

Caracterización de unidades de progradación litoral mediante georradar: la playa de Carchuna (Granada, SE de España)

Characterization of progradational units in a coastal plain using ground-penetrating radar: Carchuna Beach (Granada SE Spain)

Javier Rey¹, Julián Martínez², M^a Carmen Hidalgo¹, Rosendo Mendoza² y M^a José Campos¹

¹Dpto. de Geología. EPS de Linares, Universidad de Jaén. Campus Científico Tecnológico, 23700 Linares, Jaén. jrey@ujaen.es; chidalgo@ujaen.es; mjcampos@ujaen.es

²Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. EPS de Linares, Universidad de Jaén. Campus Científico Tecnológico, 23700 Linares, Jaén. jmartine@ujaen.es; rmendoza@ujaen.es

ABSTRACT

This paper analyses the internal structures of the progradational units developed in Carchuna Beach (Granada, SE Spain) after the maximum Holocene transgression. Geophysical prospecting techniques have been used, in particular ground-penetrating radar, with 100 and 250 MHz shielded antennas. The limitation of the method in penetration depth has been conditioned by the position of the water table (which attenuates the signal) and the saturation in seawater of the sediments at the shoreline (which prevents the penetration of the electromagnetic wave). The study has allowed us to detect typical sedimentary structures of progradation of coastal dunes towards the SE, linked to a regressive pulse. Laminations associated with foreset and topset were identified. In the area closest to the shoreline, laminations sloping towards the sea appear, characterizing the actual foreshore area.

Key-words: coastal plain, progradational units, Ground Penetrating Radar, Holocene, Carchuna.

Geogaceta, 67 (2020), 95-98
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

Al sur de la península Ibérica, el máximo de la transgresión holocena se registró hace unos 6500 años (Zazo *et al.*, 2008; Rodríguez-Ramírez *et al.* 2015). A partir de ese momento, las oscilaciones del nivel del mar fueron mínimas, manteniéndose próximo al actual (Zazo *et al.*, 1998, 2008). En zonas con una pequeña tendencia a la elevación y un aporte adecuado de sedimentos, se inició el desarrollo de dos fases de progradación costera, caracterizadas por la formación de flechas litorales, separadas por un hiato erosivo, cuya datación lo sitúa hace unos 2400 años (Zazo *et al.*, 1994, 1998). Existen estudios de sismica de alta resolución en los que se intenta correlacionar estas unidades de progradación de la llanura costera con cuñas progradantes en la zona infralitoral (Fernández Salas *et al.*, 2009).

La playa de Carchuna, en la provincia de Granada, ha sido uno de los aflora-

mientos en los que se han centrado las investigaciones de estas flechas litorales o unidades de progradación de la llanura costera (Lario *et al.*, 1999; Ortega-Sánchez *et al.*, 2002; 2014; Fernández-Salas *et al.*, 2009). Esta playa tiene unos 4 km de longitud y está limitada al oeste por el cabo Sacratif y al este por la punta de Cerro Gordo (Fig.1a).

Geológicamente en el sector se diferencian dos conjuntos: un basamento metamórfico infrayacente y la cobertera sedimentaria que constituye la actual llanura costera. El basamento metamórfico forma parte del Complejo Alpujárride de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas y está constituido por esquistos paleozoicos, filitas permotriásicas y mármoles triásicos (Aldaya, 1981). A su vez, en los sedimentos detríticos de la llanura costera, se diferencian dos unidades. Por un lado, los depósitos conglomeráticos cartografiados en la zona norte y en el fondo de los barrancos (Fig. 1a), que se

RESUMEN

En este trabajo se analizan las estructuras internas de los cordones litorales desarrollados en la playa de Carchuna (Granada, SE de España) tras el máximo transgresivo del Holoceno. Para ello se han utilizado técnicas geofísicas, en concreto georradar, con antenas apantalladas de 100 y 250 MHz. La limitación del método en profundidad ha estado condicionada tanto por la posición del nivel freático (que atenúa la señal) como por la saturación en agua salada en los sedimentos de la línea de costa (que impide la penetración de la onda electromagnética). El estudio ha permitido detectar estructuras sedimentarias típicas de progradación de dunas costeras hacia el SE, en relación con un pulso regresivo. Se interpretan laminaciones asociadas al foreset y al topset. En la zona más próxima a la orilla aparecen laminaciones inclinadas hacia el mar, propias de la zona del foreshore actual.

Palabras clave: llanura costera, unidades de progradación, georradar, Holocene, Carchuna.

Fecha de recepción: 27/03/2019
Fecha de revisión: 17/10/2019
Fecha de aceptación: 22/11/2019

interpretan como depósitos aluviales de edad Pleistoceno-Holoceno medio (Aldaya, 1981). Por otro lado, al sur, en la zona litoral, existen facies de arenas y gravas de edad holocena que se asociarían a unidades de progradación de la llanura costera (Lario *et al.*, 1999; Fernández-Salas *et al.*, 2009). A partir de la fotointerpretación y de dataciones de ¹⁴C, Zazo *et al.* (1994) consideran que estas estructuras se generaron con posterioridad al máximo transgresivo del Holoceno, señalando además hasta cuatro unidades progradantes, separadas entre sí por episodios erosivos.

Una de las particularidades de esta playa es la de no estar asociada a la desembocadura de ríos con tasas significativas de aportes. Por el contrario, el aporte sedimentario se relaciona con la deriva litoral regional hacia el oeste-suroeste desde el río Adra (Lario *et al.*, 1999). Otra de las particularidades a destacar de esta playa es la barrera que forma el cabo Sacratif, que condiciona la

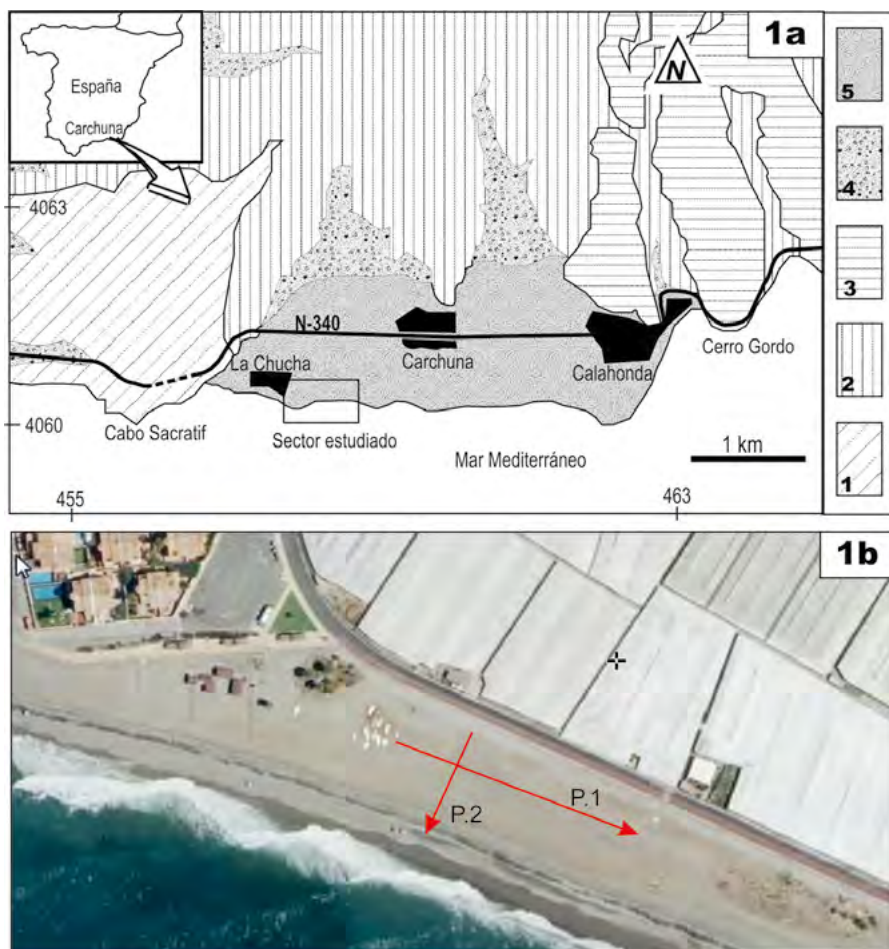


Fig. 1.- a) Localización geológica del sector estudiado (basado en Aldaya, 1981). 1. Esquistos y cuarcitas paleozoicas. 2. Cuarcitas y filitas permotriásicas. 3. Mármoles triásicos. 4. Conglomerados cuaternarios. 5. Arenas y gravas cuaternarias. b) Localización de los perfiles de GPR representados en la figura 3 (P.1 y P.2). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- a) Geological location of the studied sector (from Aldaya, 1981). 1. Palaeozoic schists and quartzites. 2. Permotriassic quartzites and phyllites. 3. Triassic marbles. 4. Quaternary conglomerates. 5. Quaternary sands and gravels. b) Location of the GPR profiles represented in figure 3 (P.1 and P.2). See color figure in the web.

formación de las unidades de prograda-
ción hacia el este anteriormente men-
cionadas (Lario *et al.*, 1999).

A pesar de los estudios realizados, la
morfología de estos cuerpos no ha po-
dido ser descrita ya que se encuentran
parcialmente cubiertos por depósitos
aluviales. Por ello, en este trabajo se pre-
tende caracterizar la estructura interna
de esta unidad litoral utilizando técnicas
de investigación indirectas, mediante el
georradar (*Ground Penetrating Radar* o
GPR).

Las técnicas de georradar se utilizan
para la caracterización de las estructuras
internas de cuerpos sedimentarios, y en
concreto, para el estudio de campos de
dunas litorales (Nordstrom, *et al.*, 1990;
Bristow *et al.*, 2000; Gómez-Ortiz *et al.*,
2009; Clemmensen y Nielsen, 2010; Mo-
rales *et al.*, 2017).

Material y Métodos

Como método de prospección geofí-
sica se ha utilizado el *Ground Penetrating Radar* (GPR). Este es un método no
destruccionista que se basa en el estudio de
la propagación en el subsuelo de ondas
electromagnéticas de alta frecuencia. La
profundidad de penetración y la resolu-
ción dependerán de las propiedades
eléctricas-magnéticas de los materiales
atravesados, así como de la frecuencia de
la señal electromagnética emitida por la
antena utilizada: si se emplean antenas
de mayor frecuencia, se obtiene más re-
solución y menor profundidad de pene-
tración, y a la inversa al disminuir la fre-
cuencia (Davis y Annan, 1989).

El equipo empleado en este estudio
fue el *RAMAC/GPR system*, modelo Pro-
Ex, fabricado por MALA GEOSCIENCE
[<http://www.malags.com/home>]. La di-

rección de los perfiles ha sido tanto pa-
ralela como perpendicular al litoral (Fig.
1b). En todos los ensayos se han emplea-
do antenas apantalladas, de 100 MHz y
250 MHz (Fig. 2).

Como programa de adquisición
de datos se ha utilizado el *Ground Vi-
sion* [[http://www.ingeadav.fcen.uba.ar/
Curso/prospeccion%20geofisica/Mar-
tingarcia/Georradar/GroundVision%20
Manual.pdf](http://www.ingeadav.fcen.uba.ar/Curso/prospeccion%20geofisica/Martingarcia/Georradar/GroundVision%20Manual.pdf)]. El programa permite elegir,
para cada registro, la configuración de
los parámetros de medida, por lo que se
puede seleccionar la frecuencia de mues-
treo de la antena, la ventana de tiempo
del registro, el número de muestras por
traza o el tiempo cero de registro. Así, se
han utilizado una frecuencia de muestreo
de 1089 MHz y de 2540 MHz (para la an-
tena de 100 MHz y 250 MHz, respectiva-
mente), una ventana de tiempo de regis-
tro de 426,9 – 189,8 ns respectivamente
(512 muestras por traza) y un intervalo
entre cada traza de 0,03 m.

La señal obtenida en campo se ha
procesado mediante el software *Reflexw*
(Sandmeier, 2012). En primer lugar, se ha
realizado el ajuste de tiempo cero en la
llegada de la onda mediante el filtro de
corrección estática "*move starttime*" (9 ns
para la antena de 100 MHz y 12 ns para la
antena de 250 MHz). En el perfil 2 existe
una diferencia de cota entre el inicio
y fin de 1,7 m. La corrección topográfica

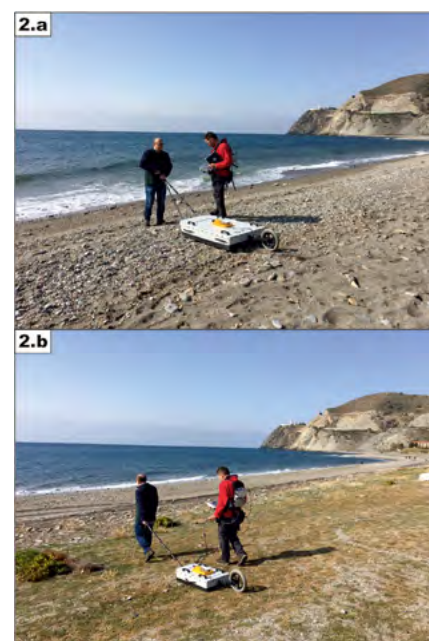


Fig. 2.- Obtención de datos en afloramiento mediante antenas apantalladas de 100 MHz (a) y 250 MHz (b). Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Obtaining data at the outcrop using GPR with 100 (a) and 250 MHz (b) shielded antennas. See color figure in the web.

se realizó mediante las opciones "3D-topography" y "topography migration" de dicho programa. Para eliminar el voltaje residual se ha utilizado el filtro "subtract DC shift" y para eliminar la onda directa el "subtract mean" (dewow). Para amplificar la señal se utilizó la opción "automatic gain control". Finalmente se usó el filtro "background removal" para eliminar el ruido de fondo.

La velocidad de las ondas electromagnéticas en estos sedimentos ha podido calcularse mediante dos métodos. El primero experimental, ya que en algunos de los pozos cercanos a la línea de costa (asociados a los invernaderos existentes en la zona) se ha medido la profundidad del nivel freático y el tiempo que tarda la onda en llegar y reflejarse (en el radargrama). Por otro lado, la velocidad se corrobora en la etapa de procesado con el programa Reflexw (option velocity adaptation), mediante el ajuste de las hipérbolas de difracción. Se ha calculado un valor de 0,11 m/s, semejante a los obtenidos sobre dunas litorales en otros sectores (ver, por ejemplo, Gómez-Ortiz et al., 2009).

Resultados y Discusión

En general, los perfiles realizados con antena de 250 MHz visualizan mejor las estructuras internas de los cuerpos sedimentarios que aquellos en los que se

utilizó la de 100 MHz. La profundidad de penetración ha estado condicionada por el nivel freático y, sobre todo, por la saturación de los sedimentos en agua salada. En este sentido, para esta discusión se ha seleccionado uno de los perfiles paralelos a la línea de costa (perfil 1, Fig. 3, con coordenadas U.T.M. de inicio y fin 30S4593464061272 y 30S4594354061239, respectivamente), donde el nivel freático (a unos 3,2 m de profundidad) marca un reflector bajo el cual se debilita y pierde la señal. Por el contrario, el comportamiento de la señal electromagnética es distinto en los perfiles perpendiculares a la línea de costa (ver perfil 2 en la Fig. 3, con coordenadas U.T.M. de inicio y fin 30S4593734061276 y 30S4593594061240, respectivamente). Así, además de la posición del nivel freático en el sector NE, en la proximidad al mar (en el extremo SO), ya en la zona de agua salada, la señal no consigue penetrar en profundidad (perfil 2).

Desde el punto de vista sedimentológico, en el perfil 1 se constata el apilamiento de dos sets planares, de unos 1,5-2 m de potencia cada uno, separados por superficies de reactivación entre láminas de diferente inclinación. En el perfil se detecta una pendiente muy suave a barlovento (stoss side), con inclinaciones mayores en la zona de slipface. En el interior de estas estructuras destaca una estratificación cruzada planar (foreset) de bajo ángulo en el cuerpo que ocupa la

posición inferior y de ángulo algo mayor en el superior, en todos los casos migrando hacia el sureste (Fig. 3). Estas estructuras sedimentarias serían equivalentes a las descritas en sistemas de dunas litorales (Nordstrom et al., 1990; Bristow et al., 2000; Sanjaume et al., 2011). Hacia la parte alta aparecen laminaciones subhorizontales que corresponderían a la zona de topset. En la parte más superficial del perfil son frecuentes las hipérbolas asociadas a las raíces de la cubierta vegetal actual y a la bioturbación superficial. Estos cuerpos se interpretan como flechas litorales (foredunes) progradantes hacia el sureste, descritas en la parte alta del Holoceno, asociadas a un momento regresivo.

En el perfil 2, perpendicular al anterior, no se observa la estratificación cruzada. En la parte alta existe una superficie erosiva. Sobre ella, hacia la línea de costa, se advierte una laminación paralela con una suave inclinación hacia el SO, lo que se interpreta como estructuras sedimentarias asociadas al foreshore actual (Fig. 3).

Conclusiones

Los perfiles GPR realizados con antena apantallada de 250 MHz ofrecen un buen equilibrio entre profundidad de penetración y resolución para estos sedimentos. La técnica permite diferenciar

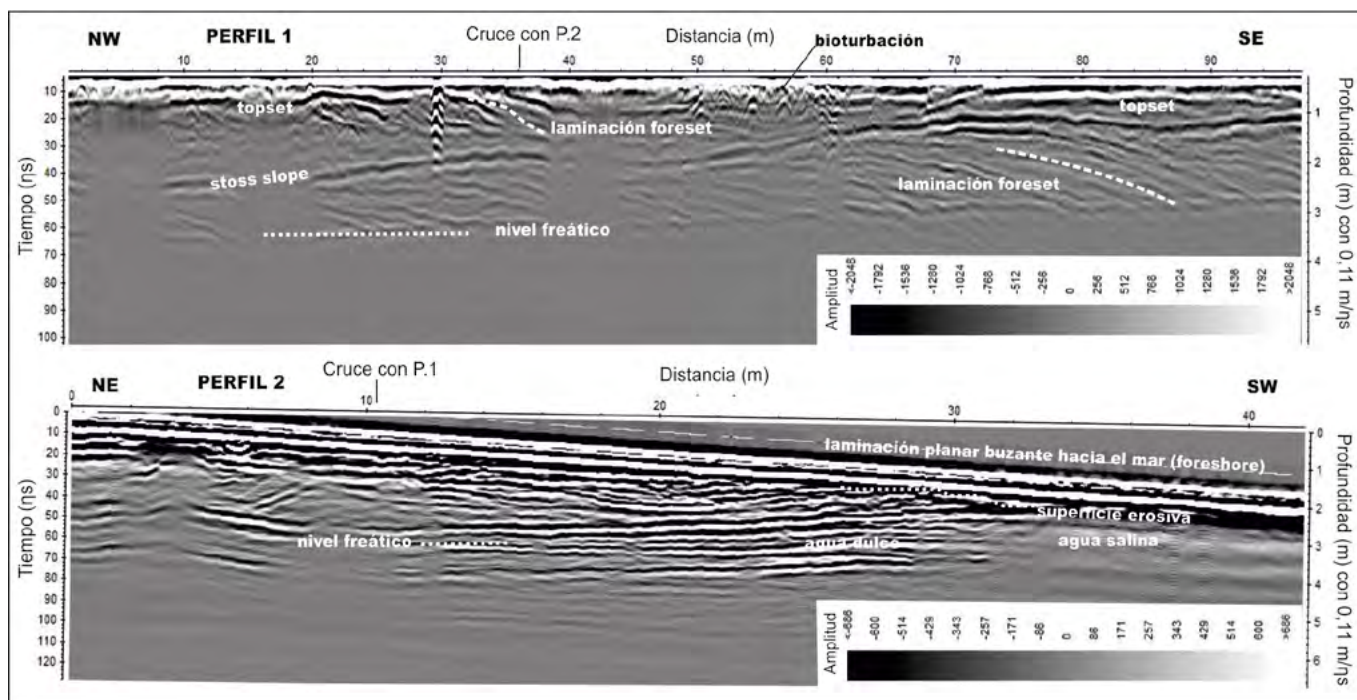


Fig. 3.- Radargramas con antena de 250 MHz, paralelo (perfil 1) y perpendicular a la línea de costa (perfil 2).
Fig. 3.- Radargrams obtained using a 250 MHz antenna frequency, parallel (profile 1) and perpendicular to the coastline (profile 2).

dos cuerpos sedimentarios, con estratigrafía cruzada planar de bajo ángulo, mirando hacia el sureste y separados por una superficie de reactivación. En ellos se interpreta tanto el *foreset* como el *topset*. Las estructuras sedimentarias son propias de flechas litorales (*foreset*) en un contexto regresivo. Próxima a la línea de costa, la presencia de laminación paralela con buzamiento hacia el mar se asocia al *foreshore* actual.

Por otro lado, el nivel freático se reconoce a unos 3 m de profundidad, lo que coincide con una reflexión presente en todos los perfiles y correlacionable con los datos directos medidos en los pozos existentes en el sector. Además, la presencia de agua salada en los sedimentos próximos a la línea de costa hace que la señal no penetre. Por tanto, el georradar también es una buena herramienta para detectar tanto el nivel freático como las intrusiones salinas en acuíferos someros.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Manuel Díaz Azpiroz y a los revisores anónimos los comentarios y sugerencias al manuscrito original.

Referencias

- Aldaya, F. (1981). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1056 (Albuñol) y memoria*. IGME, 39 p.
- Bristow, C.S., Chroston, P.N. y Bailey, S.D. (2000). *Sedimentology* 47, 923-944.
- Clemmensen, L.B. y Nielsen, L. (2010). *Sedimentary Geology* 223, 281-290.
- Davis, J.L. y Annan, A.P. (1989). *Geophysical Prospecting* 37, 531-551.
- Fernández-Salas, L.M., Dabrio, C., Goy, J.L., Del Río, V.D., Zazo, C., Lobo, F.J., Sanz, J.L. y Lario, J. (2009). *Geomorphology* 104, 4-11.
- Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Rodríguez, I., Sánchez, M.J. y Montoya, I. (2009). *Journal of Applied Geophysics* 68, 179-170.
- Lario, J., Zazo, C. y Goy, J.L. (1999). *Estudios Geológicos* 55, 247-250.
- Morales, J.A., Silva, P., Vallejo, I. y Rodríguez, A. (2017). *Geo-Temas* 17, 271-274.
- Nordstrom, K.F., Psuty, N.P. y Carter, R.W.G. (Eds.) (1990). *Coastal dunes: Form and processes*. John Wiley, Chichester, 392 p.
- Ortega-Sánchez, M., Losada, M.A. y Baquerizo, A. (2002). *Marine Geology* 198, 209-223.
- Ortega-Sánchez, M., Lobo, F.J., López-Ruiz, A., Losada, M.A. y Fernández-Salas, L.M. (2014). *Marine Geology* 347, 107-122.
- Rodríguez-Ramírez, A., Pérez-Asensio, J.N., Santos, A., Jiménez-Moreno, G., Villarías-Robles, J.J.R., Mayoral, E., Celestino-Pérez, S., Cerrillo-Cuenca, E., López-Sáez, J.A., León, Á. y Contreras, C. (2015). *Quaternary Research* 83, 24-40.
- Sandmeier, K.J. (2012). REFLEXWVersion 7.0, Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Software Manual. Karlsruhe, Germany.
- Sanjaume, E., Gracia, F.J. y Flor, G. (2011). En: *Las dunas en España*. (E. Sanjaume y F.J. Gracia, Eds.). Sociedad Española de Geomorfología, 13-66.
- Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C., Belluomini, G., Impronta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.G. (1994). *Journal of Coastal Research* 10, 933-945.
- Zazo, C., Dabrio, C., Goy, J.L., Bardají, T., Ghaleb, B., Lario, J., Hoyos, M., Hillaire-Marcel, C.I., Sierro, F., Flores, J.A., Silva, P.G. y Borja, F. (1998). *Geogaceta* 20, 1679-1782.
- Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Lario, J., Cabero, A., Silva, P.G., Bardají, T., Mercier, N., Borja, F. y Roquero, E. (2008). *Quaternary International* 181, 72-87.