A close-up photograph of a geological rock face showing distinct horizontal layering and fracturing. The rock is primarily grey and brownish-tan. A small, gold-colored coin is placed on the rock surface to provide a sense of scale. The background shows more of the rock formation and some loose rocks.

# **Estudio geológico-minero y cálculo de reservas de los yesos del área de Ventas Blancas (La Rioja)**

## **Trabajo Fin de Grado**

**Autor: Javier Carrera Ruiz**

**Directores: Dr. Enrique Arranz Yagüe**

**Dr. Carlos Galé Bornao**

**Fecha de depósito: 31 de Enero de 2014**



## Indice

---

1. Abstract .....	2
2. Planteamiento .....	2
3. Objetivos del trabajo .....	2
4. Metodología .....	3
4.1 Búsqueda bibliográfica .....	3
4.2 Trabajo de campo .....	3
4.3 Trabajo de laboratorio .....	4
4.3.1 Corte y molienda .....	4
4.3.2 Laboratorio .....	4
4.4 Trabajo de gabinete .....	8
4.5 Elaboración de la memoria .....	9
5. Situación geográfica y contexto geológico .....	10
6. Geología de la Cuadrícula Minera .....	11
6.1 Descripción de las unidades .....	11
6.2 Testificación de sondeos .....	12
6.3 Elaboración de la serie estratigráfica local .....	13
6.4 Estructura de la zona .....	14
6.5 Historia Geológica .....	15
7. Caracterización de los materiales .....	16
7.1 Descripción macroscópica y microscópica .....	16
7.1.1 Triásico superior, facies <i>Keuper</i> .....	16
7.1.2 Mioceno; Ramblense-Aragoniense .....	17
7.2 Composición .....	19
8. Cálculos de reservas mineras de interés .....	20
9. Conclusiones .....	21
10. Bibliografía .....	22
11. Anexos .....	23

## 1. Abstract

---

In this report, we present the results of a geological study carried out on a gypsum deposit, located near the village of Ventas Blancas (La Rioja, Spain).

The study area was restricted to the limits of a mining square, which is located at the boundary between the Cameros Range (Iberian Range) and the Ebro Basin. Gypsum is the predominant lithology in the area, which is mainly associated with carbonates and clays.

The area represents the contact between the Mesozoic and Cenozoic materials by means of the Cameros thrust, which separated the Keuper facies to the south, and the Miocene deposits to the north. The geological study includes mapping, well logging, compositional study and classification of the different materials and the development of the geological history of the area.

The final objective of the study is to evaluate the mineral reserves of gypsum in the area and discuss the feasibility of the deposit to host a mining plant.

**Keywords:** Gypsum, Keuper, Miocene, Cameros Range, Ebro Basin, mining reserves.

## 2. Planteamiento

---

En el desarrollo de este trabajo se aborda el estudio geológico de un sector (una cuadrícula minera) en el contacto entre la Sierra de Cameros y la Depresión del Ebro, orientado a valorar las reservas mineras de yesos y sus características de composición, así como el estudio geológico de la zona y discutir al final del trabajo la posible viabilidad de llevar a cabo una explotación minera en la zona.

## 3. Objetivos del Trabajo

---

El objetivo general del trabajo es familiarizarse con todos los pasos y actividades propias que realiza un geólogo, en su actividad profesional, al enfrentarse al estudio de un proyecto geológico-minero.

Este objetivo general comprende los siguientes objetivos específicos:

- Elaboración de una cartografía geológica de una cuadrícula minera (CM) realizada con la ayuda del software gvSIG;
- Testificación de dos sondeos y la elaboración de la columna estratigráfica local;
- Estudio microscópico y macroscópico de los materiales presentes en la zona;
- Reconstrucción de la evolución geológica del área;
- Caracterización de la composición de los materiales estudiados, mediante ensayos geoquímicos de laboratorio;
- Integración de resultados y cálculo de las reservas de yeso en la zona;
- Valoración sobre la viabilidad de un proyecto de aprovechamiento minero en la zona.

## 4. Metodología

---

El trabajo se ha realizado siguiendo el esquema que se expone a continuación, aunque en determinadas ocasiones durante su realización se han solapado o invertido algunos puntos del guión metodológico para una mejor planificación.

### 4.1 Búsqueda bibliográfica

Se ha recopilado la documentación ya existente sobre la zona de estudio y el marco geológico en el que se encuentra, así como bibliografía específica referente a la petrología, petrogénesis y geoquímica de materiales evaporíticos en concreto.

### 4.2 Trabajo de campo

El trabajo realizado sobre el campo se divide en dos periodos de campaña:

Un primer periodo que consiste en un reconocimiento a lo largo de toda la zona, más allá de la cuadrícula minera seleccionada, con el fin de observar la estructura de la zona e identificar las distintas litologías y unidades existentes.

Durante este periodo se realizó un muestreo de los materiales presentes en la cuadrícula minera, recogiendo para cada muestra una cantidad representativa, con el fin de tener suficiente muestra para realizar los posteriores análisis petrográficos y composicionales.

En un segundo periodo de trabajo de campo se realizó la cartografía geológica detallada de la zona.

### 4.3 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio también se ha realizado en dos partes, una primera parte destinada a la preparación de las muestras (corte y molienda de parte del material recogido en la primera campaña del trabajo de campo), y otra parte realizada en el laboratorio geoquímico con el material resultante de la parte anterior.

#### 4.3.1 Corte y molienda

Sobre las muestras recogidas, una vez en el laboratorio se procedió a cortarlas con el fin de obtener de una misma muestra fracciones destinadas a elaborar láminas delgadas, muestras de mano, muestras en polvo y una porción sobrante por si se quisiera realizar alguna otra determinación, o realizar de nuevo alguna de las ya mencionadas en el caso de que se tuviera que repetir por cualquier fallo durante su realización.

Para la realización de las determinaciones analíticas es necesario preparar muestras en polvo, que se elaboraron mediante trituración en machacadora de mandíbulas y posterior molienda en molino de aros de acero al manganeso.

Todos estos procedimientos de preparación se llevaron a cabo en las instalaciones del Servicio de preparación de rocas y materiales duros (SAI de la Universidad de Zaragoza) siguiendo los procedimientos de trabajo y limpieza apropiados.

#### 4.3.2 Laboratorio

A partir de las muestras en polvo obtenidas anteriormente, se procedió a su análisis con el objetivo de determinar, en cada muestra, las proporciones de:

- agua, materia orgánica y CO<sub>2</sub>
- Ca, Mg, K y Na
- residuo insoluble
- sulfato

Para realizar estas medidas se han aplicado las siguientes técnicas: calcinación (ensayo de pérdida al fuego), ataque ácido, análisis mediante absorción y emisión atómica, y colorimetría.

Todas las muestras han sido analizadas siguiendo los mismos procedimientos y aplicando por igual todas las técnicas, cuyas metodologías se explican a continuación.

### **-Calcinación-**

El ensayo de calcinación o ensayo de pérdida al fuego, tiene como objetivo determinar que proporciones de agua, materia orgánica y  $\text{CO}_2$  contiene la muestra. Para el ensayo es necesario tomar unos 10 g de muestra, los cuales se pesan con precisión en una balanza digital.

Las muestras son introducidas en crisoles previamente calcinados a  $900\text{ }^\circ\text{C}$  durante 12 horas, con el fin de eliminar cualquier resto que pueda quedar en los crisoles de un análisis anterior. Tras transcurrir este periodo se introducen los 10 g en los crisoles y se pesan.

La calcinación se realiza en tres etapas, incrementando la temperatura progresivamente. Tras cada etapa se extraen los crisoles, se dejan enfriar dentro de un desecador (para evitar la absorción de humedad ambiental) y se realiza el pesado de cada crisol para medir la pérdida de peso que se ha producido.

La primera etapa se realiza calentando los crisoles a  $200\text{ }^\circ\text{C}$  durante un periodo de 11 horas. En esta etapa se pierde humedad y el agua de constitución de los minerales hidratados.

A continuación se introducen de nuevo en la mufla para una segunda etapa y se ponen a  $500\text{ }^\circ\text{C}$  durante unas 4 horas, con lo cual se elimina la totalidad de la materia orgánica. La última etapa de calcinación se realiza introduciendo los crisoles a  $900\text{ }^\circ\text{C}$  durante 14 horas. En esta etapa se descomponen los carbonatos, perdiéndose en forma de  $\text{CO}_2$ .

Al final se obtiene la pérdida de peso al aumentar la temperatura con el fin de poder calcular los porcentajes de agua, materia orgánica y  $\text{CO}_2$  presentes en las muestras. Los porcentajes obtenidos de  $\text{CO}_2$  son recalculados, por estequiometría, a  $\text{CO}_3$ .

### **-Ataque ácido (Preparación de disoluciones de las muestras)-**

De cada muestra, se pesan 0,250 g directamente sobre un matraz *erlenmeyer* al cual se añaden 70 ml de  $\text{HCl}$  1N y se lleva la muestra a disolución a  $60\text{ }^\circ\text{C}$  en agitación durante 1 hora (Fig. 1).

El contenido de estos *erlenmeyer* es filtrado mediante papel de filtro sin cenizas, con poro de 2  $\mu\text{m}$ , lavando con HCl repetidamente los *erlenmeyer* y los filtros. El lixiviado se recoge en matraces aforados de 100ml, que se enrasan con el mismo ácido.



Figura 1. Muestras en agitación para disolución.

#### ***-Residuo insoluble-***

Los filtros y los embudos usados en la preparación de la disolución para análisis, los cuales han sido lavados varias veces con HCl en el apartado anterior, son lavados repetidamente con agua destilada, con el objetivo de eliminar la presencia de cloruros.

Para verificar el lavado completo de los cloruros, se lavan los filtros y los embudos con agua destilada, y sobre el lixiviado se añaden unas gotas de  $\text{HNO}_3$  concentrado y de disolución de  $\text{AgNO}_3$  (0,1N). Si el lavado de los cloruros es incompleto, aparece turbidez en la disolución, al formarse un precipitado de  $\text{AgCl}$ , debiendo repetirse hasta que no se observe dicho precipitado.

Los filtros lavados son retirados y se dejan secar. Una vez secos se introducen en crisoles previamente pesados y se calcinan a 900  $^{\circ}\text{C}$  durante dos horas. Tras esta calcinación y el posterior enfriamiento en un desecador, se pesa cada crisol y con la diferencia de pesada se calcula el porcentaje de residuo insoluble que se ha retenido en el filtro para cada muestra.

### ***-Análisis mediante absorción y emisión atómica-***

Para la determinación de la cantidad de cationes se ha utilizado la espectroscopía de absorción atómica, para el Ca y Mg y de emisión atómica para el Na y K.

Para poder calibrar el equipo analítico utilizado (Perkin Elmer 2086), se prepararon unas disoluciones patrón con las siguientes composiciones:

<b>Patrón</b>	<b>Ca (mg/l)</b>	<b>Mg, Na, K (mg/l)</b>
1	300	30
2	150	15
3	50	5

Tabla 1. Patrones de la espectroscopía

Con el fin de minimizar las interferencias durante la medición, tanto los patrones como las muestras son mezclados con una disolución de Lantano, en una proporción tal que la mezcla contenga, al menos, 0,1 % de Lantano, en este caso 4,5 ml de disolución de Lantano se añaden a 0,5 ml de disolución o patrón.

Posteriormente todas las muestras y patrones son llevados al equipo de absorción atómica y se obtienen los datos de concentración de los cationes de Ca y Mg (por absorción) y de Na y K (por emisión).

### ***-Colorimetría-***

La colorimetría se ha aplicado a las muestras preparadas con el fin de determinar la cantidad de sulfato presente en la muestra.

Para ello se prepara una serie de patrones con concentraciones de sulfato conocidas, que servirán para trazar la curva de calibración que nos relacionara la absorbancia de cada muestra y la concentración de sulfato (Fig. 2).

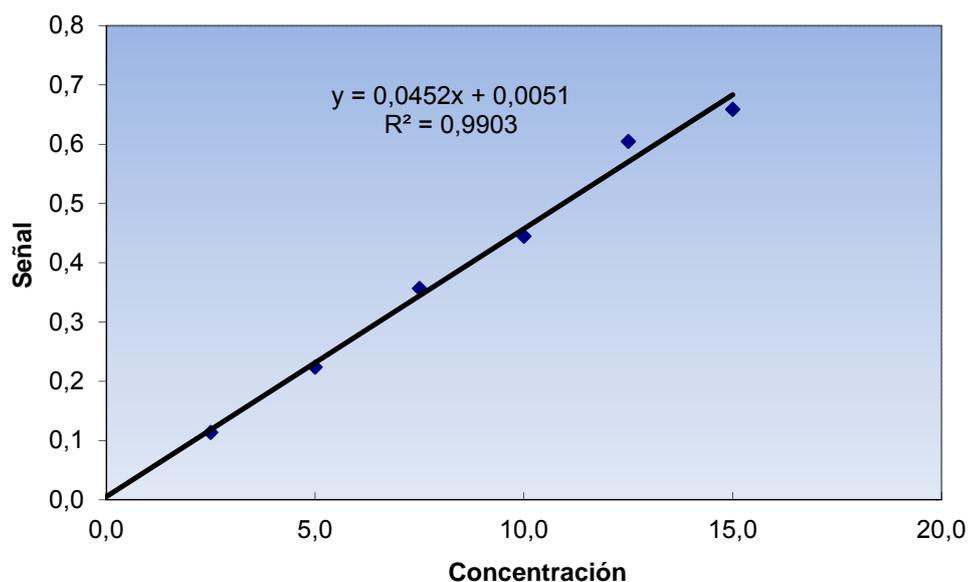
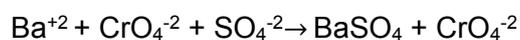


Figura 2. Curva de calibración obtenida

Tanto los patrones como las muestras se preparan siguiendo el método de Nemeth (1963), ligeramente modificado, en el cual se valora colorimétricamente el anión cromato liberado tras hacer reaccionar la muestra con una disolución de  $\text{BaCrO}_4$ , según la reacción:



Las muestras y patrones recogidos son llevadas al colorímetro donde en primer lugar son introducidos los patrones y después las muestras; tanto unos como otros son introducidos en el colorímetro en una celdilla de vidrio óptico a través de la cual pasa la luz, determinando la absorbancia de cada muestra y su concentración en sulfato, según la recta de calibrado.

#### 4.4 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete comprende:

- Estudio de láminas delgadas con el microscopio de luz transmitida.
- Elaborar la cartografía realizada en el trabajo de campo en un formato digital con el empleo del software gvSIG.
- La testificación de dos sondeos.

La testificación de los sondeos en este trabajo es de gran importancia ya que, debido a la importante cobertura vegetal, al desarrollo de suelos y a la disposición plegada del *Keuper*, el levantamiento de un perfil estratigráfico de superficie es difícil.

Por estos motivos se ha elaborado la columna estratigráfica local a partir de los datos de sondeo obtenidos dentro de la CM, completados con las observaciones de superficie.

#### **4.5 Elaboración de la memoria**

Finalmente con todos los datos obtenidos se ha redactado la presente memoria y se realiza una conclusión final que responde al objetivo principal planteado en el trabajo.

## 5. Situación geográfica y contexto geológico

La Cuadrícula Minera (CM) se encuentra en el término municipal de Lagunilla del Jubera, en la Comunidad Autónoma de La Rioja (Fig. 3), a 17 km al SE de Logroño. En detalle, la CM se encuentra a 1 km al N del núcleo urbano de lagunilla del Jubera y a 1,5 km al W del núcleo urbano de Ventas Blancas.

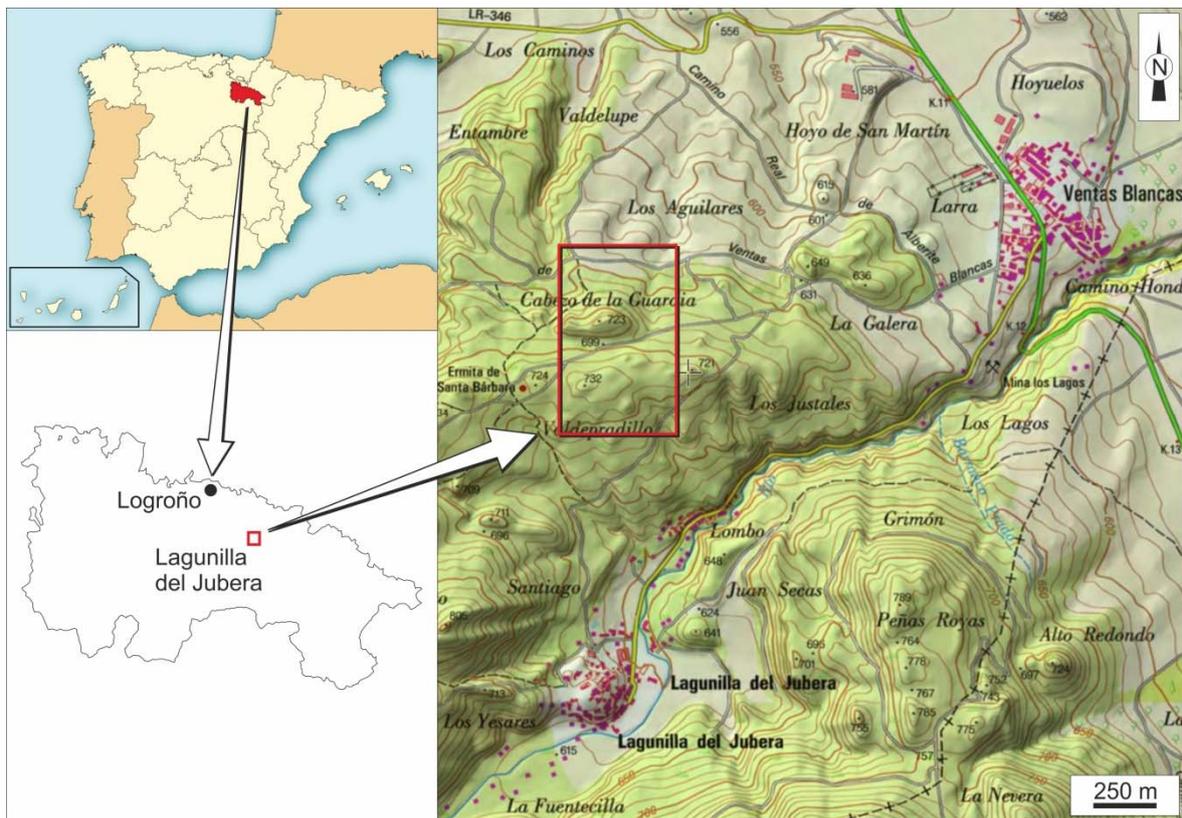


Figura 3. Localización de la cuadrícula minera estudiada

El sector estudiado representa el contacto entre la sierra de Cameros al sur, y la cuenca del Ebro al norte, contactando materiales de edad mesozoica y cenozoica. La litología predominante en la zona son los yesos, asociados a dolomías y arcillas principalmente, y a otros materiales como calizas y margas.

La topografía no supera los 2000 m.s.n.m., alcanzando las mayores cotas hacia el sur, coincidiendo con el nacimiento del río, y desciende hacia el norte hasta los 700 metros donde contacta con el valle del Ebro.

La ruptura en la topografía dibuja el contacto entre las distintas unidades geológicas de la zona, siendo los materiales triásicos los que ocupan posiciones topográficas más elevadas, mientras que los terciarios ocupan la parte deprimida del terreno con una disposición

subhorizontal. Un poco más hacia el sur, el Triásico limita con materiales cretácicos mediante un contacto mecánico, al igual que los triásicos a su vez limitan con los materiales terciarios al norte mediante el cabalgamiento N de Cameros.

## 6. Geología de la Cuadrícula Minera

---

### 6.1 Descripción de las unidades

En el área estudiada se han reconocido materiales yesíferos mesozoicos y cenozoicos distribuidos en dos unidades (Triásico Superior y Miocenos) cuya cartografía de detalle se muestra en el Anexo 1.

#### *-Triásico superior, facies Keuper-*

Esta unidad está integrada por yesos microcristalinos, frecuentemente laminados, de colores grises y blancos sin una estratificación definida, intercalados con niveles de arcillas versicolores de poco espesor. En algunas zonas se reconocen crecimientos de yeso secundario, y venas de yeso fibroso de color blanco y crecimiento perpendicular a las paredes de las venas que ocupan.

Hacia techo de la serie se encuentran niveles de dolomías grises, que a escala de afloramiento se presentan en estratos tableados de 0,5m de espesor. Las intercalaciones dolomíticas de pequeño espesor (mm) son también frecuentes.

Estas características del *Keuper* son similares a las de la unidad evaporítica superior (K4+K5) del Keuper levantino propuestas por Ortí (2004).

#### *-Mioceno, Yesos de Ribafrecha (Ramblense-Aragoniense)-*

La litología predominante en esta unidad es el yeso nodular y alabastrino de color blanco. Además se reconoce la presencia de yeso fibroso que rellena venas. Los yesos se encuentran asociados a carbonatos lacustres y margas. Todos estos materiales se disponen de manera subhorizontal o con un ligero buzamiento hacia el norte.

Dentro de esta unidad se ha reconocido también, en la zona de estudio, un nivel de material detrítico (muestra VB-7). Esta litología aparece sólo en el frente de cabalgamiento, siendo

posiblemente un depósito sintectónico formado durante el levantamiento y posterior erosión del borde norte de la Sierra de la Demanda y de Cameros.

Tanto este último nivel detrítico como los niveles carbonatados y margosos mencionados anteriormente no parecen presentar continuidad hacia el norte a medida que nos alejamos del frente de cabalgamiento.

## 6.2 Testificación de sondeos

Se han testificado dos sondeos, localizados las dos unidades cartografiadas: Triásico Superior -sondeo S7- y Mioceno -sondeo S3- (ver Anexo 2) para obtener una información más completa de las unidades (Fig. 4) y poder definir la serie local. Los sondeos alcanzan una profundidad de 87 y 60 m respectivamente y se describen a continuación.

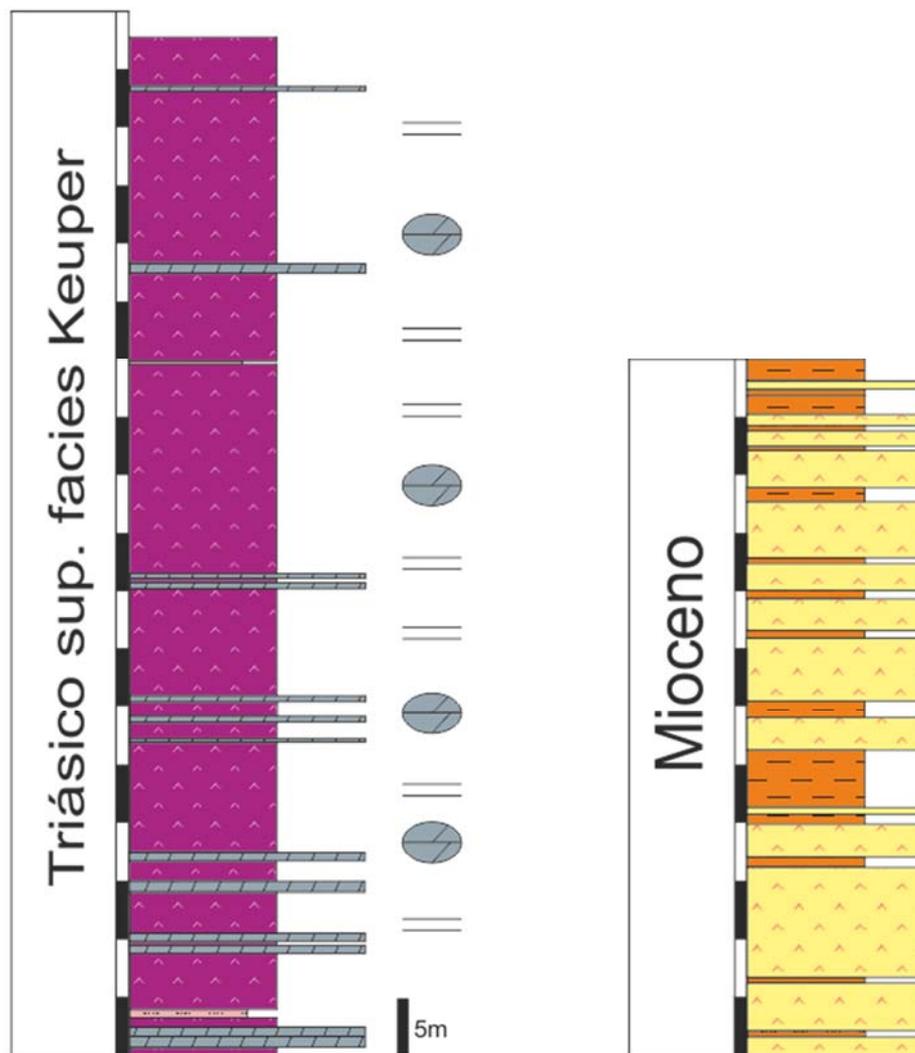


Figura 4. Columnas elaboradas a partir de los sondeos

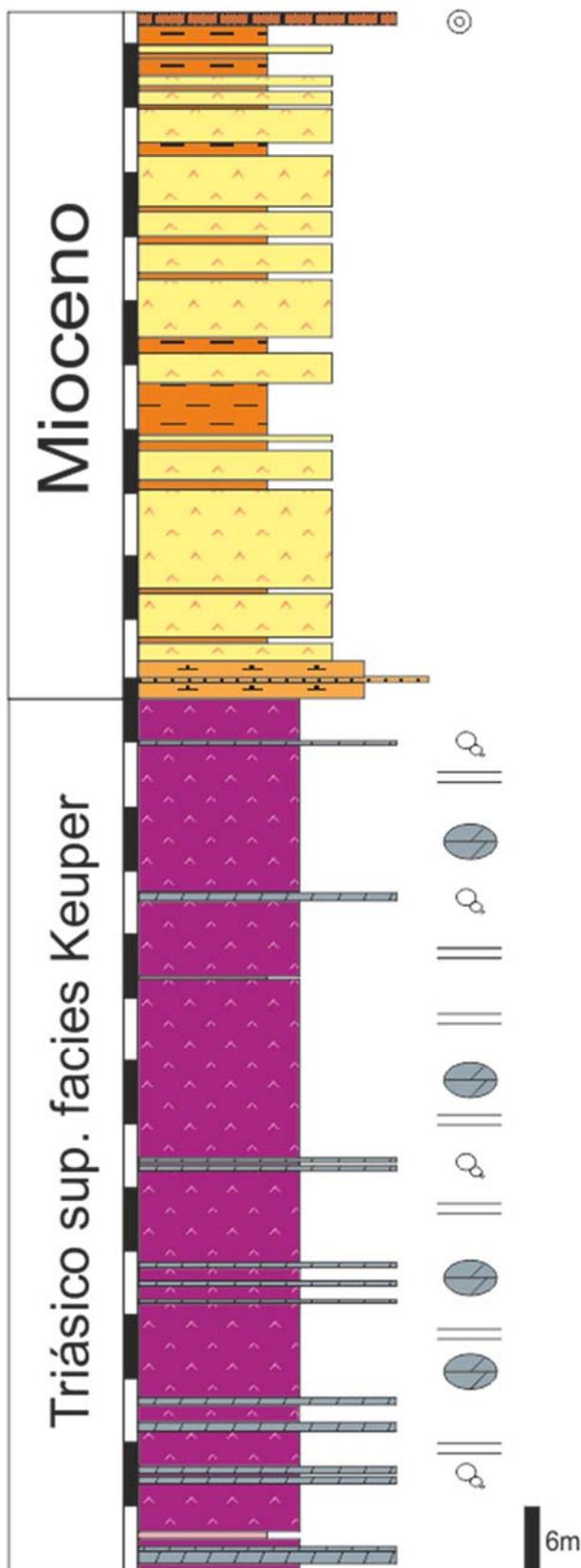


Figura 5. Columna estratigráfica local

### 6.3 Serie estratigráfica local

La columna estratigráfica local (Fig. 5), comprende materiales pertenecientes al Triásico en facies *Keuper* y al Mioceno, y está formada principalmente por una alternancia de yesos y arcillas.

La serie del Triásico Superior presenta tramos de yeso de color blanco-gris, con un aspecto laminar o masivo, con espesores que varían entre 20 cm y 3,5 m. Estos yesos se alternan con niveles de arcillas versicolores, con potencias que no superan en muchos casos los 10 cm de espesor.

Dentro de algunos de los tramos de yeso, se observan algunos niveles dolomíticos fragmentados. Estos bancos dolomíticos, de unos 0,5 m de espesor, se disponen en estratos tabulares de espesor de entre unos 10 y 20 cm. En su interior presentan pequeñas geodas rellenas de dolomita, y un contenido fosilífero representado por bivalvos y gasterópodos principalmente.

La serie correspondiente al Mioceno, presenta en su base un tramo de margas de 1 m de espesor, sobre el que se dispone la unidad denominada como Yesos de Ribafrecha (Castiella *et al.*, 1976; Salvany., 1989), de color gris-blanco con un aspecto masivo y en ocasiones nodular, con espesores que oscilan entre 0,5 y 3 m. En la zona de contacto de esta serie con la del Triásico, afloran varios niveles detríticos,

de 10 a 50 cm de espesor, de grano medio, con venas rellenas de yeso secundario fibroso y que posiblemente corresponden a un depósito de margen de cuenca, relacionado con la evolución del cabalgamiento de Cameros.

Estos yesos presentan intercalaciones de arcillas versicolores, al igual que ocurría con los yesos del *Keuper*, pero estos niveles arcillosos presentan una mayor potencia, pudiendo llegar hasta espesores próximos a un metro.

A techo, la serie presenta un nivel de calizas lacustres de color marrón ocre, de unos 20 cm de espesor que presenta un fuerte diaclasado vertical.

#### 6.4 Estructura de la zona

A nivel tectónico la zona presenta una estructura importante, el cabalgamiento N de Cameros, que pone en contacto los materiales triásicos con materiales miocenos. A una mayor escala, este cabalgamiento tiene una orientación NNW-SSE y un desarrollo lateral de más 60 km (Guimerà *et al.*, 1995); poniendo en contacto no sólo a materiales triásicos sino también materiales jurásicos y cretácicos con los terciarios de la cuenca del Ebro (Fig. 6).

Los yesos y arcillas triásicos, por su comportamiento plástico, han actuado como nivel de despegue en el cabalgamiento durante la compresión, quedando así los materiales del *Keuper* plegados describiendo pliegues de dirección aproximada E-W (Guimerà *et al.*, 2004).

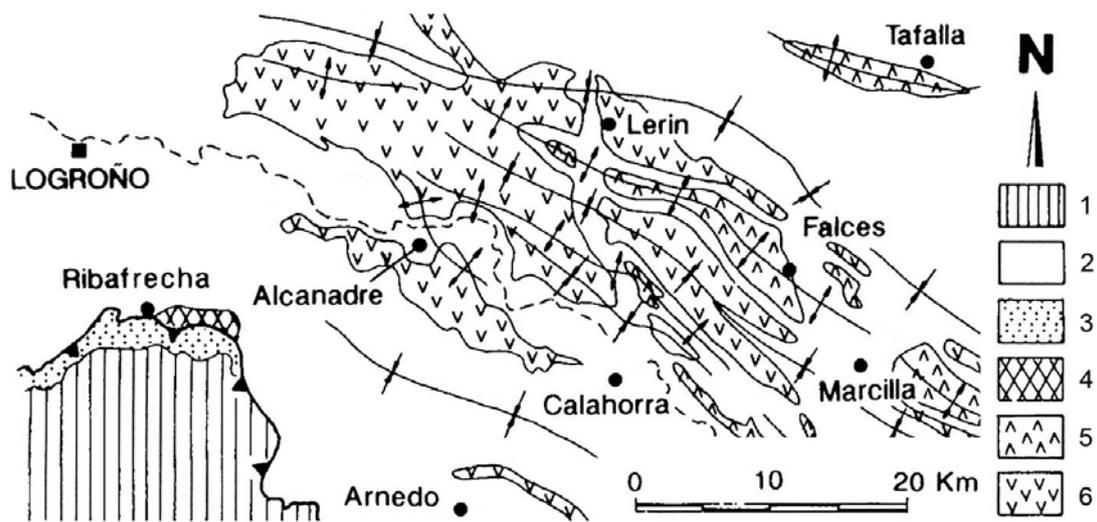


Figura 6. Síntesis geológica regional (tomado de Salvany, 1989). 1: Mesozoico; 2: Terciario continental detrítico; 3: Dapiros triásicos; 4: Yesos de Monteagudo-Grávalos-Ribafrecha; 5: Yesos de Falces; 6: Yesos de Lerín.

## 6.5 Historia Geológica

Durante el periodo Triásico, la cuenca Ibérica sufrió una marcada extensión debido a la apertura del Atlántico Norte y del *Tethys*. Esta extensión puede dividirse en dos periodos de *rifting*, Triásico y Cretácico Inferior, y otros dos periodos de subsidencia térmica, Jurásico y Cretácico Superior (Alvaro., 1991; Casas y Salas., 1993). Así durante los periodos de *rift* se depositaron en la cuenca ibérica materiales transicionales, en ambientes salinos situados en una zona litoral conectados al mar. En la cuenca de Cameros tuvo lugar el depósito de facies evaporíticas en un ambiente marino restringido de carácter magnesiano con una gran evaporación (Casas *et al.*, 1995).

En este ambiente había ciertas zonas con una mayor circulación de aguas y nutrientes que permitieron la existencia de algas que permitieron el depósito de carbonato. El paso de estas aguas, con una alta concentración de sales, a través del barro carbonatado dio lugar a un proceso de dolomitización temprana (Casas *et al.*, 1995; Ortí., 2004).

Posteriormente, durante el enterramiento los materiales evaporíticos perdieron el agua existente en su estructura, transformándose en anhidrita.

A finales del Cretácico Superior, como consecuencia de la colisión entre Iberia y el continente europeo, se produce una inversión en las cuencas mesozoicas intraplaca. Bajo este contexto compresivo se produce, una inversión de las estructuras tectónicas, haciendo que las fallas normales actúen como inversas y, en el sector estudiado, aprovechando el nivel de despegue, provocaron el levantamiento de la sierra de Cameros llevándolo a cabalgar sobre los materiales cenozoicos más jóvenes (Casas *et al.*, 1995). Esto provoca también el ascenso de los materiales evaporíticos hacia niveles más superficiales, con la consecuente hidratación y transformación de la anhidrita a yeso secundario.

Como producto del levantamiento de Cameros, en su frente se produce la depresión de la cuenca del Ebro, donde durante el Terciario se depositan evaporitas y carbonatos de ambiente lacustre. En el frente de cabalgamiento se observa cómo estos depósitos terciarios buzan ligeramente hacia el norte. Algunos autores (Castiella *et al.*, 1976), indican que la disposición de estos materiales pueda deberse a movimientos halocinéticos post-alpinos, sintectónicos con respecto a los depósitos terciarios, a medida que la cuenca de Cameros se levantaba. Sin embargo, la disposición que presentan las evaporitas y carbonatos terciarios, podría deberse simplemente al empuje provocado por el cabalgamiento de la serie mesozoica.

Por último, el encajamiento de la actual red hídrica y la erosión modifican el relieve hasta la situación actual. La erosión diferencial, provocada por la mayor solubilidad de los yesos frente a las dolomías, condiciona la morfología del área estudiada. Así, los cerros y colinas indican

el afloramiento de los materiales más duros, los bancos dolomíticos, mientras que las zonas más deprimidas están ocupadas por los materiales más blandos como son los yesos y arcillas.

## 7. Caracterización de los materiales

---

### 7.1 Descripción macroscópica y microscópica

Dentro de las dos unidades geológicas descritas en la cuadrícula minera encontramos diferentes litologías, cuya descripción detallada se incluye a continuación.

#### 7.1.1 Triásico superior; facies *Keuper*

##### ***-Dolomías tableadas-***

Se trata de dolomías de color gris oscuro, que presentan en ocasiones un aspecto brechoide y en su interior aparecen pequeñas geodas rellenas de dolomita. Los cristales de dolomita incluyen a su vez, pequeños cristales de anhidrita alargados, con puntas redondeadas.

Al microscopio (láminas VB-1 y VB-2), se puede apreciar que la textura original de la roca se preserva a pesar del proceso de dolomitización (lo que indica una dolomitización temprana). Las rocas presentan una proporción de 20% de aloquímicos y 80% de ortoquímicos. Los componentes aloquímicos mayoritarios son conchas de bivalvos y gasterópodos. La micrita es el ortoquímico predominante, con un 85%, frente a la esparita, con un 15%. Como mineral minoritario, también se observan pequeños cristales de calcita (identificada por tinción con alizarina).

Las rocas se clasifican siguiendo los criterios de la clasificación de Folk (1962) como dolomicritas. Probablemente se formaron en un ambiente lacustre magnesiano, de poca energía.

##### ***-Yeso alabastrino laminar-***

Dentro del *Keuper* el yeso es de tipo microcristalino laminar y se identifican dos variedades: un yeso más claro (lámina VB-3) y yeso más oscuro debido a una mayor presencia de dolomía (lámina VB-4).

Desde el punto de vista petrográfico, el litotipo claro presenta dos variedades de yeso secundario: yeso con extinción no uniforme (yeso c.e.n.u) y yeso microcristalino; siendo predominante el yeso c.e.n.u frente al microcristalino.

El yeso c.e.n.u presenta cristales alotriomorfos de unos 0,5mm, y entre ellos se sitúa el yeso microcristalino. Además como minerales minoritarios se reconocen en orden de mayor a menor abundancia son: dolomita, celestina y anhidrita.

El litotipo de yeso más oscuro presenta, al microscopio, cristales de yeso subidiomorfos recristalizados y yeso en mosaico poligonal. El yeso subidiomorfo es el más abundante, aparece en forma de cristales elongados de hasta 0,3 mm de longitud, con contactos pseudopoligonales. También aparecen dolomita y celestina como minerales minoritarios. De forma ocasional se identifican algunos cristales de yeso maclados que aparecen como relictos de yeso primario selenítico.

La historia petrológica de estos yesos comienza con la precipitación en un medio evaporítico del yeso primario, que después es enterrado perdiendo el agua que reside en su estructura; posteriormente cuando emerge se rehidrata rápidamente formando el yeso secundario c.e.n.u y subidiomorfo.

### 7.1.2 Mioceno; Ramblense-Aragoniense

#### *-Yeso alabastrino blanco nodular-*

Presenta principalmente yeso porfidoblástico y subidiomorfo con yeso microcristalino entre los dos anteriores (lámina VB-5).

Ambos yesos presentan contactos netos, y se agrupan en glomerulos con tamaños de cristal de entre 0,15 y 3mm respectivamente. La proporción modal es la siguiente: 55% de yeso porfidoblástico, 30% de yeso microcristalino y un 15% de yeso c.e.n.u.

La historia diagenética de estos yesos se diferencia respecto a la de los yesos del Triásico en que la hidratación se produce de manera lenta, de ahí el crecimiento de cristales de yeso secundario porfidoblástico con hábitos bien definidos.

#### *-Calizas lacustres-*

Asociados a los yesos terciarios encontramos un nivel carbonatado, de color ocre marronaceo, que presenta un aspecto glomerular y un marcado diaclasado vertical.

Es una roca carbonatada, no granosostenida, con matriz micrítica que contiene entre un 10 y un 15% de aloquímicos, entre los que los oogonios de caráceas son el componente principal (lámina VB-6). Se observan poros rellenos por cristales de yeso, y también contiene una pequeña fracción de residuo detrítico constituido por pequeños cristales de cuarzo y feldespato potásico.

Atendiendo al estudio microscópico puede clasificarse como un *wackestone* según la clasificación de Dunham (1962). Su petrogénesis puede relacionarse con un ambiente de tipo lacustre de baja energía.

### **-Arenitas-**

En el frente de cabalgamiento encontramos materiales detríticos, que al microscopio (lámina VB-7) se muestran como una roca con una textura granosostenida con una gran variedad mineralógica.

Los clastos de cuarzo (65%), son mayoritariamente monocristalinos (algunos idiomorfos con inclusiones de anhidrita), aunque también hay algunos policristalinos (3%). Son cristales angulosos a subangulosos y de dimensiones no superiores a 0,6 mm. En cambio, los cantos carbonatados (7%) son redondeados de unos 0,3 mm de diámetro, y gracias a la tinción es posible distinguir que los núcleos son más calcícticos que los bordes. El feldespato potásico (4%) y la plagioclasa (2%) se presentan como granos subredondeados de 0,2 mm. Se reconocen fracturas rellenas por yeso secundario fibroso (15%), cuyos cristales tienen un tamaño de hasta 0,7 mm y crecen perpendicularmente a las paredes de la fractura.

Los opacos (2%), la turmalina, en fragmentos alargados de hasta 0,2 mm y el circón (<1%) completan la asociación mineral de la roca. El cemento es poco patente, y parece corresponder esencialmente a crecimientos sintaxiales de cuarzo y en menor proporción de carbonato y yeso.

Se clasifica dentro del grupo de las litoarenitas, atendiendo a la clasificación de Pettijon *et al.* (1987).

La historia petrológica de esta roca detrítica podría estar ligada al levantamiento de la cuenca de Cameros, siendo un depósito sintectónico. Sus componentes provendrían de la erosión de las formaciones cretácicas y triásicas, situadas al oeste y al sur.

## 7.2 Composición

Como resultado a las pruebas analíticas, descritas en el apartado 4.3.2 de la metodología, sobre los materiales descritos en el apartado anterior, se han obtenido los siguientes datos composicionales.

	Muestra/Serie	%H <sub>2</sub> O	%M.O	%CO <sub>3</sub>	%R.I	%Ca	%Mg	%K	%Na	%SO <sub>4</sub>	Total%
Carbonatos	VB-1(Triásico)	0,155	1,173	60,21	4,813	20,01	12,07	0	0,017	0,591	99,04
	VB-6 (Terciario)	0,805	1,29	53,13	5,041	35,64	0,24	0,027	0,102	1,902	98,178
Yesos	VB-3 (Triásico)	20,46	0,211	0,382	0,496	22,98	0,026	0	0	56,59	101,15
	VB-4 (Triásico)	19,17	0,201	4,245	0,039	22,4	0,792	0	0,018	52,88	99,746
	VB-5 (Terciario)	20,64	0,187	0,133	0,344	23,03	0,005	0	0	55,76	100,1
Arenitas	VB-7 (Terciario)	8,55	0,344	2,904	53,03	10,82	0,044	0,033	0,019	20,93	96,672

Tabla 2. Comparación de la composición de las diferentes litologías estudiadas

Los materiales estudiados de la CM difieren composicionalmente en algunos aspectos (tabla 2). Así, los carbonatos (VB-1 y VB-6) se diferencian principalmente en la abundancia de Mg y Ca, debido a la variedad mineralógica de carbonato que presentan: la dolomita en la muestra VB-1 (rica en Mg y Ca) frente a la calcita en la VB-6 (sin apenas Mg). También muestran contenidos distintos de H<sub>2</sub>O y SO<sub>4</sub>, atribuibles a pequeñas impurezas de anhidrita en la muestra VB-1, y de yeso en la VB-6.

Los yesos analizados, presentan contenidos variables en impurezas. Los yesos Triásicos, VB-3 y VB-4, presentan un 1,12% y 5,30% de impurezas, mientras los Terciarios, VB-5, contienen un 0,67% de impurezas. El mayor contenido en impurezas de los yesos Triásicos se debe principalmente a la alternancia que presentan habitualmente estos yesos con niveles carbonatados. Esto implica que los yesos más puros de la CM son los pertenecientes al Terciario.

En último lugar, las arenitas (VB-7), que se diferencian de todos los materiales anteriores por su alto contenido en R.I., debido a la fracción detrítica que contiene (cuarzo, feldespato potásico y minerales pesados), presenta un contenido relevante de SO<sub>4</sub>, correspondiente al yeso fibroso citado en el apartado anterior.

## 8. Cálculos de reservas mineras de interés

El cálculo de reservas mineras se ha estimado usando la siguiente fórmula:

$$T = A \times h \times \rho$$

Donde “T” es la cantidad de reservas (en toneladas), “A” es el área de la CM en una sección plana (en m<sup>2</sup>), “h” es el espesor de los depósitos del área (en m) y “ρ” es la densidad del material (en t/m<sup>3</sup>), que en este caso es el yeso.

Dado que tanto las áreas que ocupan los materiales triásicos y terciarios, como los espesores son distintos, como se observa en la siguiente tabla, el cálculo de reservas de la CM se obtiene del sumatorio de ambos tonelajes T<sub>1</sub> (Triásico) y T<sub>2</sub> (Terciario):

Unidad	Area (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )
T <sub>1</sub> (Triásico)	212.193,54	75,3	2,33
T <sub>2</sub> (Terciario)	79.730,01	43,05	

Tabla 3. Dimensiones y densidad de los materiales de las unidades estudiadas

Las áreas de las unidades han sido calculadas mediante el software gvSIG y los espesores se han obtenido a partir de los sondeos, tomando como espesor la diferencia entre la profundidad máxima de los sondeos y los tramos carentes de yeso.

Tomando los valores de profundidad alcanzados por los sondeos S7 (Triásico) y S3 (Terciario), de 86,80 m y 60 m respectivamente, y relacionándolos con los espesores de las unidades, se obtienen unos valores de aprovechamiento del material extraído del 86,75%, para los yesos Triásicos, frente al 71,75% de los yesos Terciarios.

Unidad	Area (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	Reservas (t)
T <sub>1</sub> (Triásico)	212.193,54	75,3	2,33	3,7229 x 10 <sup>7</sup>
T <sub>2</sub> (Terciario)	79.730,01	43,05	2,33	7,9974 x 10 <sup>6</sup>
				45,2265 x 10 <sup>6</sup>

Tabla 4. Reservas de yeso estimadas

Estos yesos presentan unas buenas condiciones de explotabilidad, debido a los siguientes factores:

- La calidad y cantidad de los mismos, siendo los yesos Triásicos los que presentan un mayor tonelaje, aunque los Terciarios serían prioritarios en la fase de explotación dado que presentan una mayor pureza.
- La topografía de la zona, que permitiría la realización de una explotación escalonada a cielo abierto, como única opción viable económicamente para la extracción de este tipo de recurso mineral.
- La buena accesibilidad a la zona, dada su proximidad a vías de comunicación, que permitirían el transporte del material extraído de la cantera.

Los inconvenientes a la explotación de los yesos, residen en el relativamente importante volumen de estériles, representados tanto por las arcillas como por la cobertera vegetal presente en toda la CM. Por otra parte, la intercalación de niveles dolomíticos en los yesos triásicos puede representar en algunos tramos una impureza que invalide la rentabilidad económica para la obtención de yeso para calcinación, así como un incremento en el volumen de estériles al tener que eliminar los bancos dolomíticos durante el arranque de los materiales.

En cualquier caso, sería necesario planificar adecuadamente la operación de una posible planta de extracción, en especial en cuanto a la evaluación del impacto ambiental y el plan de restauración continuada y final, de acuerdo con la legislación vigente.

## **9. Conclusions**

---

The geology of the studied area is composed of two sedimentary series: an evaporitic sequence, Miocene in age and an Upper Triassic (Keuper facies) sequence. These two units are related by the Cameros thrust and are mainly composed of gypsum with minor carbonates and siliciclastic rocks. In detail, the composition of the rocks in each unit is clearly different, allowing for a discrimination of the two units based in their chemistry.

From the results of the geological study carried out in the mining square, it is possible to define that the zone and the materials present a suitable arrangement for conducting a stepped surface mine.

Deposits of gypsum reach a tonnage of more than 45 million tons in the mining square. This amount would serve to plan a long term operation in the area. Triassic and Tertiary gypsum deposits present a high quality and optimal properties for a mining plant.

The Triassic gypsum shows higher tonnage in the area, with impurities ranging between 1.2 and 5.3%, depending on the lithotype, featuring a performance of 86.75%. However, the intercalation of dolomitic levels between the Triassic gypsum with would decrease its profitability in some sections.

In the other hand, the Tertiary gypsum is purer than the Triassic, with impurities of 0.67%, but these one present a lower tonnage and a profitability of 71.75%. However, due to the higher purity of Tertiary gypsum places them in a priority position in the order of extraction regarding the Triassic gypsum.

## 10. Bibliografía

---

- Alvaro, M. (1991): Tectónica in Instituto Tecnológico Geominero de España (ed), *Mapa Geológico de España a escala 1:200.000, Hoja nº 40, Daroca*: Instituto Geológico y Minero de España (Madrid), 239 p.
- Casas, A., Salas, R. (1993): Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin, *Tectonophysics*, 228, 33-55.
- Casas, A., Cortés, A., Gil, A., Maestro, A., Muñoz, A., Pocoví, A., Martínez, B., Oliva, B., Liesa, C., Castillo, E., Pueyo, E., Millán, H., Simón, J.L., Arlegui, L., Aurell, M., Mata, M.P., Tena, S., Román, T. (1995): Introducción y El Macizo de Cameros-Demanda. En: *Estructura y evolución mesozoica-terciaria de las Sierras de Cameros-Demanda (Cordillera Ibérica). Guía de campo*, Sociedad Geológica de España, 1-25.
- Casas, A., Gil, A., Muñoz, A. (1995): *Guía Geológica de los valles del Leza y Jubera*, Libr. General, 107 p.
- Castiella, J.C.M, del Valle, J.V.L y Ramírez, J.R.P. (1976): *Mapa Geológico de España 1:50000, Memoria de la Hoja número 204, "Logroño"*. Instituto Geológico y Minero de España (Madrid), 21 p.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, (Ed.): *Classification of carbonate rocks*. Am. Ass. Petr. Bull., Mem. 1, 108-121.
- Folk, R. (1962): Spectral subdivision of limestone types. In: Ham (Ed.): *Classification of Carbonate Rocks*, Am. Ass. Petr. Geol. Bull., Mem 1, 62-84.

- Guimerà, J.; Alonso, A. y Mas, R. (1995): Inversion of an extensional-ramp basin by a newly formed thrust: the Cameros basin (N.Spain). In: J.G. Buchanan y P.G. Buchanan (eds.), *Basin Inversion*. Geological Society Spec. Publ, 88, 433-453.
- Guimerà, J.; Alonso, A., Mas, R. (2004): Intraplate deformation in the NW Iberian Chain: Mesozoic extension and Tertiary contractional inversion. *Journal of the Geological Society, London*, 161, 291-303.
- Mandado, J.M.A. (1987): *Litofacies yesíferas del sector Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro: Petrogénesis y Geoquímica*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 443 p.
- Mas, R., Benito, I., Arribas, J., Serrano, A., Guimerà, J., Alosó, A., Alonso-Azcárate., J. (2002): La Cuenca de Cameros: desde la extensión finijurásica-eocretácica a la inversión terciaria-Implicaciones en la exploración de hidrocarburos. *Zubia*, 14, 9-64.
- Nemeth, K. (1963): Photometric determination of sulphate in soil extracts. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 103, 193-196.
- Ortí, F. (2004): Últimas etapas de actividad del rifting. Sedimentos asociados. En: Vera, J.A. (editor) *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 492-494.
- Pettijon, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1987): *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York, 553 p.
- Salvany, J.M. (1989): Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. *Acta Geol. Hisp.*, 24 (3-4), 231-241.

## 11. Anexos

---

### Anexo 1: Cartografía geológica

### Anexo 2: Testificación de los sondeos.