



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**EXPLORACION DE AZUFRE BIOGENICO EN  
VARIAS AREAS DE LA PENINSULA (CALA-  
TALUD-TERUEL, FORTUNA-ALHAMA-LOR-  
CA-MAZARRON, ANDARAX, GUADIX-BAZA  
Y CONIL**

**- INFORME CERO -**



**EXPLORACION DE AZUFRE BIOGENICO EN  
VARIAS AREAS DE LA PENINSULA (CALA-  
TALUD-TERUEL, FORTUNA-ALHAMA-LOR-  
CA-MAZARRON, ANDARAX, GUADIX-BAZA  
Y CONIL**

**- INFORME CERO -**

**COMPañIA GENERAL DE SONDEOS, S.A.**

Madrid, 17 de Septiembre de 1991

**M-490-0**

## **INDICE**

---

## **INDICE**

---

	<b>Pág.</b>
1.- <b>OBJETIVOS</b> .....	1
2.- <b>AREAS DE ESTUDIO</b> .....	2
3.- <b>METODO DE TRABAJO</b> .....	3
3.1. <b>RESUMEN ESTADISTICO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS</b> ...	5
4.- <b>CONCLUSIONES. RECOMENDACIONES</b> .....	7

## 1.- OBJETIVOS

---

El objetivo final del proyecto es preparar, en base a un adecuado conocimiento geológico-minero infraestructural de los indicios de azufre en diferentes áreas, un plan de investigación con orden de prioridades de áreas y metodologías que permitan al ITGE acometer futuras fases de investigación.

Dada la amplitud de este objetivo, la investigación se ha desarrollado en fases sucesivas, que han ido cubriendo los objetivos parciales que a continuación se indican:

- Recopilación, análisis y estudio de la bibliografía existente, así como la actualización del Catastro Minero.
- Estudios de geología y características de los indicios, estudiando su intensidad de metasomatismo y su entorno. Correlación de los niveles y tramos mineralizados en cada una de las áreas, con realización de columnas sedimentológicas.
- Estudio de los bordes de cuenca, espesores, condiciones estructurales (anticlinales, fracturas, etc.). Búsqueda de abombamientos, vulcanismo, etc.
- Estudio fotogeológico.
- Análisis e interpretación de las cuencas con niveles mineralizados, estableciendo sus posibilidades en otros sectores sin indicios.
- Realización de sondeos mecánicos en alguna de las áreas deducidas.

## 2.- AREAS DE ESTUDIO

---

Las zonas de estudio se pueden agrupar en tres conjuntos bien diferenciados atendiendo al contexto geológico en donde encajan.

La cuenca de Calatayud-Teruel que comprende las fosas denominadas de Calatayud-Daroca-Montalban y Teruel Alfambra y que en este trabajo se ha subdividido en las subcuencas de Calatayud-Montalban, Calamocha-Teruel y Teruel-Alfambra, se sitúa en el ámbito de la Cordillera Ibérica. El sector de Libros, en donde se encuentran las manifestaciones y antiguas labores de explotación de azufre nativo se ubica en el extremo Sur de la denominada, subcuenca de Teruel-Alfambra.

El conjunto de la cuenca terciaria se encuentra flanqueado por la S<sup>a</sup> de Albarra-cín y las Parameras de Molina al Oeste, por la S<sup>a</sup> de Javalambre al Sur y por las sierras de Vicor, Cucalón y Gudar al Este. Estando separadas las depresiones principales por las sierras Palomera y San Justo.

Un segundo conjunto está constituido por las denominadas cuencas de Fortuna-Alhama, Lorca, Mazarrón, Baza y Almería, todas ellas depresiones neógenas incluida en las Cordilleras Béticas, esencialmente en su sector o dominio oriental y con unas características litoestratigráficas y estructurales muy semejantes, así como en las concernientes a la mineralización de azufre elemental.

Y por último un tercer conjunto al que pertenece la zona de Cádiz y que también se enclava en el dominio de las Cordilleras Béticas, en su sector occidental, dentro del contacto del Subbético Medio en la denominada Zona Circumbética y la Depresión del Guadalquivir.

### 3.- METODO DE TRABAJO

---

La metodología llevada a cabo durante la realización de este proyecto a estado condicionada por las características especiales que presenta el encontrar un depósito de azufre de interés económico y las directrices fijadas para ello, sobre todo teniendo en cuenta que un yacimiento explotable, de este elemento, siempre se encontrara oculto y posiblemente muy lejos, dentro de un mismo contexto geológico, de sus manifestaciones superficiales, inclusive de mayor espectacularidad.

Por lo anterior el estudio ha procurado alcanzar el máximo conocimiento posible en toda la extensión de las diferentes cuencas en donde existen indicios de azufre elemental.

De esta manera, se procedio en primer lugar a una recopilación estudio y análisis de la bibliografía geológico y minera de las distintas cuencas así como de los trabajos de geofísica y sondeos petrolíferos y mineros efectuados en ellas.

También se llevo a cabo un estudio fotogeológico de cada una de las cuencas.

Con todos los datos obtenidos se realizaron los mapas geológicos a escala 1:100.000, previos, en donde se marcaron las zonas, sectores y puntos de interés a visitar en el campo.

Esta primera fase de trabajo ha estado facilitada por la experiencia de los técnicos que han participado en el proyecto, en todas las zonas y cuencas a estudiar, además del claro conocimiento sobre la problemática del azufre y las directrices fijadas para conseguir los objetivos propuestos.

Para comprobar y/o ampliar los sectores a prospectar se realizó, en segundo lugar, una visita a cada una de las Jefaturas de Minas de las provincias corres-

pondientes en donde se ubican las zonas de estudio, como: Cadiz, Granada, Almeria, Murcia y Teruel. En ellas se recopilaron toda la información minera antigua referida al azufre, demarcaciones y labores mineras, así como de la referida al Estroncio, Bario y aguas minero-medicinales, elementos en relación con los depósitos de azufre.

De todos estos trabajos se dedujeron las zonas con indicios de azufre, cuencas donde estan enclavadas y sectores dentro de ellas, sin manifestaciones minerales visibles, pero con posibilidades por coincidir en ellas otro tipo de factores fundamentales en la formación de azufre elemental.

Con todos los datos obtenidos se elaboraron los mapas geológicos a escala 1:100.000 de todas las cuencas incluidas en el estudio: Calatayud-Teruel; Fortuna-Alhama, Lorca, Mazarrón, Andarax (Almeria), Guadix-Baza y Cadiz (Conil y Arcos de la Frontera).

Sobre los sectores seleccionados se realizó la segunda fase de la investigación consistente en: levantamiento geológico de los indicios y de perfiles litoestratigráficos-sedimentológicos, generales de las cuencas.

Con los datos obtenidos se seleccionaron seis zonas de mayor interés, dos en la cuenca de Fortuna-Alhama, una en Guadix-Baza, una en Almeria y dos en Cadiz. Otras zonas interesantes, como Benahadux y Gador, por ejemplo, no fueron seleccionadas para estudios de detalle y cartografía geológica a escala 1:25.000 por estar ocupadas actualmente por permisos de investigación.

Sobre las zonas seleccionadas se realizó la cartografía geológica a escala 1:25.000 y 1: 10.000 si bien todas se presentan a la primera escala citada para mayor comodidad de lectura y obtención de conclusiones.

Posteriormente y en tres puntos seleccionados se han realizado sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo, uno en el sector de las antiguas minas de azufre de Arcos de la Frontera y los otros dos en la cuenca de Almería.

Anteriormente, a esta última fase de la explotación, se visitaron todas las zonas de interés en compañía del especialista polaco en depósitos de azufre. Dr. B. Kubica.

Con todos los datos obtenidos se procedió a concretar las secuencias litoestratigráficas, diferenciación de unidades que conforman las cuencas y a especificar los momentos propicios de formación de azufre biogénico, teniendo en cuenta las vicisitudes tectónicas, para determinar los sectores específicos de las cuencas en donde aplicar las siguientes fases de la investigación.

### 3.1. RESUMEN ESTADISTICO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

- Recopilación, estudio y análisis de la bibliografía . . . . . 7 cuencas
- Actualización del Catastro Minero (Almería, Cadiz, Granada, Murcia, Teruel)
- Localización y estudio de indicios . . . . . 51 indicios
- Estudio y correlación de los niveles de interes, 1:25.000 . . . . . 6 areas
- Análisis estructural del área y su entorno, 1:25.000 . . . . . 6 áreas
- Columnas sedimentológicas . . . . . 6.959 m.

- Estudio estratigráfico-sedimentológico  
de los testigos de sondeos . . . . . 562 m
- Análisis e interpretación de cuencas,  
1:100.000 . . . . . 7 cuencas
- Perforación . . . . . 562 m
- Análisis de CL, CO<sub>3</sub>H, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub>,  
CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, Ca, Mg, Na, K, Li, Mat. org., H. . . . . 2
- Informe Final . . . . . Memoria, Documentación y Anexo

El conjunto de los estudios en este proyecto ha estado dirigido por el Dr. Ingeniero de Minas del ITGE D. Miguel Angel Zapatero Rodríguez, y realizados por un equipo de Compañía General de Sondeos.

#### 4.- CONCLUSIONES. RECOMENDACIONES

---

##### Condiciones generales de los sectores visitados

En España existen varias cuencas con numerosos indicios y grandes posibilidades de poseer un importante yacimiento de azufre, esencialmente en las cuencas de:

Fortuna-Alhama-Lorca

Almería

Baza

en donde de manera general se observa alteración de yeso a caliza, concentraciones de azufre y antiguas explotaciones, muy numerosas, de este elemento.

El azufre siempre está conectado a series evaporíticas del Mioceno-Plioceno, generalmente Messiniense.

Los procesos de alteración más intensos se observan en la banda evaporítica Norte de la cuenca de Fortuna-Alhama, al N de Alcantarilla en las proximidades del Caserío el Cortado y sobre todo en la cuenca de Almería en el paraje de Los Juanorros.

Asimismo se observan grandes concentraciones de azufre de Banahadux (escombreras) y en el Marchal de Araoz (in situ). Por otro lado, la serie evaporítica se presenta bien desarrollada en Fortuna-Alhama-Lorca, también en Hellín y sobre todo en Almería, en donde existen grandes espesores de yeso con bancos potentes de cristales, repetidos en tres o cuatro ciclotemas. Este hecho, de la presencia de grandes espesores de yeso puro es quizás el más importante y favorable para encontrar un depósito de interés.

También destaca la cuenca de Baza, concretamente el sector de Benamaurel, en donde se presenta una serie margo-limoarenosa con yesos intercalados con gran desarrollo superficial y desconocida potencia.

En esta cuenca afloran y han sido explotados niveles de azufre con espesores de entre 3 y 10 cm. Existe la posibilidad de que en profundidad aumente el espesor de los niveles evaporíticos y por tanto la mineralización sea más importante.

### Recomendaciones

Se debe continuar con los estudios estructurales de detalle y de condiciones hidrogeológicas alrededor de las manifestaciones más importantes, tratando de definir estructuras abombadas, fallas, etc.

- Asimismo entre otras técnicas, estudios isotópicos para determinar las calizas de alteración, previos análisis petrográficos.
- Análisis microscópicos en los contactos entre yeso y calizas para detectar la presencia de restos de bacterias (scanned).
- Geofísica (perfiles geoelectrónicos, SEV, SEDT, neutrón-gamma, gravimetría).

El método de neutrón-gamma permite, en comparación con la resistividad, determinar dentro de un paquete de yesos los tramos de calizas estériles y mineralizadas.

- Radiometría para determinar la presencia o paso de hidrocarburos.
- Estudio de fotoaéreas, Landsat, y su interpretación de infrarrojos, para determinar las anomalías de temperatura, ya que todos los yacimientos de azufre

provocan reacciones exotérmicas manifestándose el fenómeno en el terreno como una anomalía geotérmica.

Además de estas técnicas, completadas al final con sondeos mecánicos de entre 150 a 200 m de profundidad, se insiste en los métodos tradicionales de exploración de campo ya conocidos como:

- estudio de alteraciones
- presencia de indicios
- fuentes y manantiales termales y/o azufrosas
- relaciones con volcanismo
- espesor y continuidad de los yesos, preferentemente de tipo selenítico
- olores fétidos.

En cuanto a las zonas concretas visitadas, y desde el punto de vista de su mayor a menor interés se señalan en el siguiente orden:

- 1º) Libros
- 2º) Cuenca de Almería (Los Juanorros-Pipaces) - Banahadux
- 3º) Cuenca de Baza (Benamaurel)
- 4º) Fortuna-Alhama
- 5º) Lorca

además debería investigarse la cuenca de Hellín, concretamente el área de Socovos y al Sur de las antiguas explotaciones del Barrio de las Minas, tal como ya se expuso en la nota sobre su anterior visita y se detalla en el proyecto Exploración Previa de Azufre Biogénico en diferentes áreas de Alicante-Albacete y Murcia (ITGE, 1990).

## Libros

Es el sector en donde la alteración, sustitución de yeso por caliza y azufre, es la más intensa de todas las zonas visitadas.

Surgen dos cuestiones a resolver, al igual que en otras cuencas del SE, la presencia de pizarras bituminosas en ésta, más abundantes y con mayor contenido de kerógeno, y, los restos fósiles que presentan algunos niveles de calizas mineralizadas, incluso los mismos fósiles y sus cavidades sustituidos o rellenos de azufre elemental.

A la primera cuestión parece que las pizarras bituminosas por sí solas no han podido generar los hidrocarburos suficientes para dar lugar al azufre allí presente, y, si su contenido es mayor es debido a que se han enriquecido de hidrocarburos de una fuente más profunda y más intensa que en otras cuencas.

A la segunda cuestión se plantea la posibilidad de que la mineralización de Libros sea secundaria, debida a oxidación de  $\text{SH}_2$  escapado de zonas más profundas o laterales, vía fallas, diaclasas, discontinuidades de estratificación, etc. y atrapado en los niveles más permeables, yesos, calizas, etc. entre niveles impermeables, pizarras bituminosas.

En cualquier caso la manifestación mineral es muy intensa, así como el número y volumen de escombreras de las antiguas explotaciones, por lo que se considera muy probable que en profundidad o lateralmente existen concentraciones de azufre de gran tamaño.

Se considera la cuenca de Calatayud-Teruel, en su conjunto muy interesante tanto para azufre como para petróleo.

Como trabajos futuros se recomienda insistir en el estudio fotogeológico-estructural con revisión en campo y perfiles geoeléctricos para definir las series evaporíticas, espesores, alteraciones y estructuras y sondeos mecánicos. En definitiva, la cuenca en si misma merece un estudio exhaustivo.

### Cuenca de Almería

#### Niveles evaporíticos de Los Juanorros-Pipaces

En la cuenca de Almería se desarrolla una serie con niveles de yeso de forma muy continua en el sector occidental y oriental, recubiertos en el centro de ella por los materiales suprayacentes del Messiniense terminal-Pleistoceno.

La estructura de este conjunto evaporítico, en anticlinal, es además muy favorable.

El afloramiento denominado -Los Juanorros- representa la terminación en superficie del afloramiento evaporítico occidental en el punto de inflexión de estos niveles.

En este gran afloramiento, los yesos, aflorando con una potencia superior a los 30 m poseen una intensa sustitución a caliza, en parte dolomitizada. Presentan intercalaciones arcillosas (bentonita y tuff y restos de peces) que favorecen el entrapamiento de los fluidos, por ello, a muro de esos niveles, impermeables, se observa una más intensa sustitución y por tanto, niveles calcáreos de mayor entidad.

Parte de los niveles evaporíticos están constituidos por yeso detrítico ya que el eje de máximo alargamiento del cristal no está vertical.

Esta observación nos hace pensar en una probable desconexión del afloramiento de Los Juanorros con respecto a los niveles evaporíticos próximos al borde de Sierra Alhamilla, constituyéndose como un segundo nivel superior evaporítico procedente del inferior mediante una fractura de tipo lístrico.

En definitiva, en uno u otro caso la situación es muy similar a la que se presenta en Polonia en donde se estaría próximo a un yacimiento. También es parecido con los depósitos de azufre de Argelia en donde se encontró asimismo un yacimiento pero en este caso dentro de una estructura abombada más acusada que en Polonia.

No parece importar que no se vea azufre. El principio de la sustitución, que es la caliza, es muy intenso, por lo que en los sectores adecuados por su estructura y entrapamiento esta alteración puede ser de azufre, según la opinión del Sr. Kubica que indica que en el azufre se forma cuando los niveles se encuentran impermeabilizados mientras que la caliza domina en donde el  $\text{SH}_2$  no ha tenido suficiente tiempo para oxidarse; en base a que el primer producto de la alteración es el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y el  $\text{SH}_2$  resultante, que dará lugar al azufre nativo, debe conservarse el suficiente tiempo en la trampa para oxidarse y no escapar a zonas superiores o laterales.

En conclusión es de gran importancia investigar la estructura anticlinal de los Juanorros hasta, al menos los Pipaces, y su posible continuación hacia el E mediante geofísica (métodos geoelectrónicos, SEV, SEDT) y sondeos, éstos ubicados en líneas perpendiculares a las estructuras y con tres sondeos, al menos, separados unos 500 m cada uno, en cada línea. Realizar sondeos aislados separados en una distancia superior a 1 km no suele conducir a la obtención de buenos resultados.

### **Benahadux**

Llama la atención la gran cantidad de restos de azufre existente en los numerosas y voluminosas escombreras existentes.

Se puede datar la edad de la mineralización, al menos la más tardía, como Pliocena terminal a Pleistocena.

Benahadux es un problema distinto de lo visto en las restantes cuenca y sectores. Se apunta un posible origen de las dolomías con azufre procedentes de evaporíticas.

Pueden ser manifestaciones de azufre debido a gran cantidad de  $\text{SH}_2$  que sobra de una fuente inferior por lo que se puede encontrar un gran yacimiento bioepigenético en profundidad (máximo 200 m).

Hay que estudiar el sector individualmente con otro tratamiento distinto al que se utiliza en las cuencas neógenas, en cualquier caso se recomienda la realización de tres sondeos de unos 200 m de profundidad máxima, cerca de las antiguas explotaciones.

### **Marchal de Araoz**

Azufre en superficies de discontinuidad, rellenando fisuras en niveles carbonosos. Cristales de yeso en su proximidad.

Se resalta como importante la gran cantidad y variedad de indicios en este sector de la cuenca de Almería.

Las hiladas amarillas (azufre) pueden ser el resultado de la alteración de sulfatos previamente removilizados y que rellenan esas superficies de discontinuidad (yeso

fibroso) y que posteriormente nuevamente transformado en alunita, jarosita y natrojarosita.

### Cuenca de Baza (Benamaurel)

La característica principal de esta cuenca con respecto al azufre es la gran cantidad de antiguas labores de explotación existentes repartidas por casi toda la superficie que ocupan los materiales margo-arenosos-evaporíticos.

Los afloramientos en donde se observa la mineralización son escasos, pero tanto en ellos como en las escombreras llama la atención **la ausencia de calizas de sustitución.**

En algunos momentos el Dr. Kubica aceptó la posibilidad de que la mineralización de azufre en la cuenca de Baza tuviese un origen biosingénético, sin embargo, algunas observaciones, como el reemplazamiento de cristales de "selenita" por azufre, lo hizo decidirse por un origen bioepigenético secundario (escapes de  $\text{SH}_2$ ).

En cualquier caso se da máxima importancia a encontrar las calizas de sustitución que significan el principio del proceso que puede dar lugar a un gran yacimiento.

Por otro lado, los niveles evaporíticos que se observan en la cuenca no son muy potentes, sin embargo la alteración ha sido muy intensa (siempre que el origen sea bioepigenético) ya que estos niveles se sitúan entre una serie, en general, bastante impermeable y poco adecuada para que por ella se infiltren los gases o hidrocarburos necesarios para iniciar el proceso de alteración que da lugar a la caliza y el azufre.

En definitiva, en esta cuenca se recomienda la realización de sondeos situados en proximidad a las antiguas labores al objeto de comprobar la potencia de la serie

mineralizada por sí en profundidad los niveles evaporíticos fuesen más espesos y su sustitución por caliza y azufre mayor.

### Cuenca de Fortuna-Alhama-Lorca

En esta cuenca se seleccionan una serie de sectores, en proximidad a las bandas evaporíticas mineralizadas, en el centro de la cuenca y en los bordes de los afloramientos de rocas volcánicas (Barqueros y Fortuna) en donde se deben realizar perfiles geoelectricos (SEV, SEDT), investigación hidrogeológica y comprobación mediante al menos dos sondeos en cada una de ellas.

### Cádiz

Diferente estilo de concentración de azufre con respecto a las otras cuencas.

Estos indicios están conectados a los sulfatos del Trías, con posibles fenómenos diapíricos.

Existen explotaciones antiguas, así como sondeos para petróleo que describen azufre (Chiclana), pero en este momento es difícil decir el horizonte explotado.

En la antigua mina de Arcos el Trías aflora en una serie sulfatada, con anhidritas listadas, muy duras que intercalan arcillas rojas y margas. No se conoce el espesor de la serie y sólo se observan pequeños procesos de alteración.

El sondeo efectuado perfora la serie superior de calizas y margas arcillosas negras muy tectonizadas. Fuerte olor a  $\text{SH}_2$  mediante una fuente que está conectada al yacimiento de S antiguamente explotado. Este fenómeno se debe continuar verificándolo, en proximidad a la antigua labor e ir alejándose progresivamente de ella, mediante sondeos.

El Director del Proyecto



Fdo.: Miguel A. Zapatero