

ESTRATIGRAFIA DEL CRETACICO EN EL SONDEO DEL SIFON DE LOS YESOS (TORRELAGUNA) Y SU CORRELACION CON AFLORAMIENTOS DE SUPERFICIE

J. Gil *, J. F. García-Hidalgo *, M. Segura * y J. A. Iglesias **

RESUMEN

En el Sifón de los Yesos (Torrelaguna), el Canal de Isabel II ha realizado un sondeo de reconocimiento hidrogeológico de 225 m de profundidad con recuperación de testigo continuo. En él se atraviesan materiales detrítico-evaporíticos paleógenos y la sucesión del Cretácico superior en facies dolomíticas muy monótonas en las que se han reconocido 6 unidades estratigráficas informales que de base a techo son: 1) Margas y dolomías tableadas con algunas intercalaciones arenosas (23,6 m); 2) Dolomías amarillas en bancos gruesos (23,4 m); 3) Dolomías margosas y margas grises (8 m); 4) Dolomías amarillas en bancos gruesos (17,4 m); 5) Dolomías blancas en bancos de tamaño medio a grueso (21,3 m); y 6) Brechas calcáreas alternando con calizas blancas y arcillas rojas (28,5 m).

La correlación de estas unidades con las establecidas en un afloramiento de superficie cercano —el Barranco de las Cuevas (Patones, Madrid), que debido a su bajo grado de dolomitización se convierte en una sección clave para la interpretación del Cretácico del Borde sur del Sistema Central— permite establecer las unidades litoestratigráficas de los materiales atravesados en el sondeo. La unidad del sondeo 1) se correlaciona con la Fm. Tranquera; las unidades 2), 3) y la parte inferior de la 4) con la Fm. Hortezuelos; el resto de la unidad 4) y la unidad 5) se correlaciona con la Fm. Hontoria del Pinar; y finalmente la unidad 6) con la Fm. Burgo de Osma. Sobre estas unidades litoestratigráficas se establecen 3 secuencias deposicionales pudiendo precisar la edad de los materiales del sondeo (Turonense superior-Campaniense inferior).

La correlación de ambas secciones ayuda a interpretar mejor el origen de las superficies ferruginosas; a precisar las discontinuidades estratigráficas que limitan las secuencias deposicionales; y a señalar diferencias texturales y estructurales notables entre las facies de sondeo y las de superficie, tales como el diferente grado de coloración de los materiales, relacionado con el contenido en materia orgánica y su oxidación en superficie, o el diferente comportamiento reológico de los tramos margosos blandos que en profundidad se manifiestan como intervalos calcáreos más duros y compactados. El reconocimiento de las facies de sondeo del Cretácico superior de esta región se convierte en una herramienta de trabajo muy útil en futuras campañas de perforación permitiendo un seguimiento más detallado a pie de pozo.

Palabras clave: *Cretácico, testificación de sondeos, unidades litoestratigráficas, secuencias deposicionales, Sifón de los Yesos, Madrid.*

ABSTRACT

Several hydrogeologic boreholes for survey purposes have been drilled by the Canal de Isabel II near Torrelaguna (Madrid). One of those boreholes, at the Sifón de los Yesos, was drilled out with complete core recovering and cut across detrital and evaporitic rocks of Paleogene age and, partly, the Upper Cretaceous series mainly composed of dolostones, marls and sandstones. Six units have been distinguished in the Cretaceous of the borehole, from base to top: 1) Marls and dolostones with minor sandy intercalations (23.6 m); 2) Thick-bedded yellow dolostones (23.4 m); 3) marly dolostones and marls with minor dolostones (8 m); 4) thick-bedded yellow dolostones (17.4 m); 5) medium

* Area de Estratigrafía. Dpto. Geología. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares.

** Canal de Isabel II. Sta. Engracia, 125. 28003 Madrid.

to thick-bedded white dolostones (21.3 m); and 6) Calcareous breccias alternating with white dolostones and red mudstones (28.5 m).

These units have been correlated with the nearby Barranco de las Cuevas section, which is a key section in order to understand the stratigraphical relationships for the Cretaceous south of the Central System, because of several lithostratigraphical units are poorly dolomitized here and thus their facies and sedimentary environments of deposition can be studied and understood. From base to top borehole unit 1 is correlated with the Tranquera Fm.; borehole units 2, 3 and 4 (lower part) are correlated with Hortezuolos Fm.; borehole units 4 (upper part) and 5 are correlated with Hontoria del Pinar Fm.; and finally, borehole unit 6 is correlated with Burgo de Osma Fm.

There are clear differences between these units in surface outcrop and in the borehole relating to colour, which is related to the organic matter content and its oxidation state, and appearance, marly intercalations are weak intervals in surface meanwhile correspond to harder and more compacted intervals in the borehole. The recognition of the borehole facies for the Cretaceous is a very useful stratigraphical tool for future drilling campaigns allowing a more detailed interpretation of the cores.

Key words: *Cretaceous, analysis of cores, lithostratigraphic units, depositional sequences, Sifón de los Yesos, Madrid.*

Antecedentes y características del sondeo

Las primeras descripciones geológicas de sondeos en esta región son las realizadas por Corchón (1976) quien establece varios perfiles hidrogeológicos en los que se correlacionan series de campo, sondeos mecánicos de reconocimiento y pozos experimentales, resolviendo con ayuda de perfiles geoeléctricos la estructura geológica del Cretácico, a la vez que establece una primera estratigrafía en la que distingue varias unidades de diferente rango definidas con fines hidrogeológicos.

En la última década, el Canal de Isabel II ha realizado una campaña de sondeos de reconocimiento de las características hidrogeológicas que presentan los materiales del Cretácico en el área comprendida entre las localidades de Torrelaguna y el Molar en la provincia de Madrid (fig. 1), con el fin de evaluar las posibilidades de construcción de captaciones de agua subterránea que se pudieran añadir al conjunto de pozos que se dispone en la zona. Los sondeos se emplazaron en las proximidades de una gran conducción de agua que discurre entre ambas localidades.

Uno de estos sondeos es el del Sifón de los Yesos situado en el paraje homónimo, 5 km al S de Torrelaguna (fig. 1). En este sondeo, el Cretácico comienza a 90,4 m de profundidad y se prolonga hasta los 225 m, finalizando al comienzo de la Fm. Utrillas.

Dadas las características de los materiales a atravesar y los objetivos propuestos en la campaña, el sondeo se realizó en dos etapas: *a)* Primera fase para atravesar el Terciario, que se realizó a rotoperforación con un diámetro de 140 mm, entubando con tubería metálica ciega y cementando el espacio anular; y *b)* Segunda etapa, en la que se perforan los

materiales cretácicos mediante rotación con recuperación continua de testigo sistema *Wire-Lane tipo HQ*, en un diámetro de 98 mm.

La entubación definitiva en PVC se diseñó con un primer tramo ciego hasta una profundidad de 105,5 m; desde este punto y hasta el final del sondeo se dispone un total de 39 m de tubería filtrante en tramos alternantes de tubería ciega y filtrante. Este diseño permite aislar los materiales carbonatados cretácicos de los del Terciario suprayacente y de los terrígenos infrayacentes. El sondeo queda dispuesto como punto de control en el acuífero carbonatado cretácico, siendo desde su construcción surgente.

Columna del sondeo

El análisis litológico de los testigos del sondeo da comienzo con el inicio de la serie cretácica a una profundidad de 90,4 m. Por encima los materiales perforados corresponden a arcillas y yesos paleógenos de tonos rojos que quedan fuera de los objetivos de este trabajo. El Cretácico comienza con un conjunto carstificado situado entre los 90,4 m y 121,9 m en el que se registra una pérdida de testificación de más del 40 %, y finaliza en un nivel de arenas a 225 m de profundidad.

Como el sondeo es vertical, los espesores son aparentes y de mayor valor que los reales. Por esta razón, se ha realizado una corrección de espesores para un buzamiento de 28°, valor obtenido directamente sobre los planos de estratificación reconocibles en los testigos. Este buzamiento contrasta con los obtenidos en superficie, ya que inmediatamente hacia el O del sondeo, el Cretácico define el cierre periclinal de una gran estructura anticlinal de dirección ENE-OSO, mostrando en su flanco meridional buzamientos más pequeños.

En esta área no existen descripciones detalladas de ninguno de los sondeos que atraviesan la sucesión cretácica. Por esta razón, consideramos interesante aportar la descripción de este sondeo que, al estar realizado con testigo continuo, permite conocer con gran calidad de detalles cómo son estos materiales en profundidad, constituyendo una fuente de información importante en futuras correlaciones locales. Además, en los alrededores no existe ningún afloramiento de superficie en el

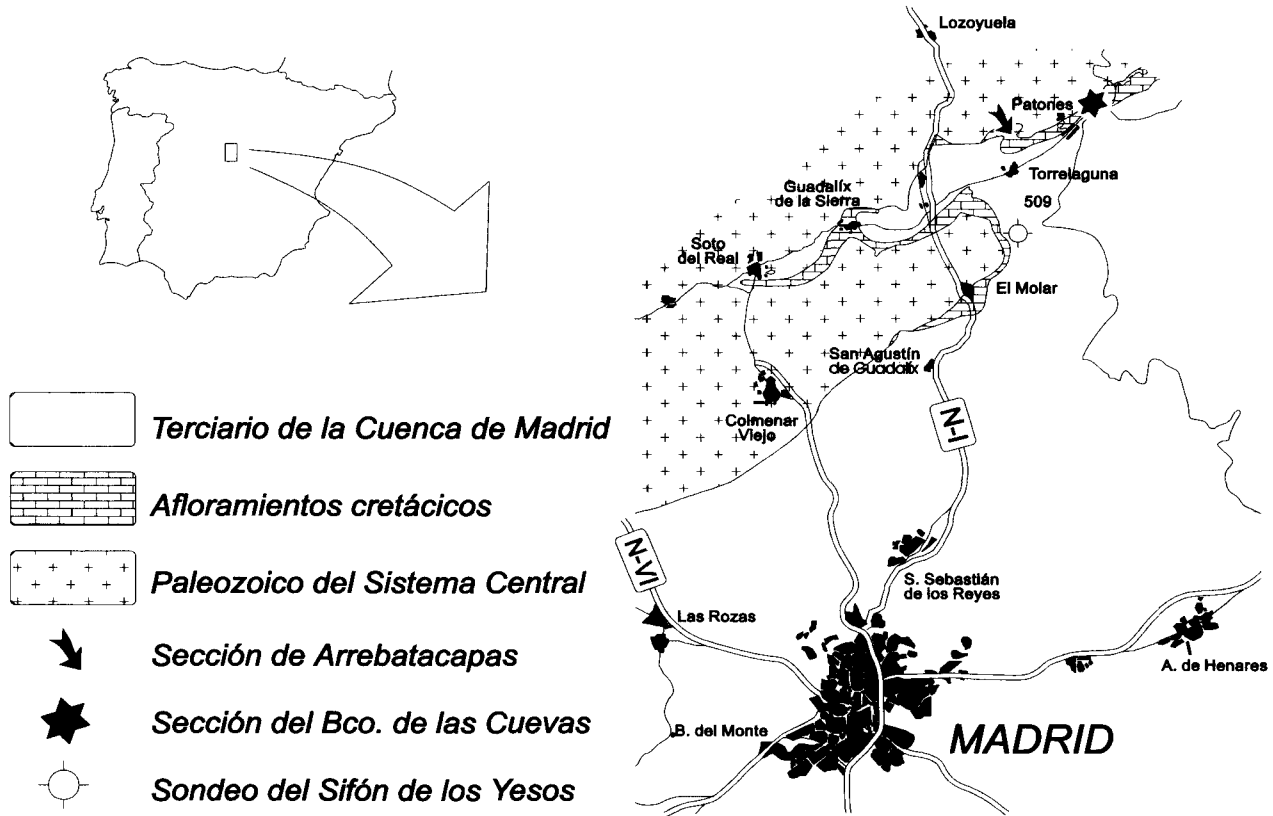


Fig. 1.—Localización geográfica y geológica de los afloramientos.

que pueda levantarse una columna con el detalle y precisión que aportan los datos del sondeo. A continuación se describe su columna litológica con los espesores corregidos (fig. 2):

1. 9,3 m perforados de los que únicamente se han recuperado 5,5 m de testigo formados por arcillas y margas calcáreas brechoides con fragmentos de calizas blancas.
2. 0,6 m brechas calcáreas blancas.
3. 0,3 m arcillas rojas vinosas con cantos.
4. 11,1 m perforados de los que se recuperan 4,4 m de calizas blancas recristalizadas muy fragmentadas por una intensa carstificación, que afecta especialmente a la parte inferior.
5. 7,5 m perforados de los que se recuperan 5,5 m de brechas calcáreas en una matriz margo-arcillosa con intercalaciones milimétricas de calizas blancas oquerosas, que pasan a techo a arcillas rojas vinosas con cantos subangulosos de calizas.
6. 4,4 m dolomías blancas en bancos estratocrecientes localmente brechoides separados por juntas de arcillas grises, el último de ellos rico en materia orgánica (m.o.).
7. 1,3 m dolomías blancas finas localmente margosas y con abundantes fragmentos de Rudistas.
8. 6,7 m dolomías blancas microcristalinas con porosidad móldica en bancos estratocrecientes.
9. 5,5 m dolomías blancas margosas con abundante porosidad móldica. Termina en una superficie ferruginosa.
10. 1,75 m dolomías blancas margosas con porosidad móldica, restos carbonosos y un relleno cárstico a techo.
11. 1,4 m dolomías grises muy ricas en m.o. con restos centimétricos de fragmentos vegetales carbonizados, en dos bancos estratocrecientes separados por dos juntas de arcillas negras.
12. 0,75 m arcillas negras con granos subangulosos de cuarzo que pasan a margas negras con abundantes restos

vegetales carbonosos. Marca una importante ruptura sedimentaria.

13. 5,65 m dolomías grises muy recristalizadas y porosas, con restos vegetales y moldes de sulfatos. Se organizan en dos bancos de igual tamaño separados por un nivel de 10 cm de arcillas negras muy ricas en m.o.
14. 0,9 m dolomías amarillas masivas dispuestas en bancos estratocrecientes separados por juntas de margas y arcillas grises y rojas con m.o.
15. 6,6 m dolomías amarillas sacaroideas estratificadas en bancos gruesos con abundante porosidad móldica.
16. 0,35 m dolomías margosas beigeas.
17. 2,25 m dolomías amarillas con porosidad móldica que aumenta hacia techo donde aparecen Rudistas.
18. 1,2 m dolomías grises, amarillas a techo, con tendencia estratocreciente. Termina en una superficie ferruginosa.
19. 2,9 m dolomías margosas grises y margas negras muy ricas en m.o. Hacia techo, contiene restos carbonosos piritizados, huellas de escapes de fluidos y moldes de sulfatos.
20. 0,7 dolomías sacaroideas grises con m.o.
21. 1,0 m arcillas negras en la base, ricas en m.o. que pasan a dolomías margosas verdes en dos bancos estratocrecientes separados por un nivel brechificado. Termina en una junta de margas negras con laminación ondulada.
22. 0,8 m dolomías grises en dos bancos separados por un nivel de arcillas rico en m.o., el primero con moldes de sulfatos y el segundo brechificado.
23. 0,45 dolomías margosas verdes con m.o. a techo.
24. 1,0 m dolomías grises ricas en m.o. en dos bancos con geodas.
25. 0,85 m arcillas grises con m.o., y margas verdes con una intercalación de dolomías grises.

26. 3,8 m dolomías beigeas homogéneas en bancos gruesos separados por juntas arcillosas, hacia el techo aumenta el contenido en m.o. y los niveles arcillosos.

27. 1,6 m dolomías beigeas en dos bancos, con juntas de arcillas al techo, el inferior con moldes de sulfatos y porosidad móldica, y el segundo con grandes geodas y restos carbonosos.

28. 0,4 m margas verdes con mucha m.o. y moldes de sulfatos a techo.

29. 1,5 m dolomías amarillas en dos bancos, el superior con huellas escape de fluidos.

30. 1,8 dolomías masivas en dos bancos, el superior con abundantes Rudistas.

31. 0,15 m alternancia de margas verdes y dolomías brechificadas. Termina en una superficie ferruginosa.

32. 2,1 dolomías beigeas en bancos separados por juntas de arcillas.

33. 0,7 m dolomías muy porosas con rudistas y gasterópodos.

34. 1,35 m dolomías grises ricas en m.o. dispuestas en 3 bancos estratodecrecientes con juntas de arcillas a techo.

35. 2,1 m dolomías margosas grises con m.o. en un banco limitado por niveles arcillosos con restos vegetales en la base y techo.

36. 1,25 m dolomías amarillas en la base y grises a techo.

37. 2,35 m dolomías amarillas en dos bancos, el superior con rudistas. Termina en una costra ferruginosa.

38. 2,95 m dolomías amarillas en cuatro bancos masivos, el último de ellos carstificado. Constituye la surgencia principal del sondeo.

39. 0,45 m dolomías margosas grises y brechas dolomíticas con arcillas negras ricas en m.o.

40. 2,15 m dolomías amarillas en dos bancos masivos separados por una junta de arcillas con m.o. Brechificado a techo.

41. 0,35 m margas amarillas.

42. 1,1 dolomías amarillas en bancos masivos separados por juntas de arcillas.

43. 0,6 m margas grises verdosas con Ostrácodos y un nivel de brechas margo-dolomíticas a techo.

44. 1,1 m dolomías margosas de color grisáceo con m.o.

45. 0,6 m margas grises con finas intercalaciones de arcillas y m.o.

46. 3,1 m dolomías margosas algo nodulares con m.o., en bancos separados por juntas de arcillas negras y brechas calcáreas. En la base restos vegetales oxidados.

47. 2,25 m margas verdes plásticas con pasadas de arcillas carbonosas, en la base intercalaciones de dolomías margosas.

48. 0,45 m de calcarenitas grainstones recrystalizadas, porosas y con bivalvos.

49. 0,35 m margas dolomíticas verdes con m.o.

50. 1,8 m dolomías margosas en finos bancos separados por niveles de arcillas y margas negras con m.o., especialmente a base.

51. 0,8 m dolomías margosas a base y margas a techo. 0,20 m arcillas margosas negras y plásticas, ricas en m.o. oxidada.

52. 0,6 m dolomías margosas de tonos claros.

53. 0,7 m Arcillas negras a base y verdes a techo, con m.o. y laminación wavy. Terminan con un nivel de arenas finas.

54. 0,25 m Arenas de grano medio granodecrecientes, con laminación cruzada y m.o.

55. 0,55 m Margas verdes con m.o.

56. 0,45 m dolomías margosas algo brechoides.

57. 0,6 m margas verdes con arenas a techo.

58. 2,0 m de margas verdes con intercalaciones arenosas a base, que pasan gradualmente a dolomías margosas y a dolomías brechoides con intercalaciones margosas.

59. 0,7 m calizas homogéneas en tonos claros.

60. 0,4 m margas verdes.

61. 2,2 m calizas margosas con una intercalación de arenas finas de 15 cm hacia la mitad.

62. 1,6 m conservados de arenas lenticulares de grano medio entre margas verdes y niveles carbonosos.

Este registro estratigráfico se organiza de muro a techo en 6 unidades litoestratigráficas de rango informal reconocibles en

sondeo, con características litológicas, sedimentarias, de contenido fósil y de color propias. Algunas de estas características contrastan notablemente con las que se observan en superficie.

1. Alternancia de margas verdes y dolomías margosas tableadas, con intercalaciones arenosas de grano fino en la parte inferior e interestratos arcillosos negros entre los bancos dolomíticos. Definen una unidad de 23,6 m de espesor, en la que hacia techo disminuyen los niveles de margas en beneficio de las dolomías tableadas. Presentan estratificación wavy y lenticular de arenas en la mitad inferior y laminación cruzada en algunos de los niveles arenosos de la base. Las dolomías son de naturaleza brechoide. Se reconocen bivalvos, ostrácodos, fragmentos vegetales y un abundante contenido en materia orgánica (m.o.) que se concentra en los tramos margo-arcillosos de la base y en los interestratos dolomíticos. Este contenido en m.o. es el responsable del tono grisáceo general que presenta la unidad. Únicamente, en los 2,5 m finales y debido a la ausencia de horizontes con m.o., las dolomías son de colores amarillos claros.

2. Dolomías amarillas y beigeas estratificadas en gruesos bancos definiendo un conjunto de 23,4 m de espesor. Su límite inferior viene marcado por un importante nivel de brechas dolomíticas y dolomías margosas, reconocible también en otros sondeos próximos (área de Valdentes) ocupando la misma posición estratigráfica. Presentan una intercalación de dolomías margosas grises de 2,2 m de espesor, con fragmentos vegetales y alto contenido en m.o. Por su parte, las dolomías son porosas, contienen abundantes fragmentos de rudistas y gasterópodos, y se disponen en bancos separados por interestratos margo-arcillosos y superficies ferruginosas. En la mitad superior, se reconocen delgados niveles de margas verdes moldes de sulfatos, superficies ferruginosas y huellas de escape de fluidos, aumentando la proporción de m.o. y de restos vegetales.

Este tramo destaca además por presentar toda una gradación de colores en función de la posición que ocupan con respecto al tramo margo-dolomítico con m.o. señalado, ya que se pasa de tonalidades grisáceas en las proximidades de dicho tramo, a tonos beigeas en situaciones intermedias, y colores amarillos claros en los puntos más alejados. Esta es una característica propia de las facies del sondeo que se manifiesta por encima y por debajo del horizonte de concentración de m.o., y que se produce bajo condiciones de sobrepresión por una difusión de los líquidos orgánicos bien por presión de fluidos o por capilaridad, que impregnan los materiales próximos cambiando su coloración.

3. Dolomías margosas y margas grises similares a la intercalación margo-dolomítica de la 2.^a litofacies. Contienen intercalaciones de arcillas negras y de dolomías en bancos decamétricos, definiendo un tramo homogéneo de 8 m con tonos oscuros, algo verdosos a la base. Presentan fragmentos vegetales, moldes de sulfatos, huellas de escape de fluidos y sobre todo, un elevado contenido en m.o. con restos carbonosos piritizados.

4. Dolomías amarillas masivas estratificadas en bancos gruesos. Hacia la base presenta interestratos arcillosos, superficies ferruginosas y fragmentos de rudistas, y adquiere tonos más grisáceos debido a la proximidad con la unidad marga inferior. Constituye un tramo homogéneo de 17,4 m que destaca por sus colores claros y una elevada porosidad móldica. Los últimos 6,5 m presentan restos vegetales, moldes de sulfatos y mayor proporción de m.o. que condiciona nuevamente un cambio de coloración hacia tonos grises. Termina con un nivel margo-arcilloso negro de concentración de m.o. y restos vegetales con granos subangulosos de cuarzo.

5. Conjunto de 21,3 m de dolomías oquerosas blancas, estratificadas en bancos de tamaño medio-grueso que hacia techo están separados por interestratos arcillosos y alguna superficie ferruginosa. En los metros iniciales presenta un mayor contenido en m.o., restos vegetales y colores grisáceos. Aunque se encuentran muy recrystalizadas, puntualmente se reconocen fragmentos de rudistas y una elevada porosidad móldica.

6. Brechas calcáreas en una matriz margo-arcillosa, con intercalaciones de dolomías blancas oquerosas muy fragmentadas, y arcillas rojas de tonos rojos intensos con cantos de calizas a techo. Constituye un tramo carstificado de 28,5 m perfo-

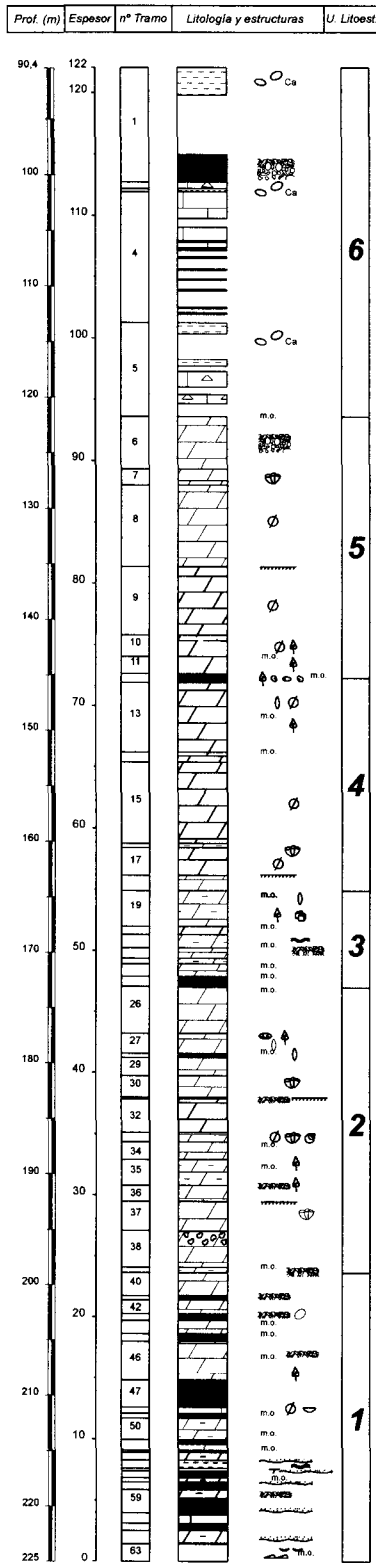


Fig. 2.—Sondeo del Sifón de los Yesos. Representación litológica y unidades litoestratigráficas informales.

rados de los que se ha recuperado 16,3 m de testigo, que afecta a dolomías y calizas dolomitizadas blancas y oquerosas. Las brechas calcáreas y arcillas proceden de la disolución y colapso del macizo carbonatado, mientras que las arcillas rojas constituyen un relleno cárstico con materiales paleógenos más modernos, situados inmediatamente por encima.

Correlación litológica con la sección del Barranco de las Cuevas (Patones). Unidades litoestratigráficas

Como ya hiciera en su día Corchón (1976), la correlación del sondeo con afloramientos de superficie es un paso necesario para comparar las unidades definidas en el sondeo con las unidades litoestratigráficas formalmente establecidas para el Cretácico de esta región. Este paso permite conocer como se manifiestan en profundidad los materiales que habitualmente observamos en superficie.

La sección del Barranco de las Cuevas (Patones) constituye el mejor afloramiento del Cretácico de esta región. Presenta una sucesión sedimentaria completa, con buena calidad de exposición y bajo grado de dolomitización, al menos de parte de la serie carbonatada. Estas características han hecho que recientemente haya sido propuesto como punto de interés estratigráfico y sedimentológico para el Cretácico de la Comunidad de Madrid (Gil *et al.*, 1999).

La primera descripción del afloramiento del Barranco de las Cuevas la realiza Corchón (1976), quien establece dos grandes unidades litoestratigráficas: Fm. Patones, sinónimo de la Fm. Utrillas para hacer referencia al conjunto inferior terrígeno; y Fm. Pontón de la Oliva para el conjunto carbonatado superior en el que distingue a su vez varios miembros en función de su carácter margoso (Mbs. A y C) y calcáreo o dolomítico parcialmente carstificado (Mbs. B y D), características litológicas que evidencian un diferente comportamiento hidrogeológico.

Esta estratigrafía es anterior al estudio estratigráfico del Cretácico de Segovia (Alonso, A., 1981), donde se establecen nuevas unidades litoestratigráficas formales que posteriormente se correlacionaron con las sucesiones del borde sur del Sistema Central (Alonso y Mas, 1982), siendo finalmente adoptadas en las cartografías geológicas de la serie MAGNA de esta región.

Recientemente, Gil y García (1996) identifican en esta misma sección 4 unidades litoestratigráficas dentro del intervalo que comprenden los materiales cortados en el sondeo (fig. 3). Por debajo de ellas, reconocen a su vez varias unidades terrígenas que, con un espesor total de 60 m constituyen miembros de la Fm. Utrillas. El último de ellos está formado por las *Arenas de Somolinos*, definidas por un con-

junto de arenas y areniscas blancas de grano medio a fino que se disponen en cuerpos lenticulares y erosivos, aflorando de forma discontinua en todo el borde de la sierra.

Fm. Dolomías tableadas de la Tranquera: conjunto de 30 m de espesor constituido por dolomías claras en bancos tableados ocasionalmente bioturbados y delimitados por superficies ferruginosas. Presentan escaso contenido en m.o. y algunos restos bioclásticos. Aunque aquí es una unidad fundamentalmente dolomítica, hacia el O cambia rápidamente a facies de ambientes litorales, presentando en el Cerro de Arrebatacapas un menor desarrollo y carácter más margoso, con mayor contenido en m.o. e intercalaciones de arenas hacia la base. Se interpretan como depósitos de plataforma carbonatada interna en ambientes submareales de aguas someras y tranquilas, con episodios aislados de tormenta (estratificación hummocky).

Fm. Dolomías de Hortezuolos: unidad dolomitizada en todo el borde del Sistema Central, no así en el Barranco de las Cuevas. Esto ha permitido reconocer aquí, las características estratigráficas y sedimentarias originales que estos materiales presentan en su localidad tipo.

Está formada por calcarenitas bioclásticas con gasterópodos y abundantes fragmentos de rudistas estratificadas en bancos de tamaño medio-grueso con superficies ferruginosas a techo, y calizas micríticas con foraminíferos bentónicos y plancónicos en bancos más delgados y muy bioturbados. Presenta dos intercalaciones de calizas margosas y margas nodulares ricas en m.o. y fragmentos vegetales, dividiendo la unidad en varios tramos (fig. 3) que resaltan morfológicamente en el paisaje.

El primero de ellos está formado por 7,5 m de calizas bioclásticas amarillas con rudistas en bancos gruesos con estratificación cruzada y calizas micríticas bioturbadas con una importante superficie ferruginosa a techo; por encima, con un espesor de 2,2 m aflora la primera intercalación de calizas margosas y margas blancas con m.o. que pasan gradualmente a 14,7 m de calcarenitas bioclásticas y calizas micríticas amarillas en bancos alternantes de base y techo netos, terminando en otra superficie ferruginosa. Le sigue la segunda intercalación margosa que con un espesor de 8,2 m presenta a diferencia de la primera un mayor espesor, carácter más carbonatado y nodular, y un mayor contenido en m.o. y restos vegetales. El último tramo está definido por 16,4 m de calizas bioclásticas amarillas muy recristalizadas y porosas, estratificadas en bancos gruesos con ripples y superficies ferruginosas a techo.

Fm. Dolomías de Hontoria del Pinar: son, sin embargo aquí, calcarenitas amarillas muy recristalizadas estratificadas en grandes bancos que presentan sombras de bioclastos y una alta porosidad mól-dica. Presenta un espesor regional de 23 m aunque en el Barranco de las Cuevas sólo son visibles los primeros 13 m, ya que el resto queda cubierto por derrubios de ladera.

Fm. Calizas del Burgo de Osma: constituye la última unidad carbonatada de la cuesta cretácica, presentando generalmente malas condiciones de afloramiento. Está formada por calizas y calizas dolomíticas carstificadas y estratificadas en grandes bancos, que presentan un espesor regional de 26 m y constituyen el techo morfológico del conjunto carbonatado cretácico en toda la región.

La sucesión aquí descrita presenta una buena correlación con las unidades informales reconocidas en el sondeo (fig. 3). Destaca el hecho de que después de la corrección de espesores aparentes provocada por el buzamiento de la serie, y que supone un 10 % menos del valor medido directamente sobre el testigo, el ajuste con las unidades de superficie es bastante bueno (fig. 3). Este hecho permite validar el proceso corrección y confirmar que el buzamiento de la serie en el sondeo es de 26-28° E-SE.

Por posición estratigráfica, facies y espesores, la alternancia de margas y dolomías margosas tableadas que constituyen la unidad (1) del sondeo se correlaciona con la Fm. Dolomías de la Tranquera debido a que, aunque la Fm. Tranquera es un conjunto esencialmente dolomítico, los afloramientos en el borde S del Sistema Central ponen de manifiesto que hacia el O cambia rápidamente de facies y en la columna del Cerro de Arrebatacapas, inmediatamente al N del sondeo, tiene mayor contenido en m.o. e intercalaciones de arenas a la base. Sin embargo, las arenas de la base de la perforación también podrían corresponder al techo de la Fm. Utrillas, no pudiendo precisar con los datos actuales, si corresponden o no a las Arenas de Somolinos, último Mb. de este litosoma.

La disposición estratigráfica de la Fm. Hortezuolos coincide perfectamente en espesores y facies con las unidades de sondeo (2), (3) y parte de la (4). Ello nos permite conocer cómo son estos materiales en profundidad, donde la m.o. no se ha destruido (oxidado) y juega un papel fundamental en la colocación de los materiales próximos a los niveles de concentración. Así, la unidad (2) se correlaciona con los tres primeros paquetes de la Fm. Hortezuolos; la unidad (3) con la segunda intercalación de margas y calizas margosas nodulares; y la unidad (4), excepto su mitad superior, con el último tramo

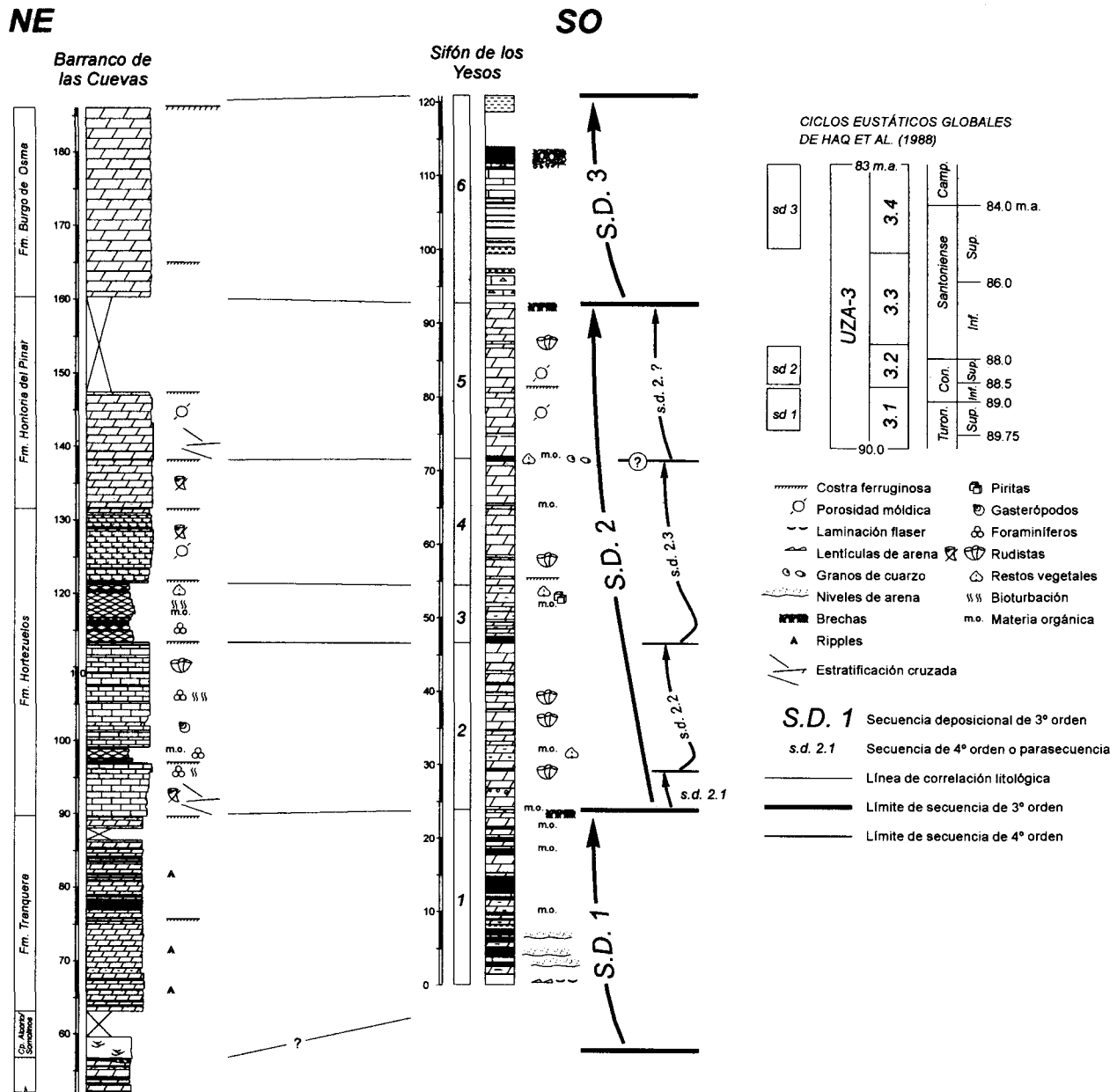


Fig. 3.—Panel de correlación entre el Sifón de los Yesos y el Barranco de las Cuevas, mostrando las unidades litoestratigráficas, las secuencias deposicionales y la edad de los materiales del sondeo.

de calizas recristalizadas. La correlación es tan fina que se pueden identificar los bancos con rudistas, los niveles de m.o. y restos vegetales, los límites de unidades, la posición de las superficies ferruginosas y como muchas de ellas en sondeo corresponden a interstratos margo-arcillosos con moldes de sulfatos, hecho que permite interpretar a los planos de estratificación como superficies de discontinuidad generadas por procesos de ralentización sedimentaria en áreas someras restringidas, donde la produc-

ción de carbonatos disminuye drásticamente y la evaporación provoca condiciones de sobresaturación en las aguas favoreciendo la precipitación de sulfatos.

El resto de la unidad (4) del sondeo (6,8 m superiores) y la unidad (5) completa se correlacionan fácilmente en facies y espesores con la Fm. Hontoria del Pinar, mientras que la unidad (6) lo hace con las Calizas del Burgo de Osma. Estas últimas están afectadas por importantes procesos cársticos

y su espesor es ligeramente superior al de superficie. El hecho de que la carstificación no haya afectado a los litosomas inferiores, quedando restringida íntegramente a esta unidad se debe a la existencia de un control litológico de los procesos de carstificación, afectando a la unidad calcárea y no a las dolomíticas inferiores. En cualquier caso, el que la dolomitización haya afectado a las unidades inferiores y no tanto a esta última unidad (6) se debe a que tales procesos están asociados a una importante interrupción sedimentaria reflejada en la discontinuidad de la base de este último conjunto sedimentario, siendo por tanto, anteriores a su depósito.

Por otro lado, la comparación de estas unidades con las que para el análisis hidrogeológico de esta zona definió Corchón (1976) también es posible. Así, las Fms. Tranquera y Hortezuelos se correlacionan aproximadamente con el Mb. A de la Fm. Pontón de la Oliva (Corchón, F., 1976, fig. 4), que adquiere un gran espesor en la sección del Barranco de las Cuevas debido precisamente al bajo grado de dolomitización y a sus buenas condiciones de afloramiento, que permiten reconocer los tramos margosos dentro de la Fm. Hortezuelos. La identificación o no de estos tramos margosos provoca las diferencias de espesor entre los Mbs. A y B en las diferentes secciones y sondeos analizados por este autor, ya que cuando dicha identificación es posible la Fm. Hortezuelos es englobada en el Mb. A, y cuando no lo es forma parte del conjunto carbonatado-dolomítico homogéneo definido por el Mb. B. El tramo inferior calcarenítico y el superior cubierto de la Fm. Hontoria del Pinar así como la Fm. Burgo de Osma se corresponden por posición estratigráfica y espesores con los Mbs. B, C y D respectivamente de la Fm. Pontón de la Oliva.

Secuencias deposicionales y edad de los depósitos

Durante el Cretácico superior esta región constituye una zona de borde del Surco Ibérico hacia el Macizo Hespérico (Alonso y Mas, 1982; Gil y García, 1996). La sucesión sedimentaria que estudiamos representa la terminación hacia el continente de las sucesivas plataformas carbonatadas desarrolladas en zonas más centrales del surco, dibujando una geometría en forma de cuña sobre el basamento paleozoico con una disminución escalonada de espesores y del carácter marino de los sedimentos hacia el SO (Gil *et al.*, 1993). Desde un punto de vista sedimentario, está formada por facies litorales y marinas someras de carácter mixto terrígeno-carbonatadas, con escasos fósiles

bioestratigráficos. Su carácter litoral les hace ser muy sensibles a las variaciones del nivel del mar, presentando un registro sedimentario bastante incompleto, con numerosas discontinuidades estratigráficas que representan importantes períodos de interrupción sedimentaria, asociados a los cuales existen procesos de dolomitización que borran las características sedimentarias originales de los materiales.

El desarrollo que ha experimentado el análisis secuencial en los últimos años ha supuesto un gran avance en el reconocimiento de este tipo de sucesiones estratigráficas, convirtiéndose en una importante herramienta de correlación y datación, que parte de una moderna concepción del registro sedimentario: Las variaciones del nivel relativo del mar a lo largo de al menos los últimos 255 m.a. han quedado reflejadas en el registro sedimentario de puntos muy distantes de la superficie terrestre mediante secuencias deposicionales de diverso rango (Vail *et al.*, 1977, Haq *et al.*, 1988). La estratigrafía secuencial se basa en el reconocimiento de estas secuencias deposicionales, es decir, de conjuntos de materiales sedimentarios limitados por discontinuidades estratigráficas de diverso tipo, que son la expresión material de fenómenos alocíclicos o globales (clima, eustatismo).

Un ascenso del nivel del mar genera un espacio de acomodación en la cuenca que tiende a ser rellenado con sedimentos de diferente naturaleza, permitiendo el desarrollo de la secuencia deposicional. Por el contrario, una caída eustática produce una interrupción sedimentaria que queda reflejada de forma instantánea a escala geológica mediante una discontinuidad de diferente tipo en función de la magnitud de la caída (Van Wagonner *et al.*, 1988). El carácter isócrono que presentan las discontinuidades estratigráficas debidas a caídas eustáticas las convierte en un elemento de correlación y datación a escala global, de gran utilidad en sucesiones sedimentarias bioestratigráficamente estériles como las que es objeto de estudio en este trabajo.

Esta metodología se ha aplicado con éxito en el estudio del Cretácico superior de diferentes sectores de la Cordillera Ibérica (García *et al.*, 1996b, c, d; Ruiz, 1996; García-Hidalgo *et al.*, 1996; García-Hidalgo *et al.*, 1997; Segura *et al.*, 1999, etc.), estableciendo sus secuencias deposicionales y correlacionándolas con las establecidas por Grafe y Wiedmann (1993) en la Cuenca Vascocantábrica y con las de Haq *et al.* (1988) establecidas a escala global.

En el Barranco de las Cuevas se han establecido 7 secuencias deposicionales de 3.^{er} orden separadas por discontinuidades de diferente rango, correlacionándolas con las de sectores más centrales de la

Cordillera Ibérica (Gil y García, 1996), donde están datadas con criterios bioestratigráficos (Segura *et al.*, 1993; Floquet, 1991). De todas ellas, 3 secuencias deposicionales corresponden al intervalo estratigráfico que comprende los materiales del sondeo. Por correlación con otros sectores de la Cordillera Ibérica y con la escala de Haq *et al.* (1988), la edad de las tres secuencias deposicionales es Turoniense superior-Campaniense inferior (fig. 3). Aunque desde un punto de vista conceptual, el límite de las secuencias deposicionales no tiene porque coincidir con el de las unidades litoestratigráficas (diacrónico), en alguno de los casos que nos ocupan ambos límites coinciden.

La primera secuencia deposicional está definida por las Dolomías de la Tranquera, que en sondeo corresponden a la unidad (1), incluyendo el nivel de arenas basal. Su límite inferior es una importante discontinuidad estratigráfica que marca el comienzo de un ciclo sedimentario de 2.º orden para el Cretácico superior, que en el sondeo queda por debajo del intervalo estratigráfico estudiado, mientras que en superficie queda puesta de manifiesto por el desarrollo de brecha carbonatada que da paso a un conjunto terrígeno de naturaleza erosiva (Gil *et al.*, 1999) reflejo de una importante caída eustática.

La segunda secuencia deposicional está definida por el conjunto de las Dolomías de Hortezielos y Dolomías de Hontoria del Pinar. Es la mejor desarrollada tanto en superficie como en sondeo. La discontinuidad inferior se reconoce con dificultad en superficie, manifestándose por un cambio de facies que deja ver una importante ruptura sedimentaria. Sin embargo, en el sondeo queda caracterizado con un nivel centimétrico de brechas dolomíticas y arcillas con m.o. (fig. 2; tramo 39), reflejando una discontinuidad estratigráfica mayor que confirma la ruptura sedimentaria y el cambio de ambientes deposicionales.

Esta secuencia se organiza a su vez en varias parasecuencias de somerización, separadas por discontinuidades estratigráficas internas, de entre las que destaca aquella que marca la base de la última parasecuencia. En superficie esta discontinuidad se manifiesta mediante una costra ferruginosa sin que existan otros elementos que ayuden a precisar mejor el carácter de la ruptura. Sin embargo, en el sondeo está representada por un nivel margo-arcilloso muy rico en m.o. y granos de cuarzo subangulosos (fig. 2; tramo 12), reflejando una interrupción sedimentaria mayor con entrada de elementos terrígenos al interior de la cuenca. Este hecho sugiere la posibilidad de que la última parasecuencia corresponda realmente a parte de una nueva secuencia de 3.º orden limitada a base

por esta importante discontinuidad estratigráfica y a techo por la disconformidad de la última secuencia deposicional.

La última secuencia deposicional está representada por las Calizas del Burgo de Osma. En el Barranco de las Cuevas, el límite inferior está definido por una disconformidad (García *et al.*, 1996a), interpretándose como una discordancia costera. Dicho límite queda reflejado en el sondeo por un cambio sedimentario neto, remarcado por la carstificación que afecta a los materiales de esta secuencia y no a los de secuencias inferiores más dolomitizados. Dicha dolomitización ha sido anterior al depósito de esta última secuencia, resaltando la importancia de dicho límite.

Conclusiones

La correlación de la columna del sondeo del Sifón de los Yesos con afloramientos de superficie permite la definición en el sondeo de las unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales descritas en superficie, aportando una primera aproximación sobre la edad de los materiales del sondeo. Se comprueba que entre ambas secciones no existen variaciones bruscas de espesores y facies. Únicamente la primera secuencia deposicional, compuesta por las Dolomías de la Tranquera presenta facies que se correlacionan mejor con las que esta unidad tiene en la sección del Cerro de Arrebatacapas más cercana al sondeo. Este hecho pone de relieve la existencia de un cambio de facies hacia ambientes más litorales situado al O del Barranco de las Cuevas.

Se observa como algunas de las propiedades de los materiales y estructuras sedimentarias varían mucho en superficie y en profundidad. Las costras ferruginosas que se reconocen en los afloramientos, suelen ir acompañadas de interstratos arcillosos en los sondeos, hecho que nos hace interpretarlos más como períodos de ralentización que de interrupción sedimentaria.

Algo similar ocurre con las discontinuidades estratigráficas que marcan el límite de las secuencias deposicionales, ya que en superficie se manifiestan por cambios de facies con superficies ferruginosas poniendo de relieve importantes rupturas sedimentarias, mientras que en el sondeo están mucho mejor caracterizadas (fig. 2; tramos 39 y 12) confirmando los datos de superficie. La discontinuidad de la base de la tercera secuencia (fig. 2; techo del tramo 6) no está tan bien caracterizada como las anteriores. Sin embargo, el hecho de que la carstificación que afecta a esta secuencia carbonatada no haya afectado a los materiales de la secuencia ante-

rior, dolomitizada en su parte final, hace pensar en un control litológico de los procesos de carstificación, y lo que es más importante, que esta dolomitización parcial ha sido anterior al depósito de la última secuencia deposicional, dejando al descubierto la existencia de una importante interrupción sedimentaria entre ambas.

Por otro lado, se observa que los niveles de concentración de la m.o. producen en profundidad un cambio de coloración en los materiales próximos a ellos, debido a la difusión de líquidos orgánicos sometidos a una alta presión de fluidos (carga litostática). Así se pasa de colores grisáceos oscuros en los depósitos cercanos al tramo rico en m.o. a tonos beige y amarillos claros a medida que nos alejamos. Esta característica, que no tiene lugar en superficie ya que la m.o. se oxida con rapidez, se convierte en un dato a tener en cuenta en nuevas perforaciones, ya que la presencia de una secuencia de tonalidades puede indicarnos la proximidad o lejanía de uno de estos horizontes, cuya localización estratigráfica es bien conocida en la sucesión sedimentaria local.

Por último, se reconoce también un diferente comportamiento reológico de los materiales en profundidad. Los tramos margosos nodulares con m.o. y restos vegetales que en superficie afloran definiendo tramos blandos y poco competentes, se manifiestan en profundidad como niveles más compactos y dolomíticos. Ello se explica por la presión litostática a la que se encuentran sometidos y a la ausencia de procesos de alteración meteórica que contribuyen a la destrucción de la m.o. y a la disgregación mecánica y química de la roca en superficie.

En definitiva, el descubrir las características que en profundidad presentan los materiales que hasta ahora reconocíamos en superficie nos ayuda a explicar mejor la sucesión cretácica en conjunto, ya que permite realizar interpretaciones sedimentológicas en unidades de difícil reconocimiento; y sobre todo, reconocer el rango o jerarquía de las discontinuidades estratigráficas que definen las secuencias deposicionales. Pero además, el conocimiento de la sucesión sedimentaria del Cretácico superior de esta región en facies de sondeo, constituye una herramienta de trabajo muy útil para futuras campañas de perforación, permitiendo realizar un seguimiento más detallado de los sondeos a pie de pozo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto de Investigación PB96-0676. Nuestro agradecimiento al Canal de Isabel II por las facilidades dadas para la realización de este trabajo, al prof. A. García Quintana por su colaboración en las interpretaciones de campo y al doctor C. Martín Escorza y otro revisor anónimo por la Revisión Crítica del Manuscrito.

Referencias

- Alonso, A. (1981). El Cretácico de la provincia de Segovia (Borde Norte del Sistema Central). *Seminar. Estratigr. Serie monografías*, 7, 271 págs.
- Alonso, A. y Mas, R. (1982). Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al Norte y al Sur del Sistema Central. *Cuad. Geol. Ibérica*, 8, 145-166.
- Corchón, F. (1976). Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara). *Bol. Serv. Geol. O.P.*, 40, 189 págs.
- Floquet, M. (1991). *La plate-forme Nord-Castellane au Crétacé supérieur (Espagne)*. These. Mém. Geól. Univ. Dijon, 14, 925 págs.
- García, A., Gil, J., y Segura, M. (1996a). La terminación sobre el Macizo Hespérico de las plataformas sedimentarias cretácicas del Surco Ibérico, a lo largo del flanco meridional de la Cordillera Carpetana (Guadalajara y Madrid). En: *Itinerarios Geológicos desde Alcalá de Henares* (M. Segura, I. Bustamante y T. Bardaji, eds.) IV Congr. Geol. España, 247-269.
- García, A., García-Hidalgo, J. F., Carenas, B., Ruiz, G., y Gil, J. (1996b). Relaciones genéticas entre las unidades litoestratigráficas del Cretácico medio y superior de la Cordillera Ibérica Occidental. *Geogaceta*, 20, 54-57.
- García, A., Segura, M., García-Hidalgo, J. F., Ruiz, G., Gil, J., y Carenas, B. (1996c). Discontinuidades estratigráficas y secuencias deposicionales del Cretácico medio (Albiense superior-Turoniense medio) en la Cordillera Ibérica central y Sistema Central meridional. *Geogaceta*, 20, 119-122.
- García, A., García-Hidalgo, J. F., Segura, M., Gil, J., Carenas, B., y Ruiz, G. (1996d). Secuencias deposicionales del Cretácico superior no terminal (Turoniense superior-Campaniense inferior) en la zona central de la Península Ibérica (Cordillera Ibérica y Sistema Central). *Geogaceta*, 20, 123-126.
- García-Hidalgo, J. F., Segura, M., García, A., y Ruiz, G. (1996). Cortejos sedimentarios en parasecuencias de 4.º y 5.º orden en el Cenomaniense de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (España). *Geogaceta*, 20, 127-130.
- García-Hidalgo, J. F., Segura, M., y García, A. (1997). El Cretácico del Borde Septentrional de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. *Rev. Soc. Geol. España*, 10, 39-52.
- Gil, J., García, A., y Segura, M. (1993). Secuencias deposicionales del Cretácico en el flanco Sur del Sistema Central. *Geogaceta*, 13, 43-45.
- Gil, J., y García, A. (1996). El Cretácico del borde meridional del Sistema Central. Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geol.*, 52, 37-49.
- Gil, J., Segura, M., y García-Hidalgo, J. F. (1999). Stratigraphic and sedimentologic analysis of the Cretaceous at «Barranco de las cuevas» (Patones, Madrid): A geological interest site in the Community of Madrid. En: *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium* (D. Baretino, M. Vallejo & E. Gallego, Edit.), Madrid (España), 172-176.
- Gräfe, K. U., y Wiedmann, J. (1993). Sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous of the Basco-Cantabrian Basin (northern Spain). *Geol. Rundschau*, 82, 327-361.