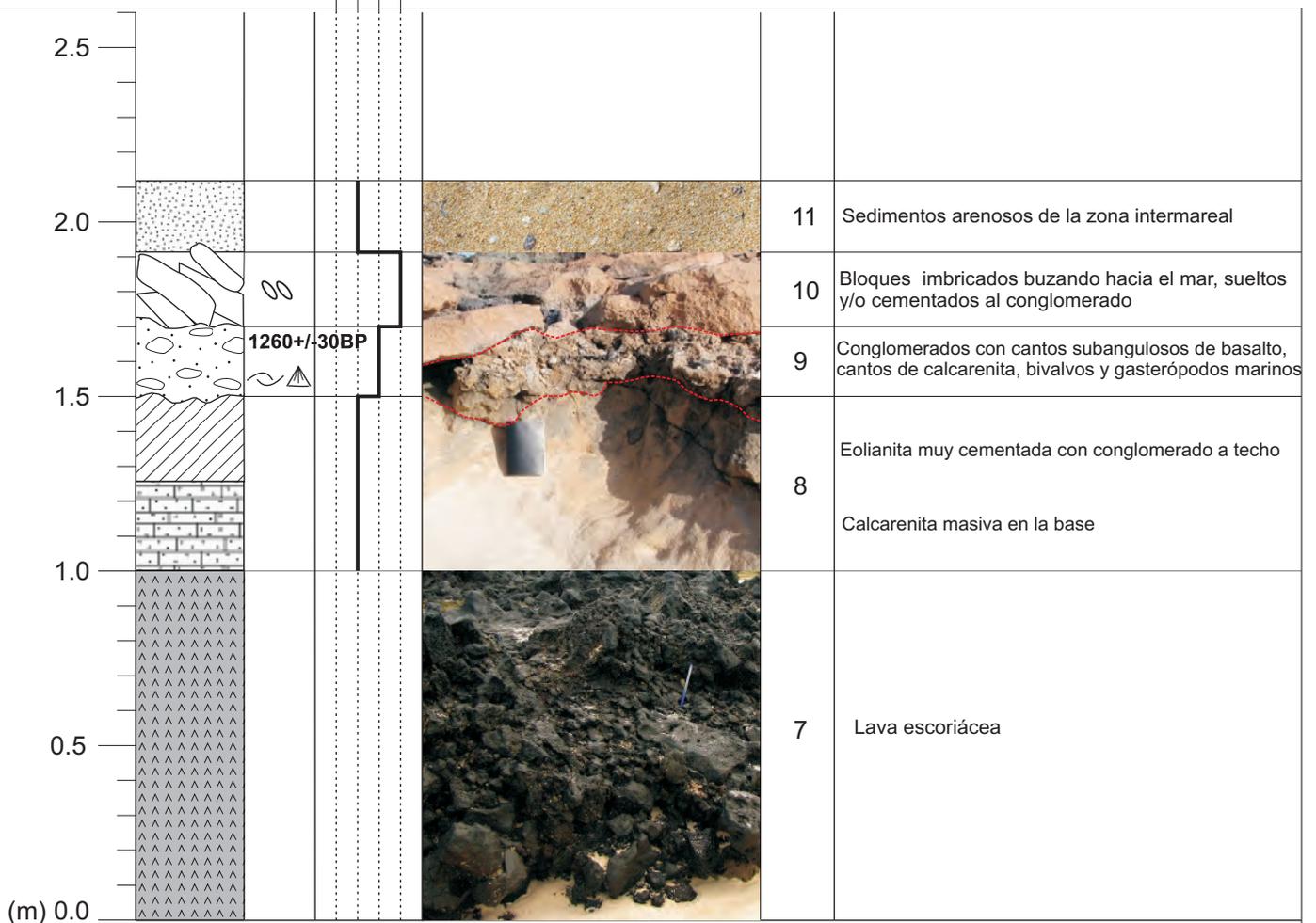
Localización: Playa del Médano

Litología
Contenido fósil /
Estructuras sedimentarias
Fango Lutitas
Arena Arenitas
Grava Conglomerados
Bloque Aglomerados

Fotografía

Muestra CORR_BR

Descripción Litológica



Litología

| | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

| | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |



Columna Estratigráfica S-4

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)

Localización: Playa del Viejo



Litología

| | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Arenisca | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

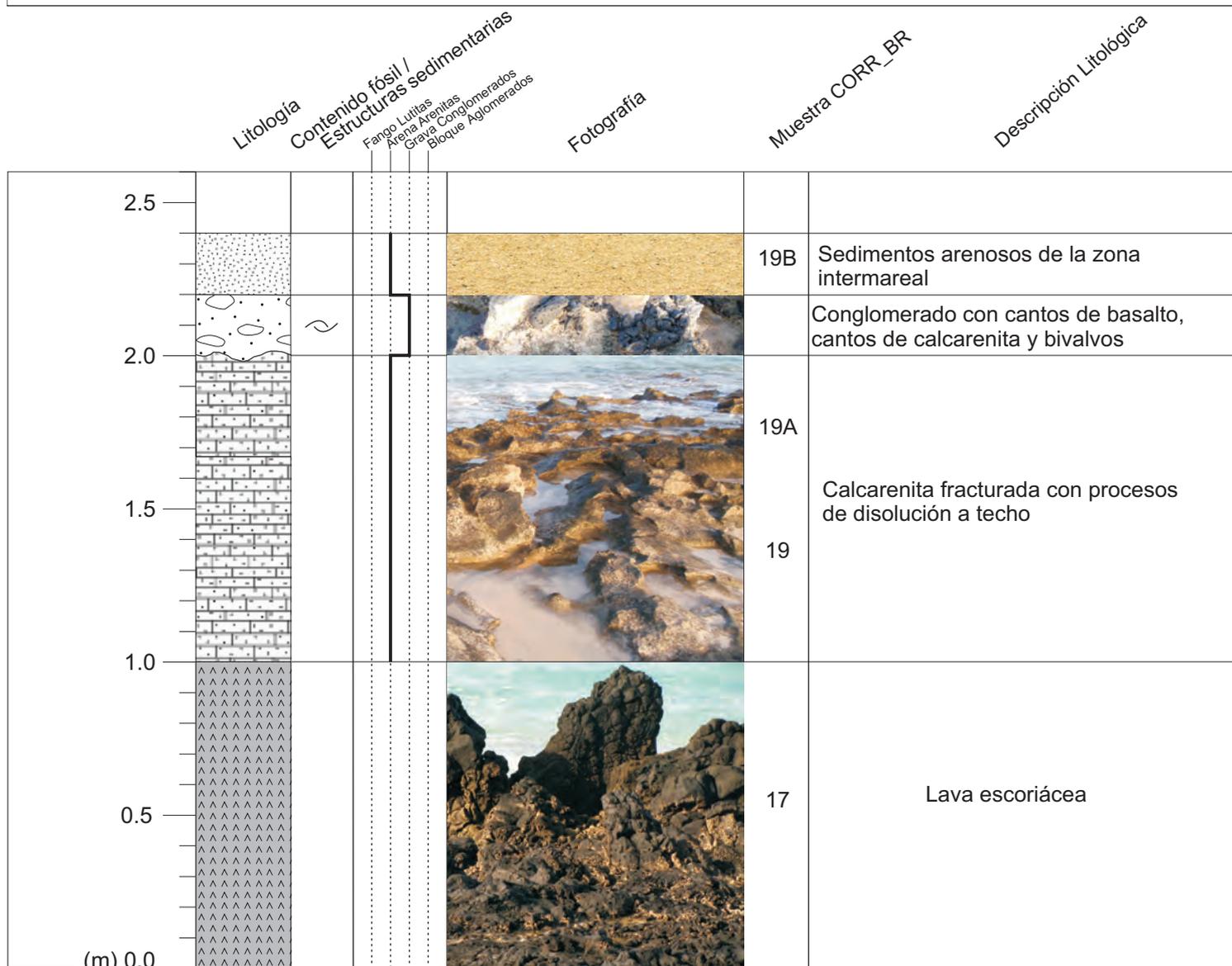
| | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |



Columna Estratigráfica S-5

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)

Localización: Playa del Bajo Negro



Litología

| | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

| | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |

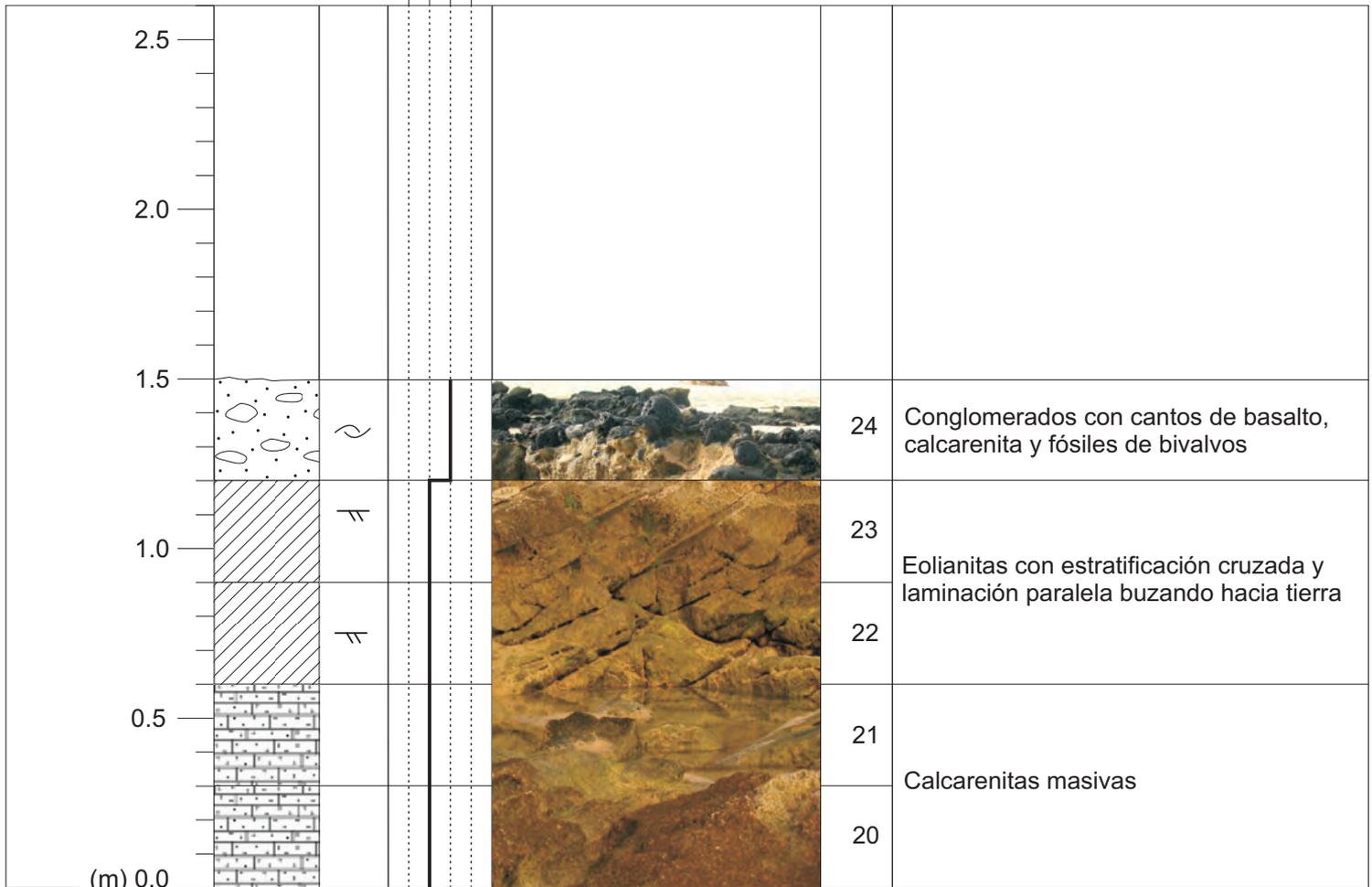


Localización: Playa Larga

Columna Estratigráfica S-6

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)

Litología Contenido fósil / Estructuras sedimentarias Fotografía Muestra CORR_BR Descripción Litológica



Litología

- | | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

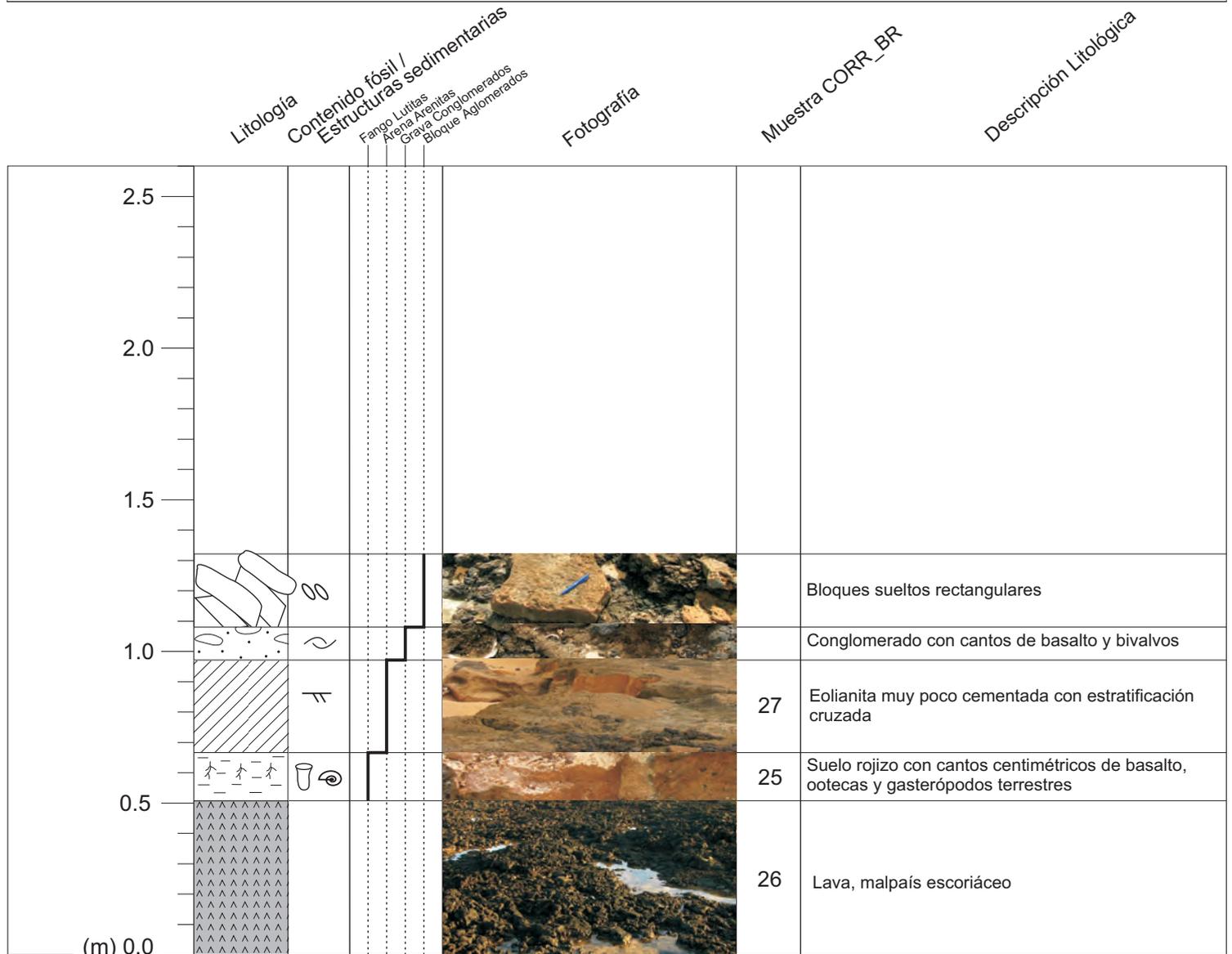
- | | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |



Localización: Bajo Los Matos

Columna Estratigráfica S-7

Parque Natural Dunas de Corralejo (Fuerteventura)



Litología

- | | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

- | | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |

Columna Estratigráfica S-8

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)



Localización: Bajo Los Matos

| Litología | Contenido fósil / Estructuras sedimentarias | | | Fotografía | Muestra CORR_BR | Descripción Litológica |
|-----------|---|---------|--------|------------|-----------------|--|
| | Fango | Lutitas | Arenas | | | |
| 2.5 | | | | | | |
| 2.0 | | | | | 30 | Sedimentos arenosos de la zona intermareal |
| 1.5 | | | | | 29 | Conglomerado con cantos de basalto y bivalvos que se apoya sobre las calcarenitas y sobre las eolianitas |
| 1.0 | | | | | 28 | Eolianita con estratificación cruzada y ootecas de acrídidos |
| 0.5 | | | | | | Lava, malpaís escoriáceo |
| (m) 0.0 | | | | | | |

Litología

| | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerados |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

| | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |

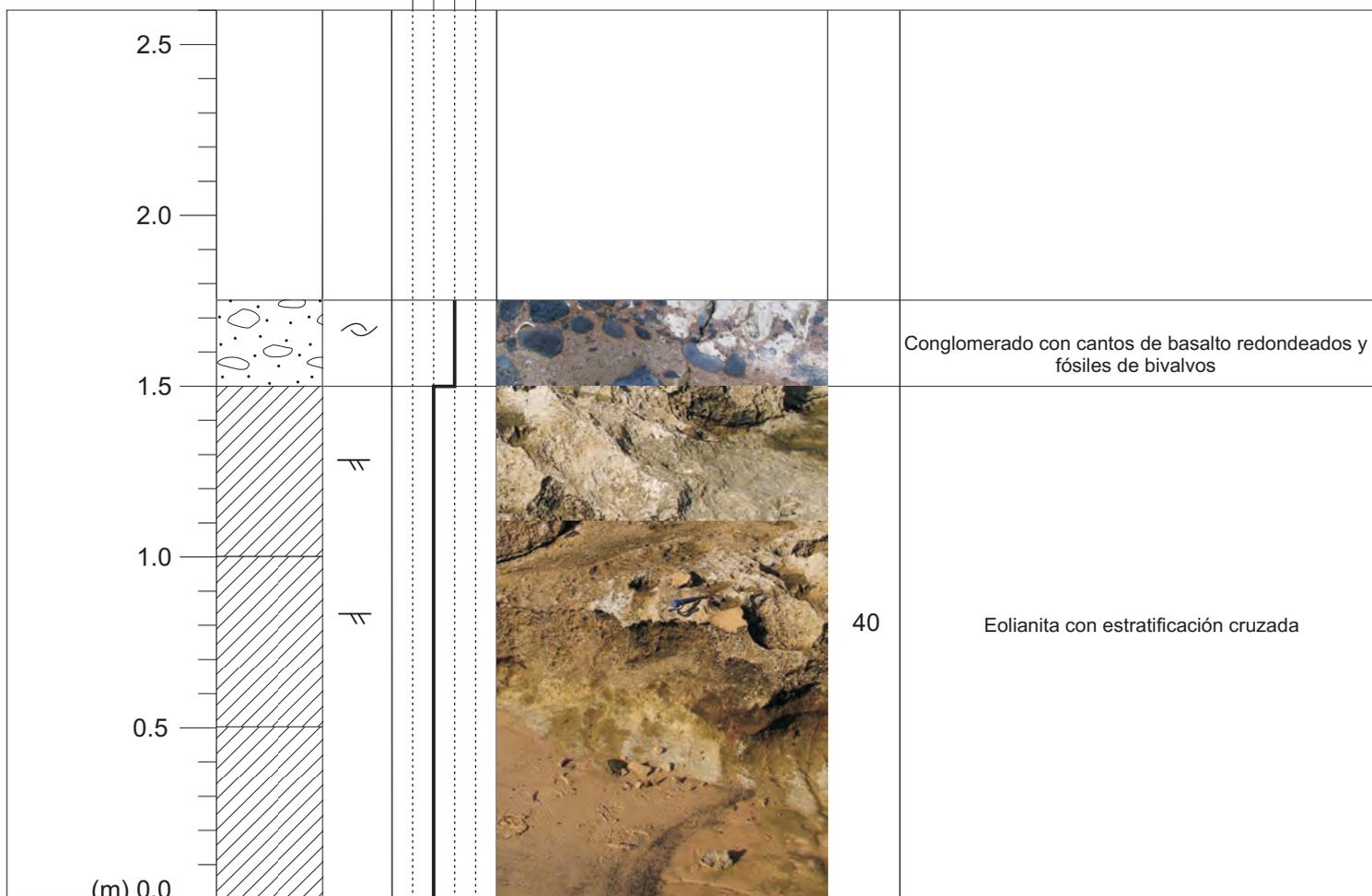


Localización: Los Lavaderos

Columna Estratigráfica S-9

Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura)

Litología Contenido fósil / Estructuras sedimentarias Fotografía Muestra CORR_BR Descripción Litológica



Litología

- | | | | |
|--|-------------|--|-----------------------|
| | Calcarenita | | Conglomerado |
| | Arenas | | R. Volcánicas básicas |
| | Eolianita | | Bloques sueltos |
| | Paleosuelo | | |

Contenido fósil y estructuras sedimentarias

- | | |
|--|---------------------------------|
| | Imbricación de cantos o bloques |
| | Estratificación cruzada |
| | Ootecas de insectos |
| | Gasterópodos marinos |
| | Gasterópodos terrestres |
| | Bivalvos |