

Discriminación potencial de facies arrecifales por métodos geofísicos: aplicación a los pináculos arrecifales del Kimmeridgiense de Jabaloyas (Teruel)

Potential discrimination of reefal facies by means geophysical methods: studied case of the Kimmeridgian pinnacle reefs of Jabaloyas (NE Spain)

Óscar Pueyo Anchuela, Galo San Miguel, Víctor Martínez, Marcos Aurell y Beatriz Bádenas

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, c/ Pedro Cerbuna, nº12, 50009 Zaragoza, España.
opueyo@unizar.es, galo.sanmiguel@gmail.com, vicmartinezgarcia@hotmail.com, maurell@unizar.es, bbadenas@unizar.es

ABSTRACT

A group of geophysical techniques has been applied at a structural platform to analyze the sensitivity and potential availability of discrimination of Upper Jurassic (Kimmeridgian) pinnacle reefs at Jabaloyas (Iberian Chain, NE Spain). The obtained results show distinctive signatures at magnetic susceptibility (changes at Earth magnetic field and vertical magnetic gradient), apparent conductivity and Ground Penetrating Radar refraction style between pinnacles and inter-reef facies. These results and their meaning support that the described integrated geophysical methodology is able to unravel the 3D structure of these types of rocks.

Key-words: Pinnacle reefs, Ground Penetrating Radar, magnetometry, EM broadband multifrequency survey, Iberian Chain.

RESUMEN

Un grupo de técnicas de prospección geofísica se ha aplicado a una plataforma estructural para analizar la sensibilidad y capacidad potencial de discriminación de pináculos arrecifales del Jurásico Superior (Kimmeridgiense) en Jabaloyas (Cordillera Ibérica, NE España). Los resultados obtenidos muestran diferencias entre los cuerpos arrecifales y el medio en el que se incluyen atendiendo a la susceptibilidad magnética (cambios de la intensidad del campo magnético terrestre y el gradiente magnético vertical), a la conductividad aparente y al estilo de los patrones de reflexión en los perfiles de georradar. Estos resultados y su significado soportarían la posibilidad de realizar reconstrucciones tridimensionales de los cuerpos arrecifales a través del análisis integrado de las técnicas geofísicas propuestas en los materiales analizados.

Palabras clave: Pináculos arrecifales, georradar, magnetometría, prospección electromagnética multifrecuencia, Cordillera Ibérica.

Geogaceta, 51 (2012), 95-98.
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 28 de junio de 2011
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

Introducción

En las proximidades de la localidad de Jabaloyas (Teruel) los materiales de la Fm Torrecilla (Kimmeridgiense Superior) muestran un sistema de crecimientos arrecifales con morfología de pináculo, que han sido analizados en numerosos trabajos estratigráficos y sedimentológicos (Aurell y Bádenas, 2004; Fig. 1A)

Estos crecimientos arrecifales representan desarrollos verticales de escala decamétrica (hasta 16 metros), contactos laterales subverticales y distintos episodios de crecimiento (Fig. 1B). Los pináculos arrecifales muestran texturas de tipo framestone, con diferente proporción de formas coloniales (corales y estromatopóridos), costras micro-

biales, y sedimentos internos. Las zonas interarrecifales están compuestas principalmente por facies de micrita y en menor medida por facies granosostenidas peloidales y bioclásticas.

La estructura de la zona de estudio está compuesta por pliegues laxos con flancos de bajo buzamiento y de amplio desarrollo. Por otro lado, se identifican varios sistemas de fracturas con movimiento normal y asociados a pequeños desplazamientos verticales (en algunos casos de escala métrica) Los espléndidos afloramientos a lo largo de las inmediaciones de la localidad de Jabaloyas a través de distintos barrancos y una estructura general simple y bajos buzamientos, permiten por un lado el análisis directo de las relaciones y cambios de facies entre las distintas unidades y por

otro lado, pueden permitir un análisis geofísico a través de plataformas estructurales de bajo buzamiento donde el espesor de la cobertura cuaternaria es, en general, baja.

La zona de estudio, por otro lado, ha sido recientemente recreada tridimensionalmente a partir de la integración de secciones bidimensionales de la zona (San Miguel *et al.*, 2011).

Con el objetivo de analizar la posibilidad de obtener datos indirectos de la estructura de dichos sistemas arrecifales, se ha elegido una plataforma estructural localizada al S de la localidad de Jabaloyas (2.7 Ha; Fig. 1C) para el establecimiento de un campo de pruebas donde analizar la potencialidad de distintas técnicas para discriminar los cuerpos arrecifales.

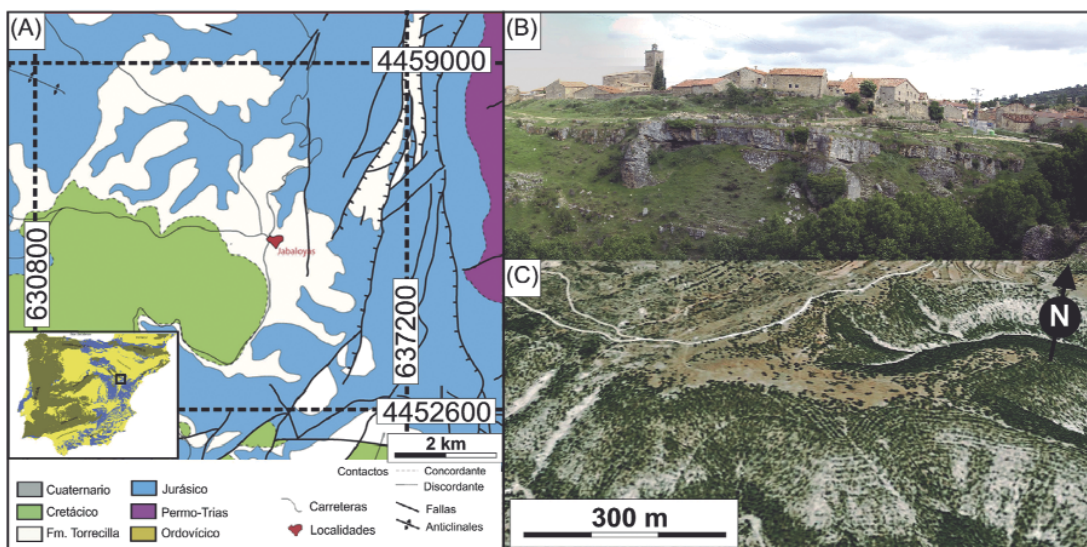


Fig. 1.- A) Cartografía geológica y localización de la zona de estudio. B) Aspecto de los pináculos arrecifales en las proximidades de Jabaloyas (Teruel). C) Modelo topográfico oblicuo de la zona de estudio.

Fig. 1.- A) Geological cartography and location of the studied area. B) Reefal pinnacles aspect in the proximities of Jabaloyas (Teruel) and C) Oblique aerial photograph from the studied area.

El análisis de fotografía aérea muestra también una serie de estructuras circulares-elípticas que han sido identificadas en campo como correspondientes a cortes en superficie de los pináculos arrecifales (Fig. 2A). Este aspecto puede permitir también una contrastación directa de los resultados geofísicos obtenidos con datos directos de afloramiento.

Técnicas de prospección y metodología

La prospección geofísica ha consistido en magnetometría (medida de intensidad y gradiente vertical del campo magnético terrestre), prospección electromagnética de frecuencia variable (frecuencias entre 0.5 a 65 KHz) y georradar (GPR; antenas con frecuencias centrales de 50, 100 y 250 MHz).

La prospección por magnetometría (medida de la intensidad de campo magnético terrestre y gradiente vertical de campo $x=0.5m$) se ha realizado con un equipo GSM-19 geoposicionado y un equipo PMG-01 como base durante la prospección. La prospección se ha realizado con el objetivo de obtener un mallado denso con representatividad métrica con perfiles paralelos y en dos direcciones perpendiculares (12388 puntos de medida). Se ha realizado la corrección diurna y cálculo de la anomalía residual de campo para la realización de mapas de intensidad residual y gradiente vertical de campo.

La prospección geofísica electromagnética de frecuencia variable se ha realizado a través de perfiles paralelos geoposicionados y para 5 frecuencias de análisis diferentes (GEM-02, 18351 puntos de medida). El cambio de la frecuencia de muestreo produce

una variación del recorrido de la onda emitida, siendo mayor el intervalo de profundidad analizado para las frecuencias menores (prospección de 0.5 a 65 KHz). Los datos obtenidos de la prospección (onda en fase y cuadratura) han sido utilizados para el cálculo de la conductividad eléctrica y susceptibilidad magnética aparentes para los distintos intervalos de profundidad (frecuencias).

Tanto los datos de magnetometría y de prospección EM de frecuencia variable se han utilizado para la confección de mapas de anomalías.

La prospección por georradar se ha realizado a lo largo de la superficie de prospección con antenas no apantalladas (50 MHz) y apantalladas (100 y 250MHz) de la casa Ramac. La prospección lineal representa 6524 metros.

Con los equipos de 50 y 100 MHz se ha realizado un mallado denso de perfiles paralelos a lo largo de la superficie de prospección con dos configuraciones de prospección (variando los intervalos de toma de datos y los intervalos temporales verticales de prospección). Puntualmente se han realizado perfiles con los equipos de mayor frecuencia en la zona de estudio. El procesado de los datos ha consistido en aplicación de ganancias (lineal y exponencial), filtro de frecuencias fuera de rango y suavizado de los perfiles (medias progresivas de disparos consecutivos -running average- y suavizado -stacking).

El cálculo de la constante dieléctrica y la propagación de las ondas en el medio se ha realizado a partir del ajuste de hipérbolas de difracción en los perfiles. Estos datos han sido utilizados también para la migración posterior de algunos de los perfiles. No se han identificado variaciones significativas de la ve-

locidad de propagación de las ondas a lo largo de los medios analizados. Se ha utilizado en el cálculo de profundidades una velocidad de propagación media de 9.8 m/ns.

Resultados

Magnetometría

Los mapas residuales de anomalías magnéticas de la zona muestran variaciones de hasta 4nT. En algunos casos estos cambios se presentan según alineaciones de dipolos magnéticos a lo largo de toda la zona prospectada.

Se identifican también algunos sectores con valores relativos menores (2nT respecto la media de la zona) que muestran morfologías circulares a elípticas en planta.

Los mapas de gradiente vertical de campo magnético muestran pequeñas anomalías de signo negativo que bordean zonas con gradiente vertical positivo (entre 0.3 a 0.7 nT/m; Fig. 2B). Los mapas de gradiente también muestran alineaciones con correlación lineal de dipolos magnéticos tanto de tipo normal como inverso.

Estas anomalías de intensidad y gradiente vertical de campo son compatibles con la presencia de cuerpos de menor susceptibilidad magnética relativa, que generan descensos de campo magnético y una orla externa de dipolos negativos de gradiente de campo.

EM de frecuencia variable

Las mayores variaciones de conductividad se suceden para las mayores frecuencias de muestreo y se encuentran asociadas a alineaciones con correlación lateral a lo largo de toda la zona prospectada (Fig. 2C). Con

independencia de estas anomalías, el resto de la zona muestra variaciones de entre 3 y 5 mS/m que desarrollan anomalías con morfología circular-elíptica mejor definidas en los rangos de frecuencias más superficiales (Fig. 2D).

Georradar

Los perfiles de georradar muestran comportamientos similares para los distintos equipos utilizados, permitiendo definir a nivel general dos tipologías de comportamiento de las ondas en el subsuelo (Fig. 2E).

Un medio A de comportamiento heterogéneo y asociado a multitud de anomalías puntuales, comportamiento más reflectivo y ecos verticales en los perfiles frente a un medio B de tipo mucho más homogéneo, que se acomoda superficialmente al medio A o que presenta disposición horizontal o paralela. El contacto entre ambas unidades suele ser neto y desarrolla contactos de tipo subvertical. Esta separación en dos medios es más evidente en los equipos de prospección de mayor frecuencia (Fig. 2E).

En los perfiles, con independencia de los equipos utilizados, se identifican una serie de agrupaciones de anomalías con geometría hiperbólica. Estas anomalías se disponen a lo largo de planos subverticales o ligeramente inclinados hacia el W. En el caso de los equipos de menor frecuencia el buzamiento de estas alineaciones se incrementa y en los perfiles migrados representan interrupciones subverticales de la estructura de los materiales analizados.

Estas agrupaciones de anomalías o contactos laterales se correlacionan entre distintos perfiles paralelos y afectan a toda la superficie prospectada.

Discusión

El análisis comparado de la distribución en planta de las anomalías identificadas a lo largo de la zona de prospección junto con la cartografía geológica realizada a partir del análisis de ortofotografías aéreas y contrastación en campo, permite establecer una serie de correlaciones. En asociación con las evidencias superficiales de facies arrecifales en campo (o en fotografía aérea) se identifican anomalías de pequeño desarrollo de campo magnético compatibles con cuerpos de menor susceptibilidad media y que desarrollan dipolos de gradiente negativo en su entorno, ascenso local del gradiente magnético en

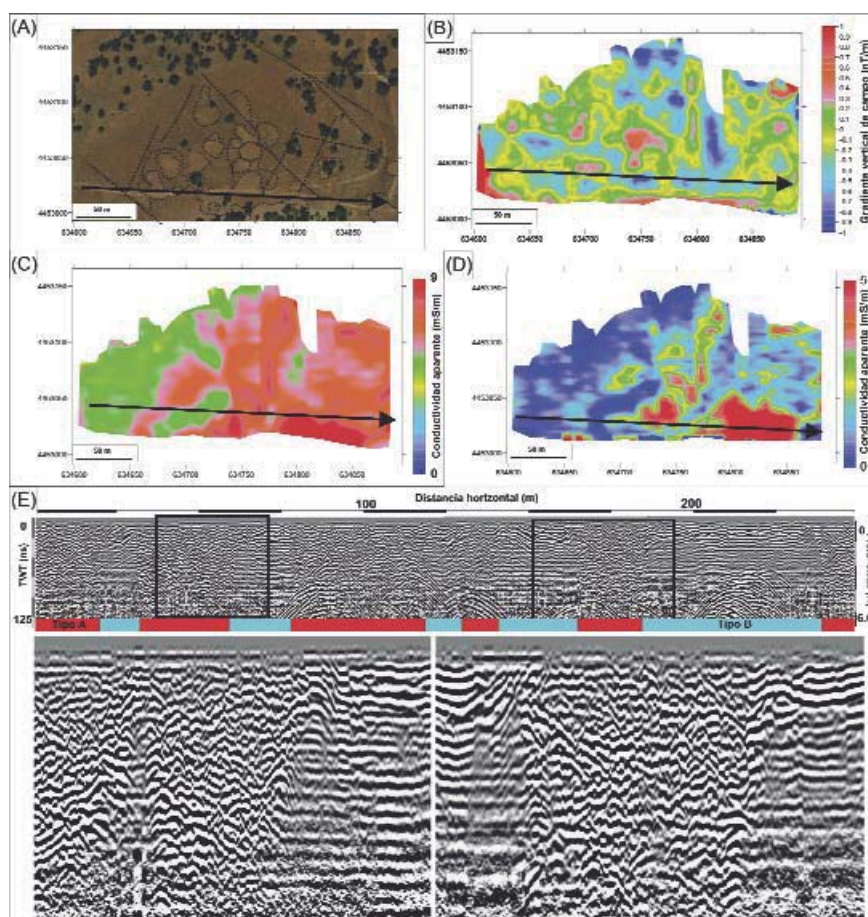


Fig. 2.- A) Cartografía geológica desarrollada sobre ortofotografía. B) Mapa de gradiente magnético vertical de campo. C) Mapa de susceptibilidades aparentes para la frecuencia de 0.5KHz. D) Mapa de conductividades aparentes para la frecuencia de 65 KHz. E) Perfil de georradar realizado con el equipo de 250 MHz (la localización del perfil está marcada en el resto de las figuras).

Fig. 2.- A) Geological cartography developed over orthophoto. B) Vertical magnetic gradient map. C) Apparent susceptibility map developed for 0.5 KHz frequency. D) Apparent conductivity map for 65 KHz frequency. (E) GPR profile with 250 MHz device (location of profile is marked in the rest of figures).

el interior (gradiente positivo) y anomalías negativas de intensidad de campo magnético residual.

En el entorno de estas anomalías y coincidiendo con los descensos de campo magnético se identifican descensos locales de la conductividad aparente. Esos cambios están mucho más desarrollados en los intervalos de prospección electromagnéticos más someros.

En el caso de los perfiles de georradar, los medios arrecifales se correlacionan con cuerpos inhomogéneos asociados a multitud de anomalías puntuales definiendo cuerpos delimitados lateralmente por contactos de alto buzamiento (Fig. 2E).

Para los equipos de prospección de menor frecuencia, aunque el contraste de reflectividades está presente, suele ser más evidente la localización de estas facies a partir de ecos verticales aparentes en los perfi-

les de georradar o mayor profundización aparente (Fig. 3A)

Las alineaciones identificadas en fotografía aérea e interpretadas como compatibles con estructuras frágiles tienen su impronta en las técnicas de prospección geofísica a través de: i) alineaciones de dipolos magnéticos en intensidad y gradiente, ii) alineaciones de picos de conductividad aparente y iii) agrupación de anomalías con geometría hiperbólica o contactos laterales subverticales en los perfiles de georradar migrados y con correlación directa entre perfiles paralelos.

La comparación entre los elementos identificados en fotografía aérea y las anomalías geofísicas muestra la correlación descrita. Sin embargo, existen anomalías de similares características sin evidencias superficiales que representan las mismas características que los edificios arrecifales o ano-

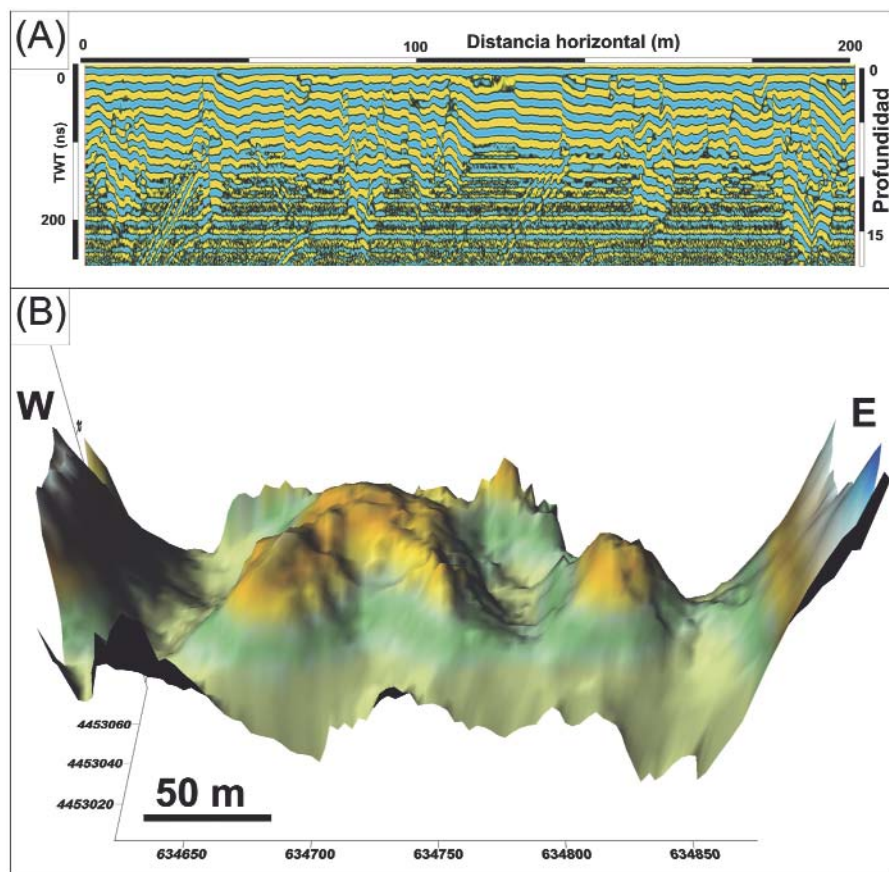


Fig. 3.- A) Perfil de georradar realizado con el equipo de 50 MHz y utilizado para el desarrollo del modelo. B) Modelo en falso relieve obtenido de la interpretación de los perfiles de georradar y reconstrucción preliminar de la geometría de los pináculos.

Fig. 3.- A) GPR section developed with 50 MHz device along the area and used for the model development. B) Shaded relief map from the interpretation of GPR sections along the studied zone and preliminary model of reconstruction of pinnacle geometries.

malías compatibles con pequeñas fallas pero sin impronta significativa en las fotografías aéreas analizadas.

Conclusiones

Se ha realizado un análisis de contrastes físicos y de la sensibilidad de distintas técnicas geofísicas en la identificación y discriminación de cuerpos arrecifales con morfología de pináculo en la localidad de Jabaloyas.

Las condiciones de prospección sobre una plataforma estructural de bajo buzamiento y con superficie de prospección directamente sobre las bioconstrucciones ha permitido analizar la sensibilidad de distintas técnicas con un espesor de aluvial mínimo o casi inexistente.

Las técnicas utilizadas presentan anomalías identificables sobre los distintos edificios identificados y estructuras frágiles de

la zona. Sin embargo, en algunas ocasiones, no presentan resultados inequívocos por lo que su interpretación no es directa. Por otro lado, la correlación entre distintas técnicas aplicadas y su diferente significado, sí parecen permitir discernir el origen de las distintas anomalías.

Cambios del gradiente vertical de campo magnético (compatibles con cuerpos de baja susceptibilidad), descensos de la conductividad aparente de los materiales y medios de comportamiento heterogéneo en el georradar (medios de tipo A) parecen ser los criterios para la cartografía en planta de los distintos cuerpos arrecifales.

En el caso de los perfiles de georradar, los equipos de mayor frecuencia muestran una alta posibilidad de identificación de los edificios arrecifales, pero presentan profundidades de prospección limitadas. La integración de equipos de alta y baja frecuencia junto con otras de las técnicas descritas, pue-

de ayudar a disminuir la incertidumbre del origen de algunas de las anomalías identificadas en los perfiles de georradar.

A modo tentativo preliminar, a partir de la integración de los distintos datos obtenidos y los perfiles de georradar con antenas de 50 MHz, se ha realizado una delimitación de cuerpos arrecifales (medios de tipo A) en los distintos perfiles. A partir de esta delimitación se ha realizado un modelo de correlación entre perfiles para obtener una visión en perspectiva del desarrollo de los distintos sistemas arrecifales (Fig. 3B).

Las principales conclusiones de dicho modelo son que algunos de los afloramientos identificados en la zona parecen formar parte de distintos afloramientos del mismo cuerpo arrecifal en profundidad. Esta interpretación permite analizar el origen de algunas de las anomalías en la zona sin afloramiento o la ausencia de una correlación directa en los bordes de algunas de las anomalías y los materiales identificados en superficie.

Las pequeñas fallas identificadas, aún evidentes en las distintas técnicas, no parecen presentar saltos apreciables en la zona de estudio.

Es esperable que a lo largo de la continuación de los trabajos en la zona y a la luz de estos resultados preliminares, sea posible realizar un modelo tridimensional más detallado donde analizar también la sensibilidad de los cambios de facies y no sólo los contactos entre unidades arrecifales (pináculos) y medios interarrecifales.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los objetivos de los Grupos de Investigación consolidados del Gobierno de Aragón: subvencionados por el Fondo Social Europeo: "Reconstrucciones Paleambientales" y "Geotransfer" de la Universidad de Zaragoza. Los autores agradecen las sugerencias de Antonio M. Casas Sainz, un revisor anónimo y los editores de Geogaceta.

Referencias

Aurell, M. y Bádenas, B. (1997). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22,37-64.
 Bádenas, B. y Aurell, M. (2001) *Paleogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 168, 291-310.
 San Miguel, G., Martínez, V., Aurell, M., Bádenas, B., Caline, B., Pabian-Goyheneche, C., Rolando, J.P. y Grasseau, N. (2011) En: *28th IAS Meeting of Sedimentology*, Abstracts, 253.