



Informe Técnico CIEMAT

PROYECTO PmaCO2: Porosidad y mecanismos de atrapamiento de CO2

Informe de Muestreo de la Formación Utrillas en el sondeo SD-1 (Tejada – Burgos)

2013

**R. Campos
I. Barrios
I. Suárez**

*Laboratorio de Petrofísica
Unidad de Geología Ambiental Aplicada
Departamento de Medio Ambiente
CIEMAT*

AGRADECIMIENTOS:

Este estudio se está realizando dentro del proyecto CGL2011-24768: *El sistema poroso de las facies Utrillas: Caracterización de sus propiedades y su influencia en los mecanismos de atrapamiento de CO₂ en AGPs*, financiado por la Secretaria de Estado e Investigación, del MINECO.

Agradecemos al Dr. Aracil de AGS, la supervisión de las diagráfías del sondeo SD1.

Agradecemos al Dr. Rodríguez-López del Grupo de Análisis de Cuencas Sedimentarias del Departamento de Estratigrafía-Instituto de Geología Económica UCM-CSIC de Madrid, la supervisión de las muestras estudiadas y las ideas aportadas respecto a la interpretación sedimentológica de las facies cortadas en el sondeo SD1.

FIGURAS

- Figura 1 .- (a) Mapa geológico simplificado de la Cordillera Ibérica mostrando el área de estudio de Rodríguez-López et al., (2009), en la que hemos posicionado (punto rojo) el sondeo SD-1 (IGME 2010) para la localización del área de estudio de este trabajo. (b) Esquema del registro sedimentario mostrando la localización de las Formaciones Escucha y Utrillas según Rodríguez-López et al., (2009). (c) Panel de correlación estratigráfica de Rodríguez-López et al.,(2009) en el que se muestra la Superficie de Discontinuidad Regional (SDR) que separa la Sucesión Sedimentaria Inferior (SSI) y Superior.*
- Figura 2 .- Posición del Sondeo SD-1 sobre la cartografía geológica MAGNA modificada.*
- Figura 3 .- Muestras 1 y 2. Posición de las muestras 1 y 2 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1.*
- Figura 4 .- Muestra 3. Posición de la muestra 3 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1.*
- Figura 5.- Muestra 4. Posición de la muestra 4 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1.*
- Figura 6 .- Muestra 5. Posición de la muestra 5 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1.*
- Figura 7.- Muestras 6 y 7. Posición de las muestras 6 y 7 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1.*

FOTOS

- Foto 1 .- Muestra 3 - 25.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con signos de oxidación (a) nícoles paralelos y (b) nícoles cruzados.*
- Foto 2 .- Muestra 3 - 25.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con cementos carbonáticos tapizando los bordes de grano (a) nícoles paralelos y (b) nícoles cruzados*
- Foto 3 .- Muestra 4 - 35.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con importantes cementaciones carbonáticas (a) vista general con nícoles paralelos, (b) vista general con nícoles cruzados.*
- Foto 4 .- Muestra 4 - 35.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con importantes cementaciones carbonáticas, (a) y (b) vista de detalle de rellenos mostrando la presencia de algunos cristales.*
- Foto 5 .- Muestra 5 - 38.0m – Sondeo D1 - Clastos de cuarzo fisurados sobre una matríz de idéntica composición, arenosa de grano fino. Nícoles cruzados.*
- Foto 6 .- Muestra 5 - 38.0m – Sondeo D1 - Clastos de cuarzo heterométricos (100-250 μ m) sobre una matriz de idéntica composición y grano fino, (a) nícoles paralelos (b) nícoles cruzados.*

GEOLOGÍA - SELECCIÓN DE MUESTRAS

El avance del conocimiento asociado al estudio de los depósitos detríticos de las Facies Utrillas en los últimos 30 años ha sido muy intenso y ha posibilitado además del análisis detallado de los mismos, el acuñamiento de nuevas interpretaciones relacionadas con los ambientes sedimentarios en los cuales se generaron. La existencia de estas nuevas aportaciones al mundo científico no debe menoscabar el trabajo geológico realizado con anterioridad, ya que son estos trabajos la base del conocimiento actual y probablemente sin ellos no hubiera sido posible una visión global para estas nuevas interpretaciones aún en revisión.

Dado que este trabajo no aporta nuevas interpretaciones sobre la estratigrafía y/o ambientes sedimentarios asociados a los depósitos de Utrillas, sino que lo que pretende es profundizar en el campo de la microestructura de poros y propiedades físicas de la formación, en sus diferentes facies y de cara a la evaluación de los procesos de flujo y/o retención de CO₂ a través de la roca, nuestra opción es tener en cuenta y respetar al máximo todos los trabajos geológicos realizados hasta el momento sobre estos materiales.

Desde la definición de Fallot y Bataller (1927) la cual a su vez fue precedida por otros trabajos de investigación, hasta las últimas investigaciones de Rodríguez López et al., (2012), las Formaciones Arenas de Utrillas y Lignitos de Escucha han sido abordados continuamente desde un punto de vista científico y en ocasiones económico.

En 1927 Fallot y Bartaller incluyeron en una misma unidad a todos los depósitos terrígenos que se sitúan sobre las facies calcáreas del Aptiense y por debajo de las del Cretácico Superior y tienen que pasar casi 50 años para que Aguilar et al., en 1971, diferenciaron en estas rocas dos unidades que denominaron Formación Lignitos de Escucha del Aptiense superior – Albiense inferior y Formación Arenas de Utrillas del Albiense superior – Cenomaniense inferior. Esta individualización en dos unidades supuso un gran cambio en la forma de abordar el estudio de estos materiales y desde entonces el conocimiento asociado a ambas formaciones ha avanzado de una forma constante (Gil et al., 2004).

Entre las principales contribuciones, destacar los trabajos que se presentaron en el II Coloquio del Cretácico en España en 1982, así como todo el trabajo recogido en el plan MAGNA, además de los trabajos de García et al., (1978 y 1989); Carenas (1987) y García Hidalgo et al., (1997, 1998, 2001 y 2003) entre otros. Queremos destacar especialmente los trabajos de Pardo (1974, 1977 y 1979), y Pardo y Villena (1977, 1979 y 1981) que aborda en su Tesis Doctoral el estudio estratigráfico y sedimentológico de las Formaciones Escucha y Utrillas en el Bajo Aragón e interpreta la Formación Utrillas como un depósito de un sistema fluvial. El mismo autor, años después (Pardo et al., 1991) señala la posible existencia de influencia mareal.

Entre 1985 y 1990 también se aborda el estudio de ambas formaciones desde un punto de vista industrial, y entre los trabajos desarrollados bajo este enfoque, podemos destacar los de Martín et al., (1986) y Querol (1988 y 1990).

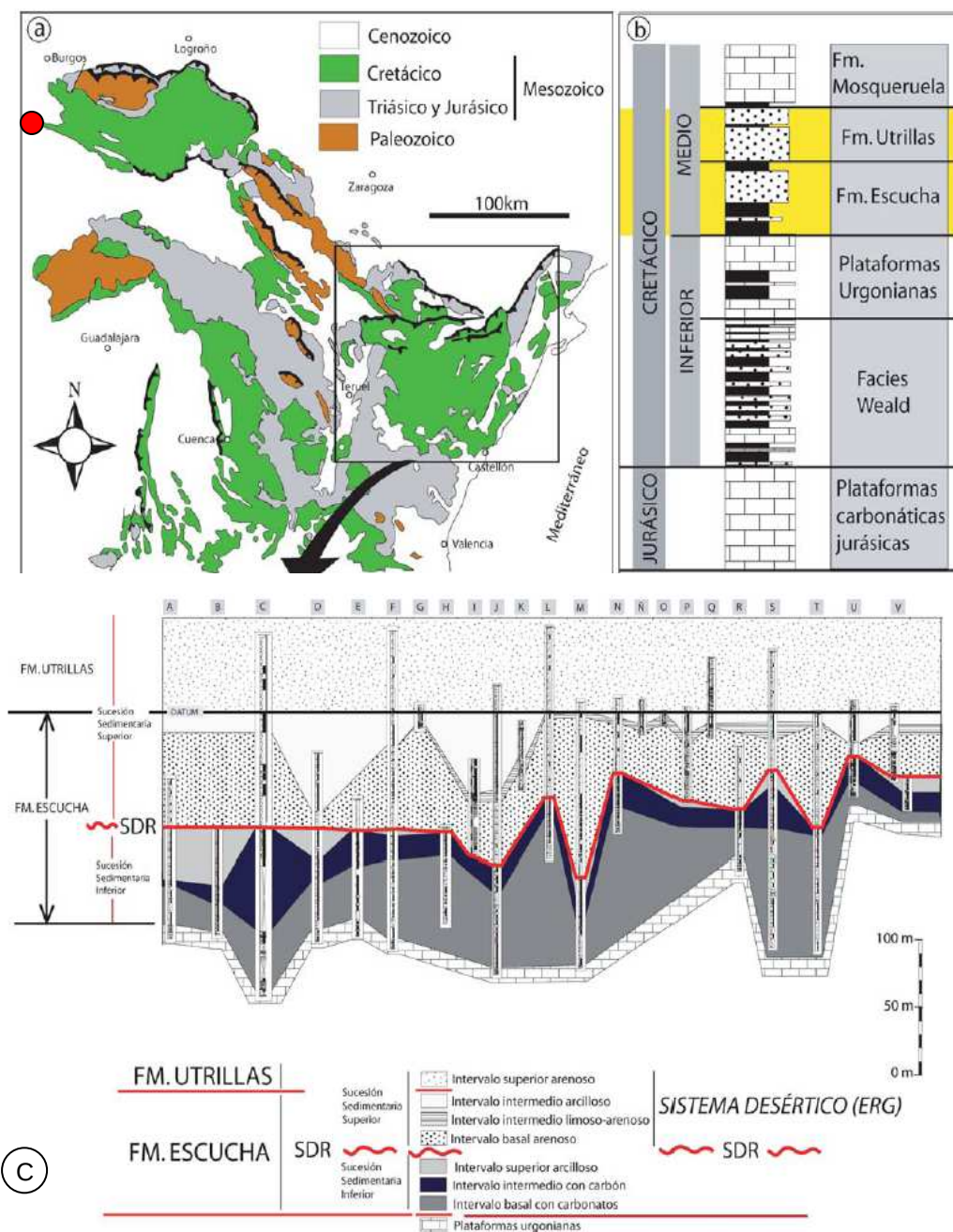


Figura 1.- (a) Mapa geológico simplificado de la Cordillera Ibérica mostrando el área de estudio de Rodríguez-López et al., (2009b), en la que hemos posicionado (punto rojo) el sondeo SD-1 (IGME 2010) para la localización del área de estudio de este trabajo. (b) Esquema del registro sedimentario mostrando la localización de las Formaciones Escucha y Utrillas según Rodríguez-López et al., (2009b). (c) Panel de correlación estratigráfica de Rodríguez-López et al., (2009b) en el que se muestra la Superficie de Discontinuidad Regional (SDR) que separa la Sucesión Sedimentaria Inferior (SSI) y Superior (SSS).

La mayor precisión en los trabajos realizados, pone de manifiesto el carácter diacrónico de las facies Utrillas y mientras la edad atribuida en su área tipo se sitúa entre el Albiense y Cenomaniense, los estudios realizados en el Sistema Central le atribuyen una edad Turoniense superior-Coniaciense. Según Gil et al., (2004) se admite una edad comprendida entre el Aptiense (Arias, 1978), y el Santoniense (Gil, 2002). Hasta este momento se considera que son un

conjunto de cuerpos de roca con diferencias de facies, edad y disposición paleogeográfica. La interpretación más extendida es que estos depósitos constituyen las terminaciones terrígenas de las plataformas carbonatadas desarrolladas en el Surco Ibérico hacia el Macizo Hespérico, durante los diferentes episodios deposicionales del Cretácico Superior (Gil et al., 2004).

Los estudios estratigráficos y sedimentológicos llevados a cabo muy recientemente, entre el año 2005 y el año 2012 (*Figura 1* – Rodríguez-López, 2008 y Rodríguez-López et al., 2005, 2006a y b, 2007a y b, 2008a y b, 2009 a y b, 2010 y 2012), aportan nuevos datos e interpretaciones que sugieren que los tramos arenosos, arcillosos y limosos de la parte alta de la Formación Escucha y la totalidad de la Formación Utrillas constituyen el registro sedimentario del primer sistema desértico Cretácico de Europa.

Este sistema desértico se desarrolla, según los autores, sobre una superficie de discontinuidad regional (SDR) que se encuentra dentro del registro de la Formación Escucha y que marca la desaparición de los niveles de carbón. Según los trabajos citados esta SDR separa dos sucesiones estratigráficas, una inferior (SSI) que contiene niveles de carbón y otra superior (SSS) formada por areniscas y en menor proporción arcillas y limos.

Haciendo un resumen de los estudios recientes y citados en los párrafos anteriores, la SDR tiene las siguientes características:

- Se localiza en el registro sedimentario de la Formación Escucha.
- Marca la desaparición regional de las capas de carbón, por lo que separa dos sucesiones sedimentarias diferentes.
- Es reconocible en varios sectores de la Cordillera Ibérica, marcando una discontinuidad regional.
- Está asociada a una etapa de erosión puesto que la discontinuidad afecta a diferentes tramos infrayacentes.
- Se produce con posterioridad a un episodio tectónico distensivo que afecta a la SSI, que muestra fallas lítricas y discontinuidades (Rodríguez-López et al., 2006b, 2007a y b).

La Sucesión Sedimentaria Superior (SSS) abarca la parte superior de la Formación Escucha que incluye areniscas, limos y arcillas y la totalidad de la Formación Utrillas, que presenta también areniscas limos y arcillas. Esta sucesión superior se sitúa entre la Superficie de Discontinuidad Regional (SDR) y las plataformas carbonatadas del Cretácico Superior y constituye según Rodríguez-López., (2009), un sistema desértico arenoso (erg) que se extiende en las provincias de Zaragoza, Teruel y Soria, teniendo uno de sus límites occidentales (back-erg) hacia la provincia de Burgos (Rodríguez-López, com.per.).

La SSS presenta potentes tramos arenosos muy homométricos con estratificación cruzada. El estudio sedimentológico llevado a cabo por los autores citados concluye que se trata de facies eólicas, entre las que se reconocen dunas, sandsheets, interdunas, depósitos de sabkha y depósitos extraduna tipo lagoon, que siendo depósitos coetáneos constituyen la arquitectura de un sistema desértico arenoso, zonado, desde las regiones proximales situadas hacia el NO, hasta las zonas distales situadas hacia el SE.

Este sistema desértico presentaría la zonación descrita por Porter (1986) en tres sectores, desde una posición proximal (back-erg) hacia una posición central (central-erg) hasta una posición distal (fore-erg). En la zona proximal se produce la interacción entre los sistemas fluviales efímeros y el viento, mostrando facies asociadas a ciclos fluvio-eólicos.

El back-erg a su vez presenta dos dominios, uno interno (inner back-erg) y otro externo (outer back-erg), en el que se encuentran potentes acumulaciones de arenas eólicas interestratificadas con conglomerados depositados en sistemas fluviales efímeros.

La presencia de tramos arenosos-arcillosos podría corresponder a una llanura de inundación efímera, o a depósitos de Mud-Playa, que señalan la proximidad de la línea de costa y la consecuente influencia de los ambientes sedimentarios más característicos del fore-erg.

Precisamente es en esta zona donde realizamos el primer muestreo para el estudio de la porosidad en el ámbito del proyecto PmaCO₂, ya que disponemos de un sondeo de 63 m de profundidad realizado prácticamente en su totalidad en las Facies Utrillas.

El Sondeo de Tejada CD-SO-01 (IGME, 2010), en adelante SD-1, se encuentra muy próximo a la localidad de Tejada, a unos 600 m en dirección NW, en la hoja del MTN número 314 (Cilleruelo de Abajo) y en las coordenadas X e Y, UTM (m) 455121, 4645113, a una cota de 1110m, s.n.m.

En la *figura 2* se encuentra reflejada la posición del sondeo sobre la cartografía MAGNA simplificada de la zona y un extracto de la leyenda en la que se señala la formación almacén.

Según la testificación geológica realizada por el IGME en sus campañas de campo, se diferencian en el sondeo Tejada SD-1, dos tramos uno inferior, con areniscas, conglomerados y arcillas que corresponde a la Formación Utrillas y uno superior, con margas y calizas margosas y que corresponde con las formaciones Picofrentes, Santa María de las Hoyas y Cabrejas del Pinar.

Según la memoria de la hoja 314 (Cilleruelo de Abajo) el espesor de la Formación Utrillas es de unos 200 m. La formación se asienta sobre una discordancia basal en la que se pueden desarrollar procesos de exposición y alteración subaérea, microkarstificación e incluso suelos lateríticos (García Hidalgo et al., 1997).

La Formación Utrillas se compone de materiales terrígenos formando una macrosecuencia granodecreciente que incluye varias secuencias granodecrecientes con un espesor variable entre 10 y 15 m. Comienzan por conglomerados o areniscas de grano muy grueso, con clastos de cuarzo y cuarcita principalmente y matriz areno-arcillosa de composición caolinífera. En la parte media de las secuencias aparecen arenas gruesas a finas en el techo, con matriz arenoso-arcillosa y abundante caolín. La parte superior de las secuencias está formada por limos arenosos y arcillas de colores verdosos o rojizos.

En la cartografía MAGNA se atribuyen a estos depósitos un carácter continental, con cursos fluviales de tipo braided, con áreas madres situadas hacia el oeste y noroeste y de naturaleza ígnea y siliclástica. También se

definen ambientes de deltas dominados por mareas y facies de llanura mareal y otros depósitos. Según los últimos estudios citados los depósitos pertenecerían a un ambiente de borde desértico con una influencia mareal, es decir un ambiente desértico muy próximo a la línea de costa (Rodríguez López, com.per).

En la serie de Tejada, a techo de la Formación Utrillas aparece un nivel centimétrico ferruginoso, que marca probablemente una interrupción en la sedimentación y sitúa el límite entre las unidades Utrillas y la superior (S.M.Hoyas + Cabrejas del P. + Picofrentes) en la que aparecen restos fosilíferos de tipo marino que por debajo están ausentes.

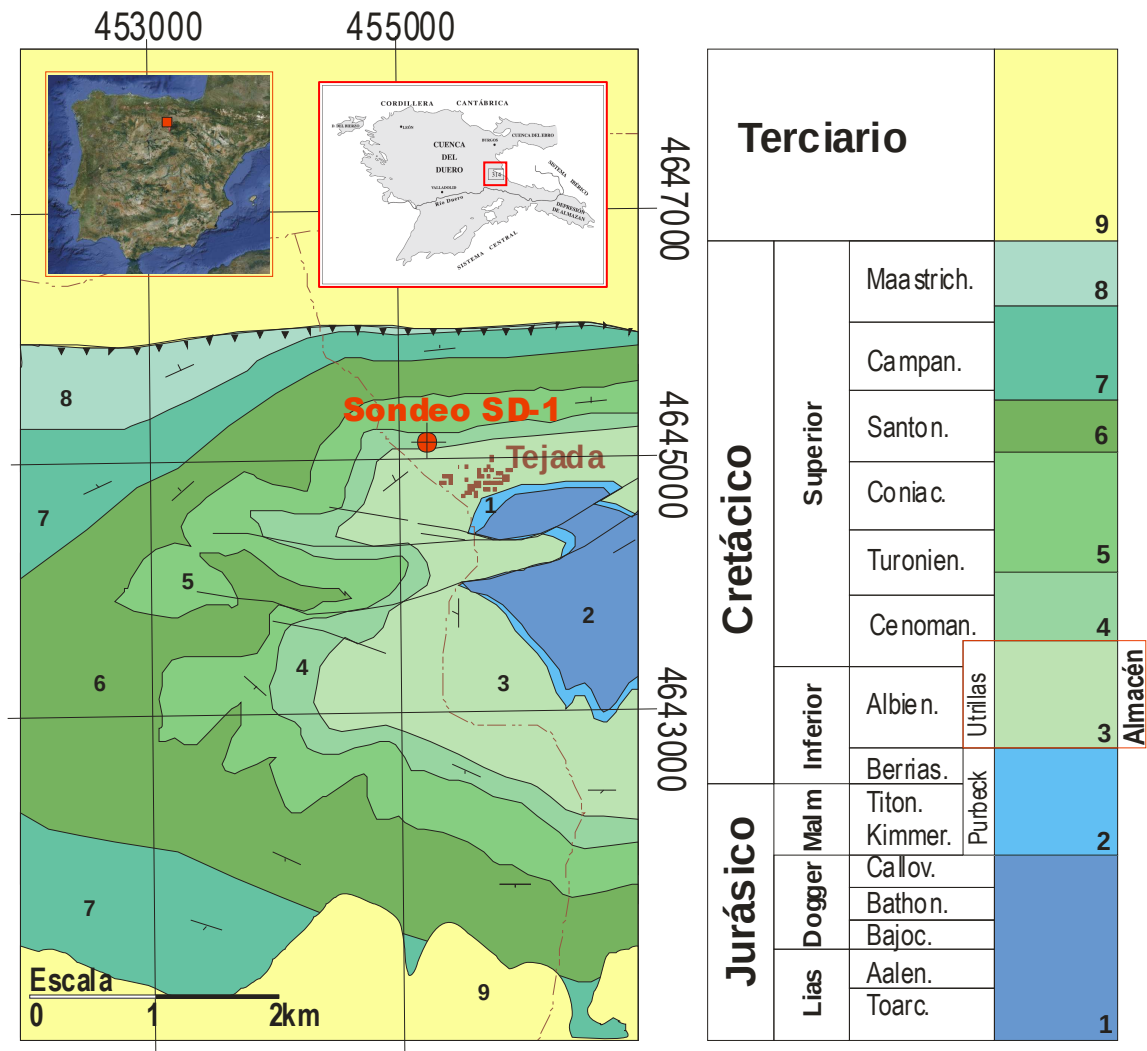


Figura 2.- Posición del Sondeo SD-1 sobre la cartografía geológica MAGNA modificada.

En la base de esta unidad se dispone una sucesión de 5 m de espesor, pero de gran continuidad lateral constituida por arenas con niveles de ostréidos en la base (Fm. Santa María de las Hoyas, Floquet et al., 1982) y alternancia de calizas y margas con abundante fauna hacia techo (Fm. Cabrejas del Pinar, Alonso et al., 1993), en esta zona como estas dos formaciones aparecen con espesor muy reducido, se incorporan a la formación suprayacente que es la Formación Margas de Picofrentes, constituida por margas de color verde y gris,

con nódulos calcáreos y abundantes restos fosilíferos, el espesor medio es de 50m.

El conjunto es de edad Cenomaniense medio - Cenomaniense terminal-Turonense inferior, y se interpretan como depósitos de plataforma somera, rampa externa y plataforma abierta respectivamente.

Según la testificación llevada a cabo por el IGME el sondeo SD-1 corta hasta el metro 13.80, margas y calizas margosas y a partir de este metro y hasta final de sondeo (64.30m) areniscas, conglomerados y arcillas de la Formación Utrillas. La parte alta del sondeo se ha considerado como la Fm. Picofrentes, mientras que el resto se ha considerado la Fm. Utrillas.

El muestreo en el sondeo SD-1 ha cubierto las variaciones de facies existentes, siempre teniendo en cuenta que existen tramos donde no ha sido posible la recuperación de testigo continuo debido a la naturaleza deleznable de esta formación.

La muestra 1 (*Figura 3*) está tomada a 10.30 m de profundidad en el sondeo SD-1, según la testificación geológica llevada a cabo por el IGME corresponde a un tramo de arenas margo-arcillosas de grano fino, que se extiende desde el metro 9.30 al 10.55, dado su carácter predominantemente arenoso podría corresponder a la formación Santa María de las Hoyas, como se ha mencionado en párrafos anteriores las formaciones Picofrentes, Santa M^a de las Hoyas y Cabrejas del Pinar constituyen una única unidad cartográfica en esta zona de trabajo.

La muestra 2 está tomada a 11.00 m de profundidad en el sondeo SD-1 en un tramo limo-arenoso-arcilloso que se extiende desde el metro 11.65 al metro 11.80 (*Figura 3*). Igual que la muestra anterior constituyen la base de las formaciones suprayacentes, englobadas bajo el nombre de Picofrentes y por el momento no son objeto de estudio ya que no corresponden estrictamente a la formación almacén.

La muestra 3 (*Figura 4*) está tomada a 25.40 m de profundidad en el sondeo SD-1 en un tramo de arenas de grano medio-fino con importantes procesos de oxidación (*Foto 1 a y b*), que se extiende desde el metro 24.80 al 25.85. Presenta matriz arcillosa y algunos cementos carbonáticos (*Foto 2 a y b*).

La muestra 4 es muy parecida a la anterior (*Figura 5*) está tomada a 35.4 m de profundidad en un tramo de arenas de grano medio-fino con tonalidades versicolores que denotan un alto contenido en arcillas, se observan también abundantes cementos carbonáticos que no solo tapizan los clastos sino que rellenan cavidades (*Fotos 3 y 4 (a y b)*).

La muestra 5 (*Figura 6*) es una arena de grano medio-grueso tomada a 38.00m de profundidad. Presenta zonas oxidadas y la matriz caolinítica es más abundante que en muestras anteriores. En la testificación geológica realizada por el IGME esta muestra estaría tomada en un tramo de arenas versicolores de grano fino, sin embargo su observación y estudio al microscopio indica que se trata de una arena de grano medio – grueso, heterométrica, con presencia de algunos clastos fisurados (*Foto 5*) de tamaño muy próximo a los microconglomerados, en una matriz de idéntica composición y grano fino (*Foto 6 a y b*).

Finalmente las muestras 6 y 7 (*Figura 7*) corresponden a arenas blancas de tamaño de grano grueso, muy caolinizadas. Se tomaron a 61.30 y 63.00m de profundidad en el sondeo SD1. Ambas pueden presentar zonas de oxidación y algún clasto de mayor tamaño de cuarzo o cuarcita. Corresponden a los dos últimos tramos que se testifican en el sondeo entre 61.00 y 64.30m.

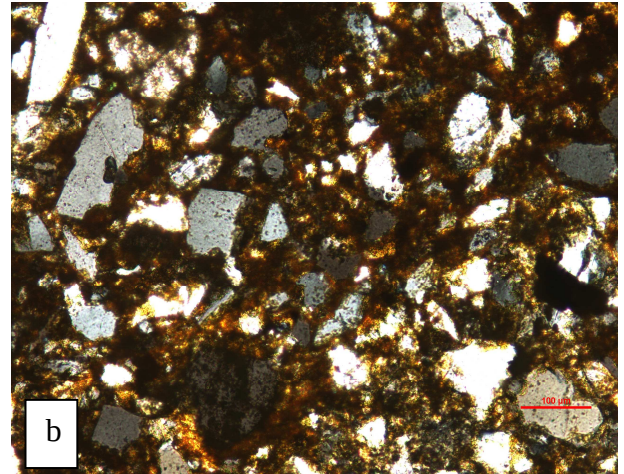
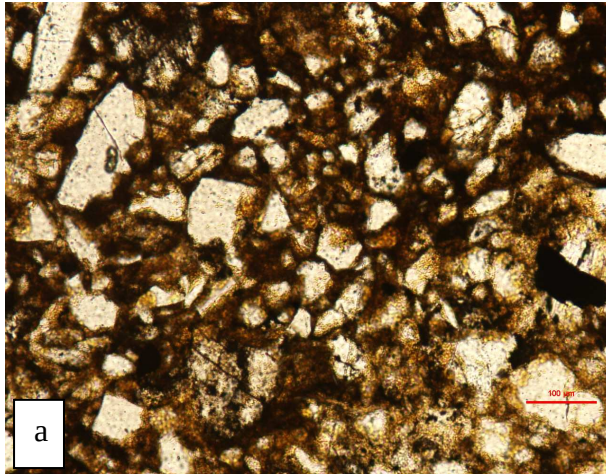


Foto 1.- Muestra 3 - 25.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con signos de oxidación (a) nícoles paralelos y (b) nícoles cruzados.

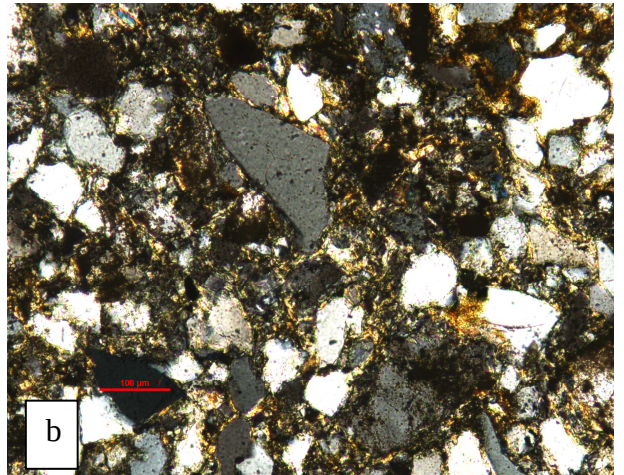
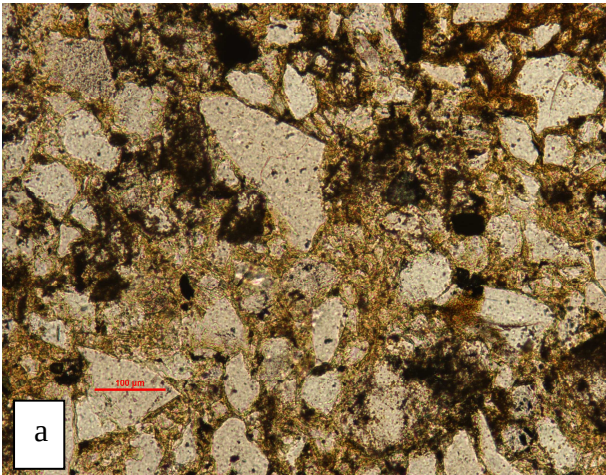


Foto 2.- Muestra 3 - 25.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con cementos carbonáticos tapizando los bordes de grano (a) nícoles paralelos y (b) nícoles cruzados.

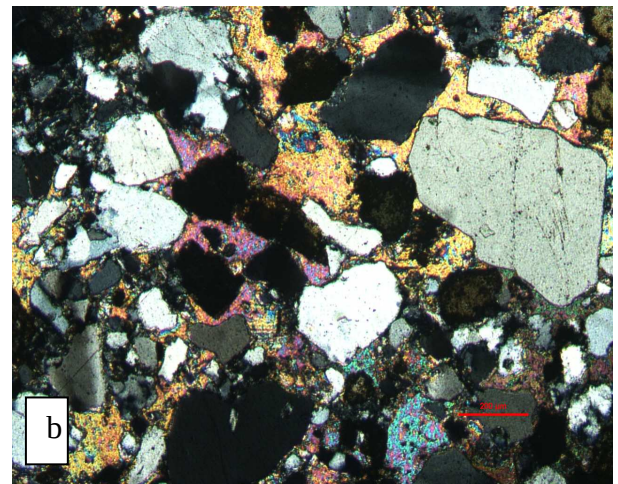
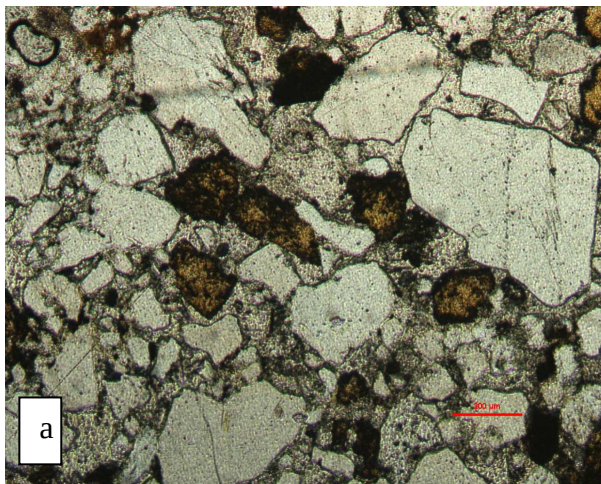


Foto 3.- Muestra 4 - 35.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con importantes cementaciones carbonáticas (a) vista general con nícoles paralelos, (b) vista general con nícoles cruzados.

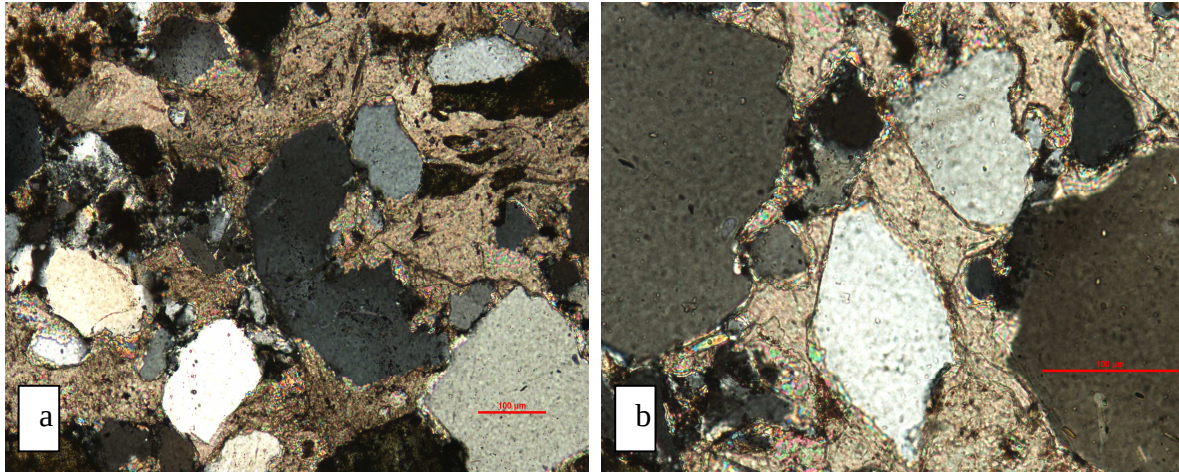


Foto 4.- Muestra 4 - 35.40 m - SD-1. Arenas de grano medio-fino con importantes cementaciones carbonáticas, (a) y (b) vista de detalle de rellenos mostrando la presencia de algunos cristales.

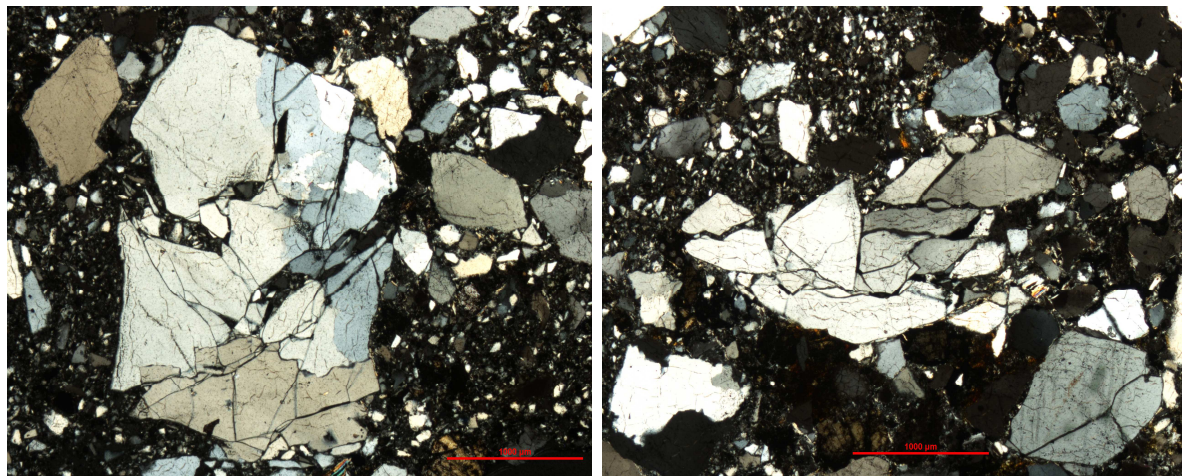


Foto 5- Muestra 5 - 38.0 m – Sondeo D1 - Clastos de cuarzo fisurados sobre una matriz de idéntica composición, arenosa de grano fino. Nícoles cruzados.

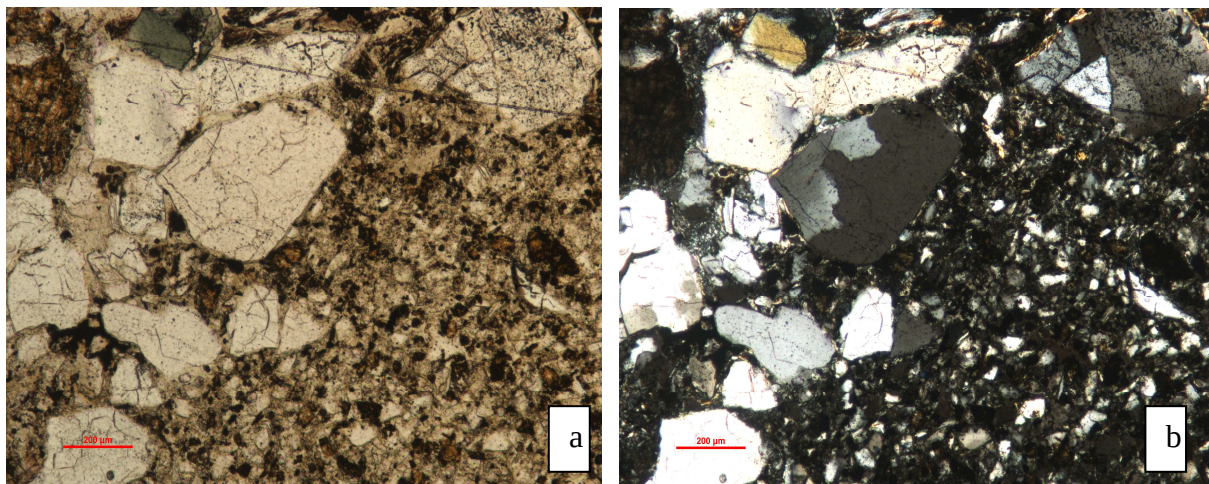
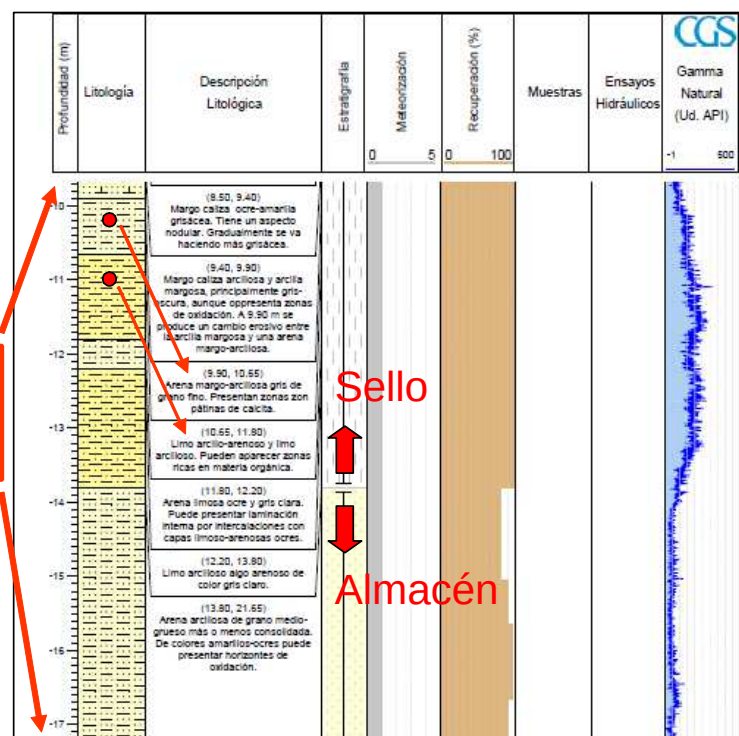
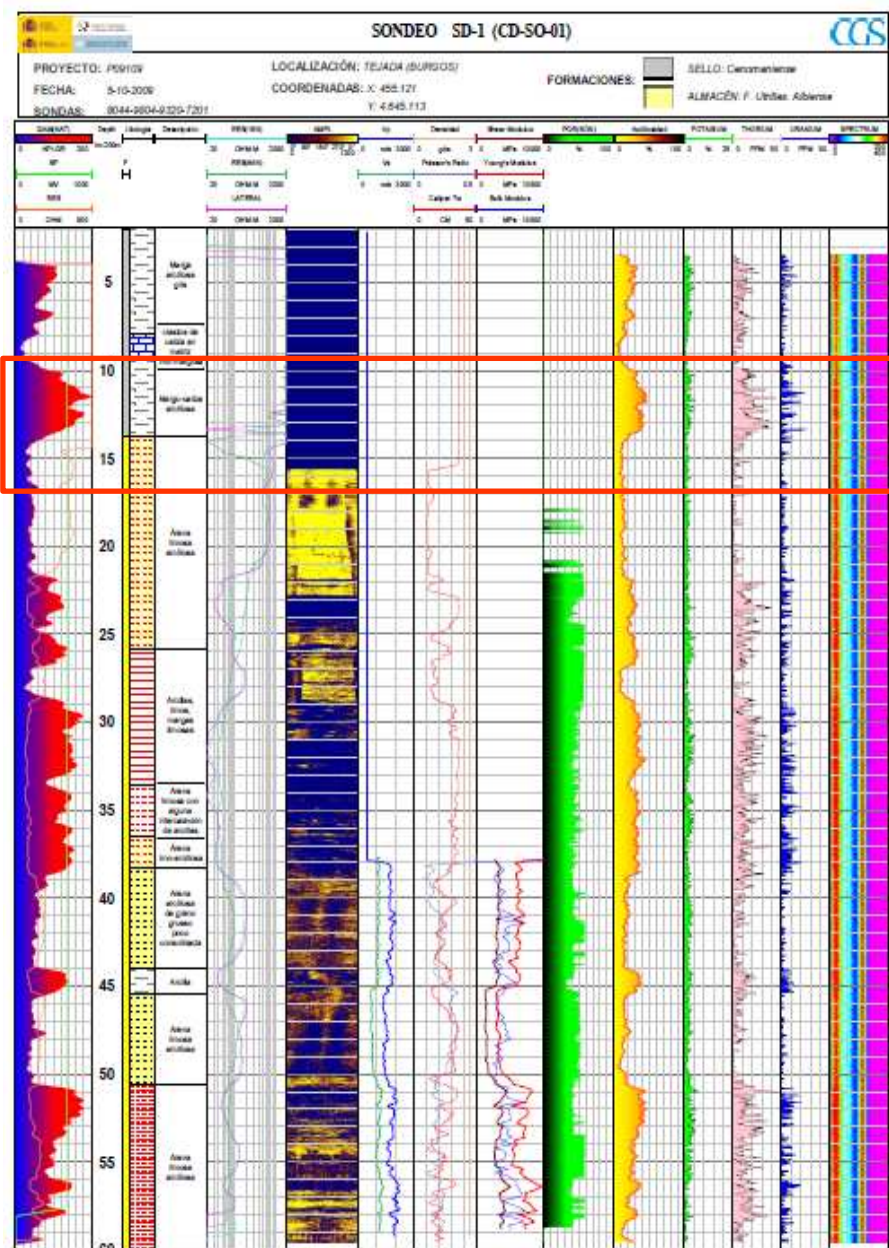


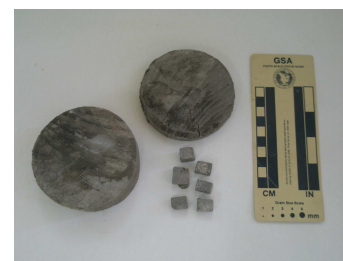
Foto 6.- Muestra 5 - 38.0 m – Sondeo D1 - Clastos de cuarzo heterométricos (100-250 µm) sobre una matriz de idéntica composición y grano fino, (a) nícoles paralelos (b) nícoles cruzados.



Formación Picofrentes
SELLO Margocaliza arcillosa-limosa, arenosa
 Gris, +/- MO

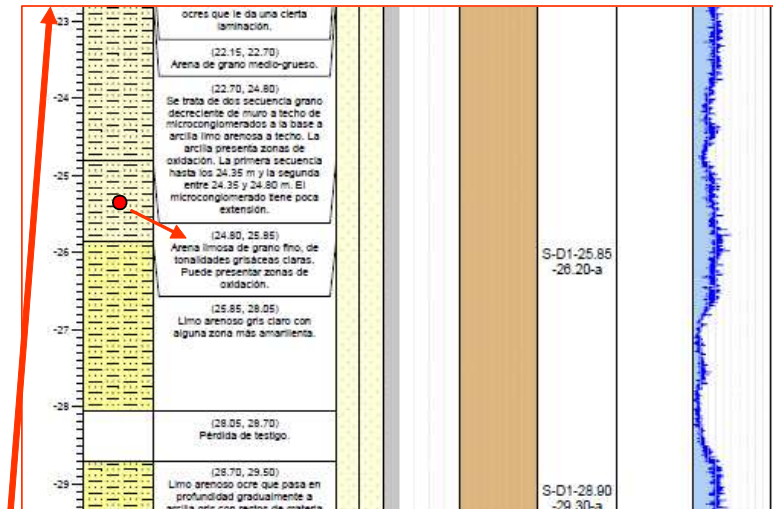
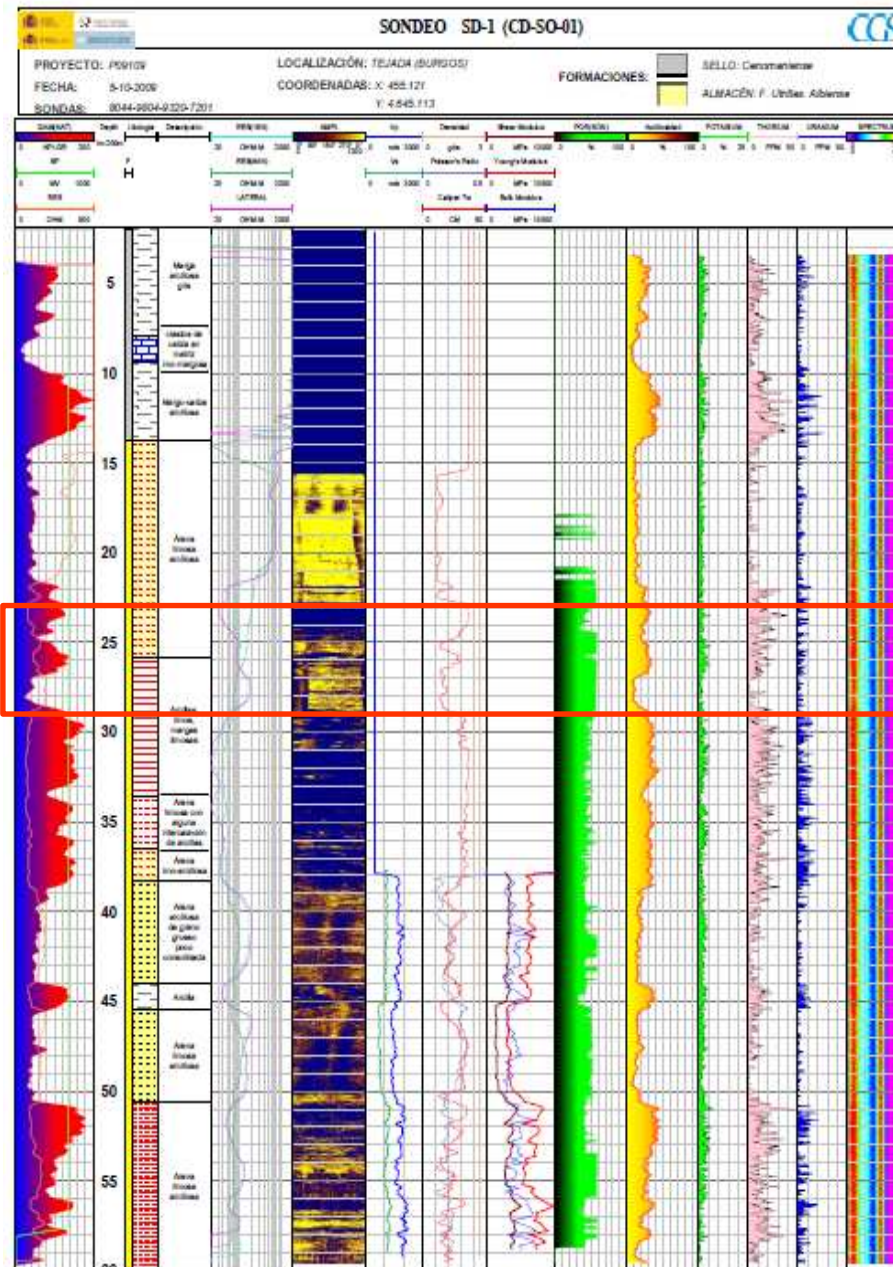


10.30 m



11.00 m

Figura 3.- Muestras 1 y 2. Posición de las muestras 1 y 2 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1

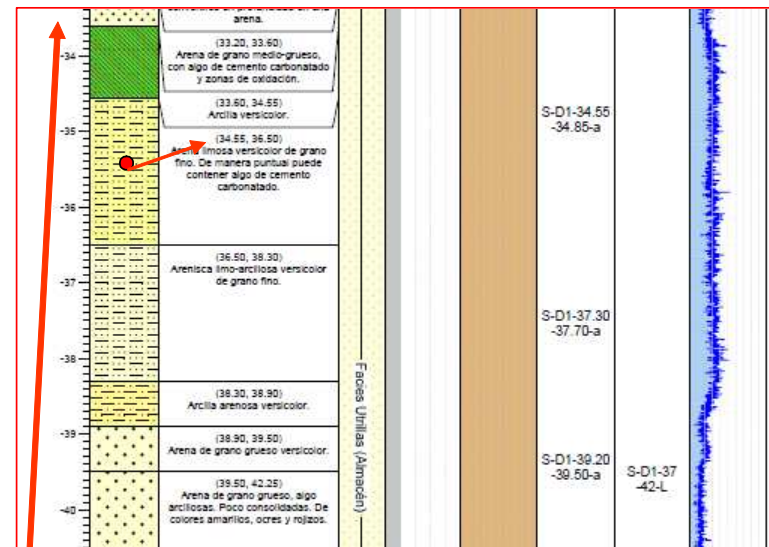
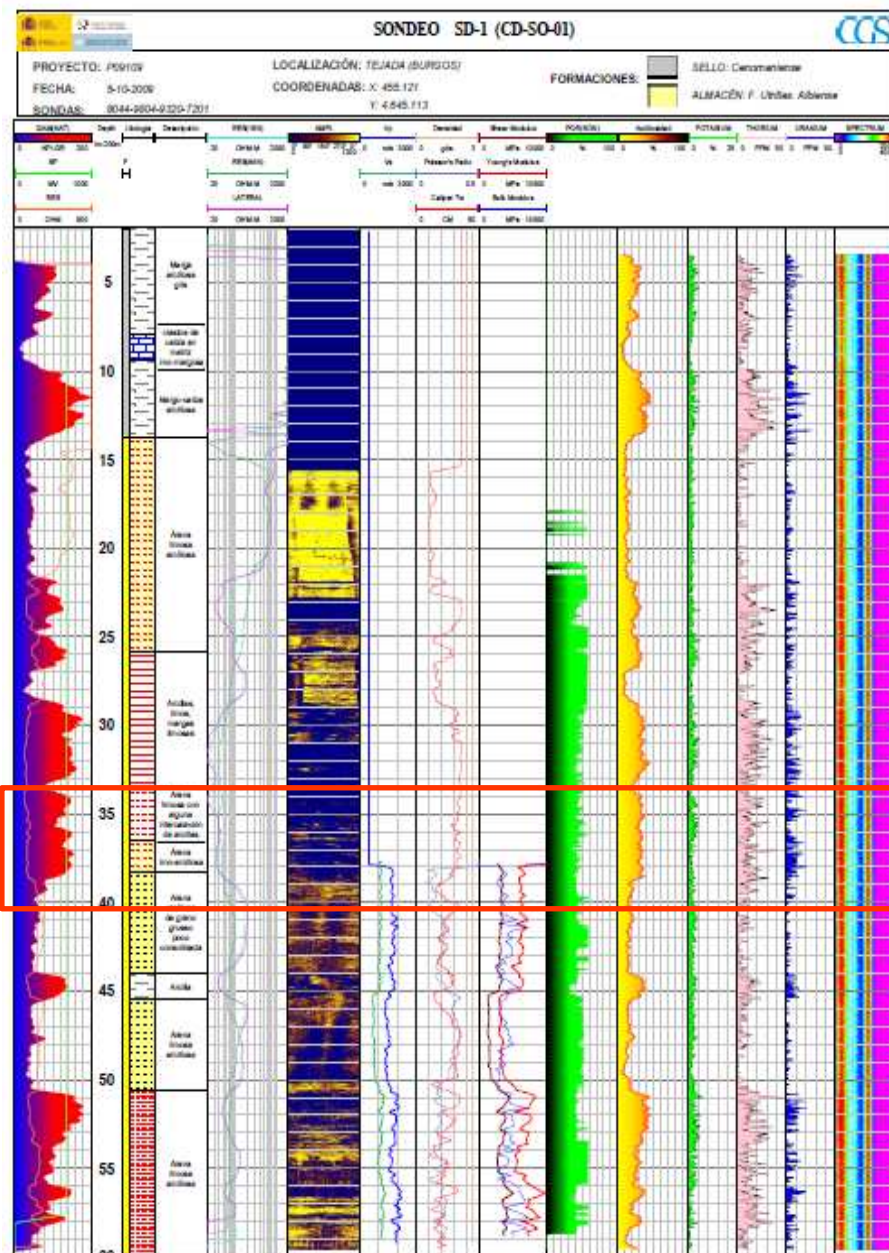


Fm. Utrillas
 Almacén Arena limosa - oxidación



25.4 m

Figura 4.- Muestra 3. Posición de la muestra 3 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1



Fm. Utrillas
Almacén
Arena Limosa versicolor,
de grano fino +/- Cemento
carbonático



35.4 m

Figura 5.- Muestra 4. Posición de la muestra 4 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1

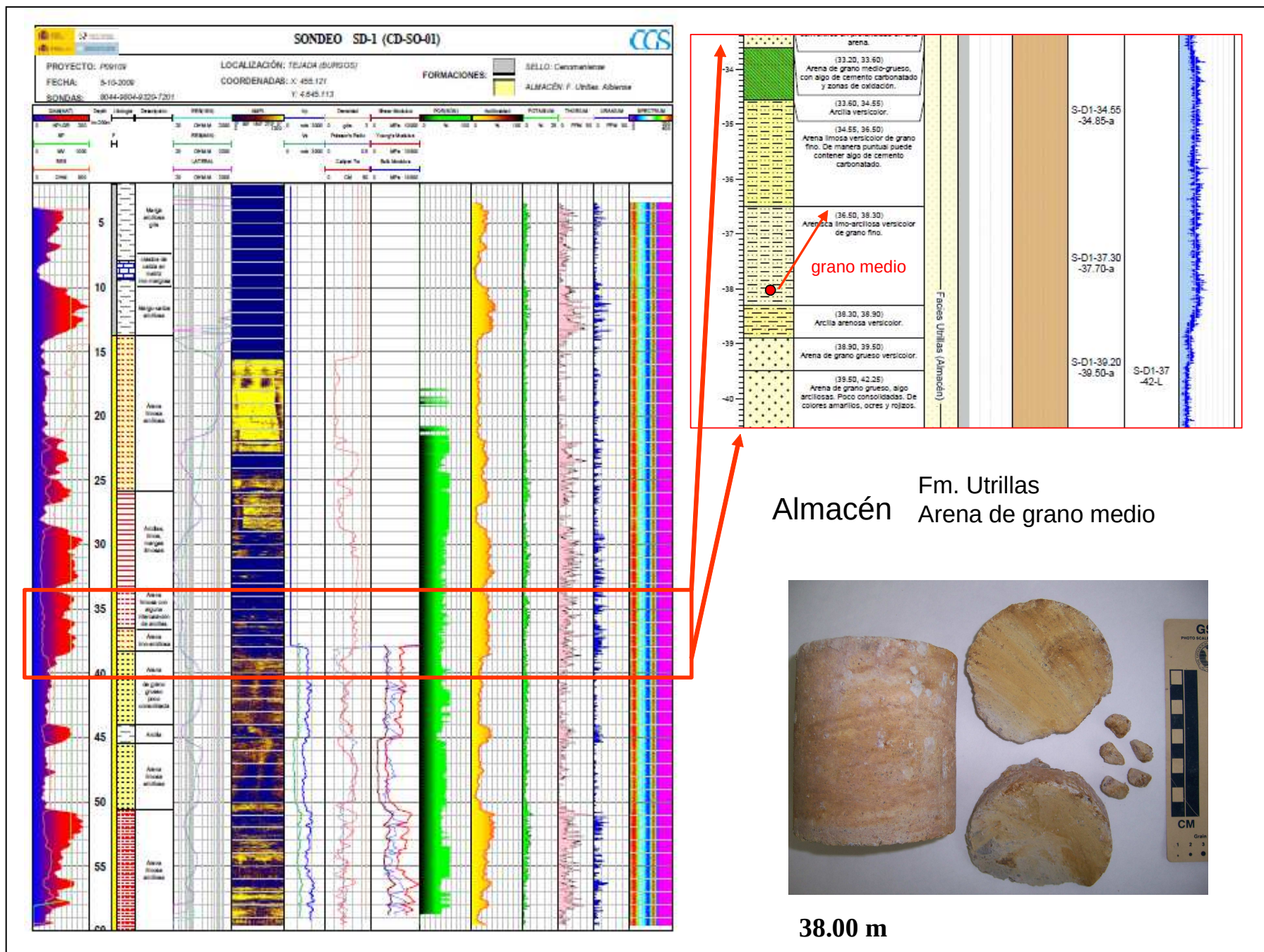
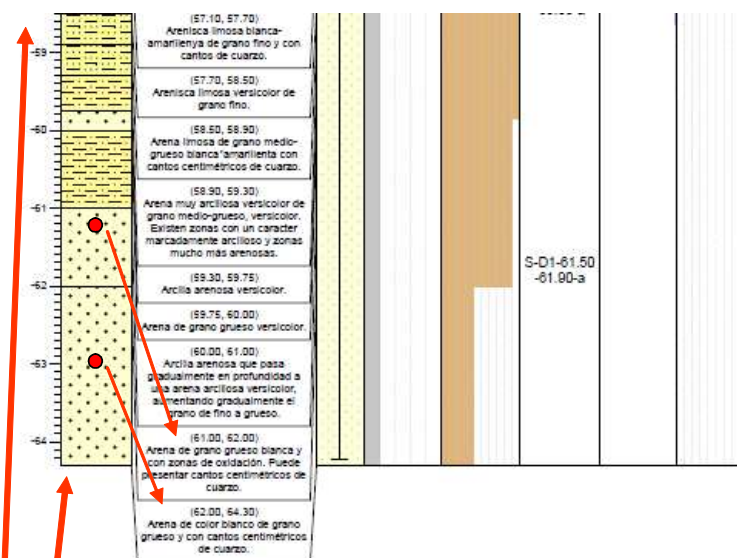
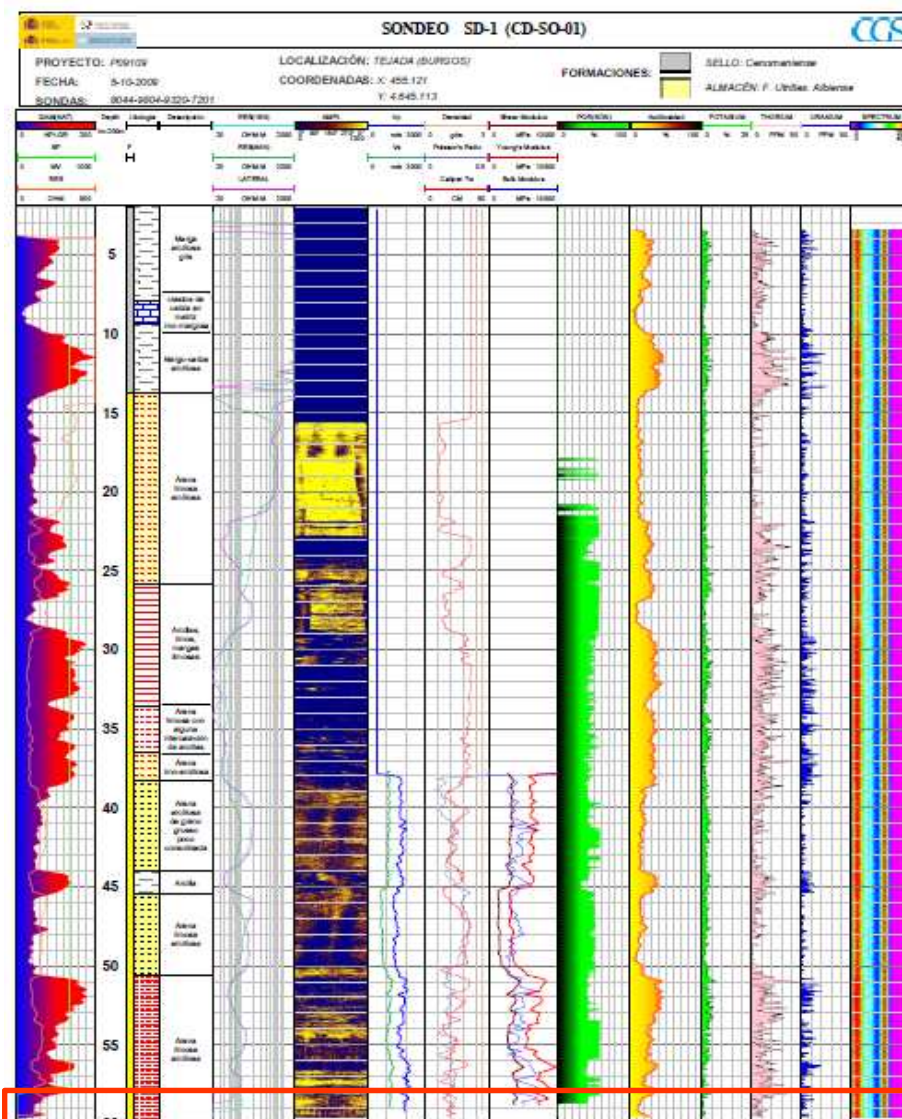


Figura 6.- Muestra 5. Posición de la muestra 5 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1



Almacén
Fm. Utrillas
Arena blanca grano grueso
caolinización



61.3m



63.0m

Figura 7.- Muestras 6 y 7. Posición de las muestras 6 y 7 sobre la testificación geológica y geofísica del sondeo SD-1

