



APLICACIÓN DE TÉCNICAS E INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN RELACIÓN CON EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO Y APOYO A LA PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN.



ACTIVIDAD 6: Asistencia técnica en temas geológico-mineros.  
ACTIVIDAD 9: Actualización técnica y supervisión de la publicación del “Mapa de rocas y minerales industriales de la provincia de Jaén, a escala 1:200.000” a realizar por la Diputación Provincial de Jaén.

---

## APLICACIÓN DE TÉCNICAS E INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN RELACIÓN CON EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO Y APOYO A LA PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN.

**ACTIVIDAD 6: Asistencia técnica en temas geológico-mineros.**

**ACTIVIDAD 9: Actualización técnica y supervisión de la publicación del “Mapa de rocas y minerales industriales de la provincia de Jaén, a escala 1:200.000” a realizar por la Diputación Provincial de Jaén.**



## MAPA DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES DE JAÉN Escala 1:200.000

### MEMORIA

## Presentación

El principal objetivo de la realización del *Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Jaén* es conocer el potencial que posee la provincia en estas materias primas, a través de la revisión y caracterización de actuales y antiguas explotaciones de numerosas sustancias minerales, y la realización de una cartografía a escala 1:200.000 de los recursos existentes a nivel provincial. El *Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Jaén* recoge una amplia caracterización del sector, que sin duda constituye una herramienta de base para la actividad minera, permitiendo mejorar el conocimiento y aprovechamiento de los recursos, a través de su ordenación geográfica y territorial.

Una de las características fundamentales de los recursos minerales es que no son renovables. La gran demanda de materias primas para la industria de bienes de consumo hace indispensable la búsqueda continuada de nuevos depósitos, implicando entre otras labores, la actualización de todos los indicios y explotaciones que existen sobre el terreno. La presentación cartográfica de los datos se realiza mediante los mapas de recursos minerales, donde a través de la simbología adecuada, queda representada la ubicación de las explotaciones, sustancia explotada, uso al que se destina o destinaba en el pasado y tipo de minería, entre otros aspectos. La Diputación Provincial de Jaén, interesada en actualizar y poner en valor los recursos que acumula la provincia en el sector de las rocas y minerales industriales, suscribe en 2004 un Convenio de Colaboración con el IGME para la realización del Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Jaén E. 1:200.000, dado que el IGME es el organismo nacional de referencia en el ámbito de las cartografías de Recursos Geológicos. Con este trabajo cartográfico se pretende contribuir a mejorar el conocimiento del sector minero en la provincia, además de ser un documento base para investigaciones mineras posteriores y servir como herramienta de ayuda en la planificación u ordenación territorial para las Administraciones competentes.

El resultado de dicha colaboración fue un documento compuesto por una memoria y una cartografía a escala 1:200.000, con caracterización y proyección de todas las explotaciones de rocas y minerales industriales ubicadas en la provincia de Jaén. Este trabajo supuso en su momento la revisión de más de 350 puntos de un total de 17 sustancias explotadas por entonces en la provincia. En el periodo de ejecución de los trabajos, la provincia de Jaén, se encontraba en un periodo de gran desarrollo económico, traducido en altas tasas de empleo y un importante impulso industrial.

Actualmente, en el marco del Convenio vigente entre la Diputación de Jaén y el IGME para el periodo 2017-2020, se retoma la cuestión de las rocas y los minerales industriales en la provincia. El interés de la Diputación de Jaén se centra ahora en la publicación de la cartografía

inédita, realizada en la etapa anterior, planteándose una serie de acciones a desarrollar en el citado período, para la consecución de dicho objetivo:

- Revisión y valoración de la información previamente elaborada (contenido y formato de redacción)
- Realización del Mapa de Rocas y Minerales industriales de Jaén a E. 1:200.000

Los trabajos realizados hasta la fecha han ido encaminados a la revisión y valoración de la información acabada en la etapa anterior (memoria y cartografía) para, por un lado, evaluar su vigencia actual y por otro, programar las nuevas actividades y proceder a su ejecución. A continuación pasamos a enumerar y describir los trabajos realizados:

- Análisis de la memoria realizada por el equipo técnico anterior. Se trata de un documento que consta de varias partes; la primera, a modo de introducción, recoge la metodología de trabajo, así como los antecedentes y el marco geológico; la segunda parte, describe las sustancias extraídas, ubicación de las explotaciones, empresas explotadoras, además de abundantes datos de carácter economicista. Este trabajo se realiza en un momento de especial bonanza económica para este sector, a tenor del desarrollo urbanístico y de obra civil que en este periodo tiene lugar en todo el territorio nacional. La provincia de Jaén, al igual que el resto de provincias españolas suministradoras de recursos ligados a la construcción (arcillas, áridos, rocas ornamentales, etc), registra en esos momentos un elevado número de explotaciones y la BBDD elaborada durante la elaboración de esta memoria inédita cuenta con 350 registros, a saber, indicios mineros, explotaciones abandonadas, explotaciones vigentes y explotaciones intermitentes.
- Para constatar la situación actual de la minería y, por tanto, el número de explotaciones activas, intermitentes o no, se recurrió al Sistema de Información Geológico-Minero de Andalucía (SIGMA), del Portal Andaluz de la Minería. Frente a los 350 registros que aparecen en la antigua BBDD (representando explotaciones activas, intermitentes y abandonadas) y que representarían la información disponible a fecha del año 2004, nos encontramos tan solo un total de 180 registros que maneja la Junta de Andalucía. Esta cifra es el resultado de los cambios acontecidos en el sector de las rocas y minerales industriales durante la crisis económica, reduciéndose drásticamente las producciones, número de explotaciones y empresas explotadoras.
- La comparación de ambas BBDD nos está generando una tercera que muestra la situación actual del sector de las rocas y minerales industriales en la provincia de Jaén. Entre ambas BBDD las diferencias se deben al cierre de determinadas explotaciones, a la apertura de otras nuevas y, en cualquier caso, a la fuerte transformación que ha sufrido este sector industrial en los últimos años. Nuestro actual trabajo consiste en, partiendo de la información actualizada proporcionada por la Junta de Andalucía, comprobar los puntos para constatar su estado (activas y activas intermitentes, abandonadas o indicios).

- Otro aspecto que hemos revisado, respecto a la cartografía anterior, es la base geológica. Mientras que en el anterior documento se utilizó la Cartografía Geológica Nacional a escala 1:50.000 (un total de 40 MAGNAS en los que queda recogida la provincia de Jaén), en las proyecciones actuales contamos con la Cartografía Geológica Digital a Escala 1:50.000 (GEODE). Este mapa representa el resultado de la homogeneización cartográfica de la serie del mapa geológico MAGNA, serie que integra 1143 mapas. El GEODE constituye el soporte institucional para la generación de un mapa geológico digital continuo a escala 1:50.000 que dota de continuidad cartográfica a las hojas geológicas de la serie MAGNA dentro de cada región y generar una leyenda unificada de unidades geológicas para cada región.
- Dada la destacada posición que ocupan las arcillas para uso industrial en la provincia de Jaén, prestamos especial atención a la evolución de este sector en los últimos años. La concentración de explotaciones en el área de Bailén, revela la importancia que tiene la actividad cerámica en este ámbito geográfico y para la que la arcilla es una sustancia estratégica en el tejido productivo local y en el proceso de desarrollo económico. Al igual que otros sectores ligados a la construcción, ha sufrido desde 2008 un dramático descenso de las ventas, obligando a las empresas a tomar medidas con repercusión directa en el volumen de producción, número de puestos de trabajo, entre otros factores.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Marco Físico .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Objetivos y Metodología de Trabajo.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Síntesis Geológica .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Descripción de Explotaciones e Indicios .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Arcillas .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3 Potencialidad cerámica de la Provincia de Jaén .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.4 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Arenas y Gravas.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Areniscas, cuarcitas y calcarenitas.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.1 Explotaciones mineras activas e intermitentes .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.3 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Caliza y Dolomía .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.3 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Minerales de Estroncio-Celestina .....</b>	<b>53</b>
<b>3.5.1 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>54</b>
<b>3.5.2 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>55</b>
<b>3.6 Diatomita .....</b>	<b>56</b>
<b>3.6.1 Explotaciones mineras abandonadas.....</b>	<b>56</b>
<b>3.6.2 Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>57</b>
<b>3.7 Fluorita .....</b>	<b>59</b>
<b>3.7.1 Indicios .....</b>	<b>59</b>

<b>3.7.2</b>	<b>Especificaciones y usos .....</b>	<b>60</b>
<b>3.8</b>	<b>Granito.....</b>	<b>61</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>62</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>62</b>
<b>3.9</b>	<b>Margas.....</b>	<b>64</b>
<b>3.9.1</b>	<b>Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>64</b>
<b>3.9.2</b>	<b>Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>65</b>
<b>3.10</b>	<b>Óxidos de hierro-Ocres .....</b>	<b>66</b>
<b>3.10.1</b>	<b>Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>66</b>
<b>3.10.2</b>	<b>Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>67</b>
<b>3.11</b>	<b>Ofita.....</b>	<b>68</b>
<b>3.11.1</b>	<b>Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) .....</b>	<b>69</b>
<b>3.11.2</b>	<b>Explotaciones mineras abandonadas e indicios.....</b>	<b>70</b>
<b>3.11.3</b>	<b>Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>70</b>
<b>3.12</b>	<b>Sal sódica-Halita .....</b>	<b>72</b>
<b>3.12.1</b>	<b>Explotaciones abandonadas e indicios.....</b>	<b>72</b>
<b>3.12.2</b>	<b>Ensayos, Especificaciones y usos .....</b>	<b>74</b>
<b>3.13</b>	<b>Pirofilita .....</b>	<b>76</b>
<b>3.13.1</b>	<b>Propiedades y usos .....</b>	<b>76</b>
<b>3.14</b>	<b>Yeso.....</b>	<b>77</b>
<b>3.14.1</b>	<b>Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) .....</b>	<b>77</b>
<b>3.14.2</b>	<b>Explotaciones abandonadas e indicios.....</b>	<b>78</b>
<b>3.14.3</b>	<b>Ensayos, especificaciones y usos .....</b>	<b>79</b>
<b>4.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>82</b>

## 1 Introducción

Las rocas y minerales industriales forman parte de un importante sector económico en cuanto al volumen de recursos producidos, con una gran capacidad de generación de beneficios sociales y una repercusión fundamental sobre sectores como el inmobiliario, las redes de transporte y comunicación, las obras hidráulicas, la industria química en general y, en definitiva, las infraestructuras que soportan el desarrollo económico y social de un país.

De este modo, las rocas y minerales industriales se han convertido en un pilar básico para la sociedad actual, tanto para su desarrollo futuro como su mantenimiento presente, teniendo en cuenta la multiplicidad de usos en las distintas industrias.

Dichos usos son cada vez más amplios y se encuentran en una constante evolución, debido tanto a la mejora de los procesos industriales como a las exigencias de la demanda de los condicionamientos industriales.

El principal interés de las rocas y minerales industriales deriva esencialmente de sus propiedades físicas y, en algunos casos, químicas, no residiendo su aplicación industrial en la obtención de elementos potencialmente extraíbles de ellas, uso característico de los metales, ni en su capacidad para generar energía, siendo este el campo de los combustibles minerales (Bustillo et al., 2001).

Una de las definiciones dadas a las rocas y minerales industriales fue la establecida en 1971 en el Plan Nacional de Investigación Minera (P.N.I.M.): “Se llama rocas y minerales industriales a aquellas sustancias mineras utilizadas en procesos industriales, directamente o mediante una preparación adecuada, en función de sus propiedades físicas o químicas, y no en función de las sustancias potencialmente extraíbles de las mismas ni de su energía”.

La más actual es la de Bustillo Revuelta y López Jimeno (2000) que las definen como materiales geológicamente abundantes, que se utilizan frecuentemente como se encuentran en la naturaleza (sin posterior procesado) y que se producen y consumen en grandes cantidades. Dentro de este grupo de sustancias, sitúan a las rocas y materiales de construcción, a los que, además de las particularidades anteriormente citadas, añaden las siguientes características, un precio bajo por unidad, unas fases de exploración, extracción y procesado baratas, una importancia acusada de su cercanía a los centros de consumo debido a los altos costes de transporte y la particularidad de que un tipo puede ser sustituido por otro.

Las rocas y minerales industriales se han convertido, debido a su alto grado de utilización, por parte de la industria, en un soporte fundamental de la economía de muchos países y en una necesidad para seguir manteniendo el bienestar de la sociedad actual, ya que están presentes en prácticamente todos los aspectos de la vida cotidiana.

La provincia de Jaén es geológicamente muy rica y tiene una gran tradición minera. Este trabajo pretende profundizar en el sector de las materias primas utilizadas en la industria de las rocas y minerales industriales, llevando a cabo un exhaustivo inventario de todos los puntos activos, intermitentes o continuos, así como abandonados, de tal forma que tengamos una información actualizada en la que basar el aprovechamiento y explotación de los recursos de la provincia.

### 1.1 Marco Físico

La provincia de Jaén se sitúa al sur de España y al norte de la Comunidad autónoma de Andalucía. Limita al Norte con Ciudad Real, al este con Albacete, al oeste con Córdoba y por el sureste con Granada (Figura 1). Con una superficie de 13.498 km<sup>2</sup>, está dividida en 97 municipios, entre los cuales, destacan, junto a Jaén, los municipios de Linares, Úbeda, Andújar, Martos y Alcalá la Real.



**Figura 1.** Situación geográfica de la provincia de Jaén (en rojo)

La provincia de Jaén queda enmarcada en cuatro hojas a escala 1:200.000 (Figura 2):

70 Linares	71 Villacarrillo
77 Jaén	78 Baza

**Figura 2.** Situación geográfica de la provincia de Jaén (en rojo)

Considerada como la Suiza de Andalucía, destaca por su orografía irregular. De norte a sur pasa de relieves alomados, llenos de encinares, a campos de olivares que rellenan la Depresión del Guadalquivir y finalmente en la zona sur y sureste, se localizan unos relieves carbonatados muy escarpados anunciando la entrada a las Cordilleras Bética, donde se alcanzan las mayores altitudes de la provincia, entre las que cabe destacar: Mágina (2.167 m, el más alto de la provincia), Almadén (2.032 m), Cabaña (2.027 m), Pandera (1,870 m), etc.

Destaca por su calidad ambiental, con hábitos de vida íntimamente relacionados con la naturaleza. Entre los lugares de interés a visitar están sus cuatro Parques Naturales: Parque Natural Sierra de Andújar, Parque Natural de Sierra Mágina, Parque Natural de Despeñaperros

y Parque Natural de Sierra de Cazorla, Segura y las Villas (designado reserva de la biosfera por la UNESO) (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución de los diferentes Parques Naturales que existen en la provincia de Jaén

Otros lugares de interés son las ciudades renacentistas declaradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco, Úbeda y Baeza, donde se aprecia la riqueza patrimonial, monumental e histórica, con la que cuenta la provincia.

La red fluvial pertenece a la Cuenca del Guadalquivir, río que nace en el Parque Natural de Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, en el municipio de Quesada. Otros ríos, cabe destacar sus afluentes más directos tales como Guadalimar, Guadiana Menor o Jándula, entre otros.

La red de carreteras, sistema principal de comunicación, cuenta con dos carreteras estatales que forman el eje principal de comunicación. De norte a sur son la A-4 (Madrid-Córdoba N-IV) y de oeste a este la A-32 (Córdoba-Valencia N-322).

## 1.2 Antecedentes

Como punto de partida para este trabajo, se tuvo en cuenta el Mapa de Rocas y Minerales Industriales a escala 1: 200.000 realizado por el IGME. Se trata de una cartografía geológica-minera, elaborada en la década de los 70, que recoge una síntesis de los recursos minerales industriales en todo el territorio nacional.

Dentro del ámbito de la provincia de Jaén hay que citar los trabajos del IGME (1970b, 1974a, 1974b, 1976a, 1976b), de la Junta de Andalucía (2017-2018), y su sistema de Información Geológico-Minero de Andalucía (SIGMA). Asimismo, han sido consultados los planes de labores recientes del Departamento de Minas de la Delegación de Jaén de la Consejería de Innovación, Ciencias y Empresa de la Junta de Andalucía.

Otros estudios sectoriales consultados igualmente para la realización de esta memoria han sido los del IGME (1970a, 1981, 1982a, 1982b), Baltuille et al. (1996), Sebastian Pardo et al. (1995), Vázquez Vílchez (2004) y Regueiro y Gonzalez-Barros y Quesada y Moya (2003).

Igualmente se ha contado con toda la información aportada por las diferentes empresas y compañías mineras, usuarios y asociaciones relacionadas con la explotación y comercio de

materias primas: cementeras, cerámicas, constructoras, etc, junto con la obtenida en publicaciones periódicas, nacionales o internacionales, que hiciesen referencia a estas sustancias.

### 1.3 Objetivos y Metodología de Trabajo

El objetivo fundamental del proyecto es la representación cartográfica de los recursos mineros en la provincia de Jaén, mediante la realización del Mapa de Rocas y Minerales industriales de la Provincia a escala 1:200.000, donde a través de la simbología adecuada queda representada la ubicación de las explotaciones, sustancia explotada, uso al que se destina o destinaba en el pasado y tipo de minería, entre otros aspectos. A la citada cartografía le acompaña una memoria donde se recoge toda la información relativa a las sustancias explotadas (usos, especificaciones, empresas explotadoras, etc).

Las etapas para la realización de este trabajo han sido las siguientes:

- Recopilación bibliográfica. Estudio y análisis de la documentación existente en el IGME, en el Departamento de Minas de la Delegación Provincial de Innovación, Ciencias y Empresas de Jaén, en el Departamento de Geología de la Universidad de Jaén y en el SIGMA
- Actualización del inventario de explotaciones activas y abandonadas
- Localización y reconocimiento de explotaciones e indicios
- Caracterización tecnológica. Recopilación de ensayos y análisis existentes
- Fichas informatizables normalizadas. Carga de toda la información generada en una base de datos junto a una información complementaria: fotos aéreas, fotos de campo, análisis y ensayos
- Elaboración de la cartografía geológica. Para la base geológica contamos con la Cartografía Geológica Digital a Escala 1:50.000 (GEODE)
- Elaboración del mapa a E. 1:200.000.
- Elaboración de la memoria final

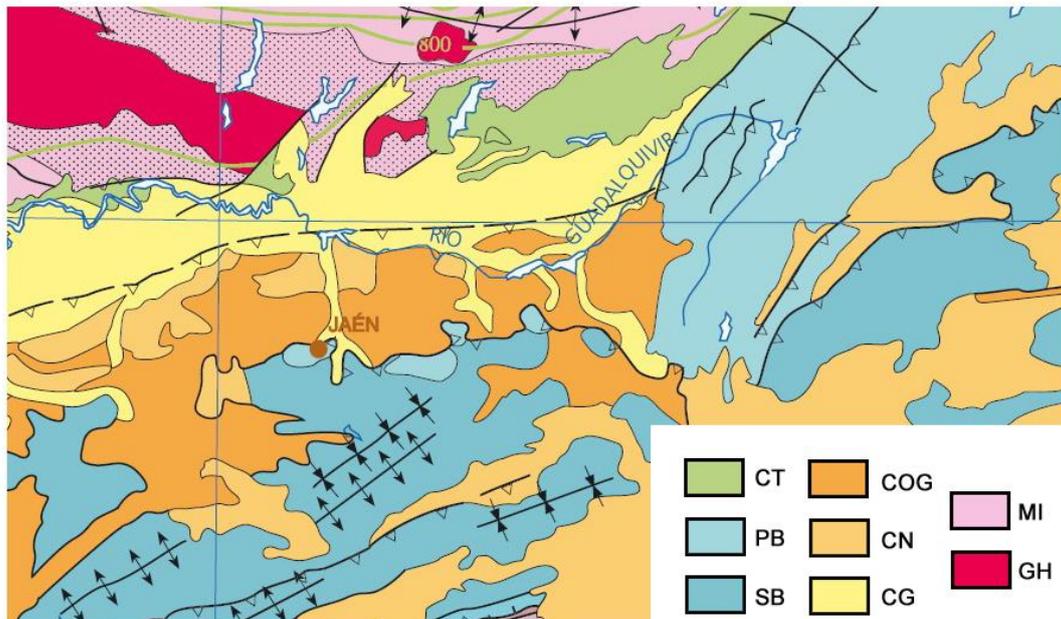
## 2 Síntesis Geológica

En la provincia de Jaén están representadas tres de las grandes unidades geotectónicas de la Península Ibérica: el Macizo Ibérico, la Cordillera Bética y la Cuenca del Guadalquivir. Un poco más en detalle, podemos describir de Noroeste a Sudeste las siguientes divisiones: borde meridional del Macizo Ibérico, Cobertera Tabular, Cuenca del Guadalquivir, Zonas Externas Béticas y Cuencas Postorogénicas Béticas(Figura 4).

El borde meridional del Macizo Ibérico está formado por materiales precámbricos y paleozoicos plegados y deformados durante la orogenia hercínica. En la provincia de Jaén,

afloran dos de las cinco zonas en las que se divide en el Macizo Ibérico: la Zona Centroibérica y, en menor medida, la Zona de Ossa-Morena.

La Cobertera Tabular está formada por materiales sedimentarios detríticos autóctonos depositados en el Paleomargen Sudibérico durante el Mesozoico y parte del Cenozoico. Se encuentran escasamente deformados.



CT.-Cobertera Tabular. PB.- Prebético. SB.- Subbético. COG.- Complejo Olistostrómico del Guadalquivir y Complejos Caóticos Subbéticos. CN.- Cuencas Neógenas. CG.- Cuenca del Guadalquivir. MI.- Macizo Ibérico. GH.- Granitos Hercínicos.

**Figura 4.** Unidades Tectónicas en el marco de la provincia de Jaén a partir del Mapa Tectónico de España a escala 1:2.000.000 (Rodríguez-Fernández, L.R. (2004)

Las Zonas Externas Béticas están divididas en dos grandes dominios tectonoestratigráficos que se ven representados en la provincia de Jaén: el Prebético y el Subbético. Al igual que ocurre en la Cobertera Tabular, tanto Prebético como el Subbético están formados por materiales depositados durante el Mesozoico y parte del Cenozoico, pero a diferencia de ésta, los materiales de las Zonas Externas si se encuentran afectados por procesos tectónicos alpinos que se ponen de manifiesto de diferente forma en los dos dominios. El Prebético está formado por materiales marinos someros moderadamente alóctonos que se han visto plegados y despegados de su basamento prealpino, cabalgando sobre la Cobertera Tabular. El Subbético, por su parte, está formado por materiales marinos pelágicos claramente alóctonos, muy deformados y que cabalgan sobre el Prebético. En general el Subbético se puede dividir, de más proximal a más distal o de más septentrional a más meridional, en los siguientes subdominios: Complejo Olistostrómico del Guadalquivir, que forma parte de los Complejos Caóticos Subbéticos, muy tectonizados y brechificados (Pérez-López y Sanz de Galdeano,

1994); Dominio Intermedio (Ruiz-Ortiz 1981); Subbético Externo; Subbético Medio; Subbético Interno-Penibético. J.A. Vera (coord.), C. Arias, M. García-Hernández, A.C. López-garrido, A. Martín-Algarra, J. Martín-Chiviler, J.M. Molina, P. Rivas, P.A. Ruiz-Ortiz, C. Sanz de Galdeano, L. Vilas (2004): Las Zonas Externas Béticas y el Paleomargen Sudibético. En: Geología de España (J.A. Vera, Ed), SGE-IGME, Madrid, 354-361.

La Cuenca del Guadalquivir se corresponde tectónicamente con una primera fase de la estructuración general de las Cuencas Neógenas de la Cordillera Bética. Ésta en concreto, se origina durante el Mioceno Inferior y Medio como Cuenca de Antepaís Bética. La sedimentación recibida durante todo el Neógeno y el Cuaternario da lugar a un relleno que se sitúa bien sobre el Macizo Ibérico o bien sobre las Zonas Externas.

A finales del Mioceno se produce el paso a un régimen continental asociado a una tectónica de tipo distensivo con creación de cuencas intramontañosas, son las Cuencas Postorogénicas Béticas, desarrolladas en la segunda fase de estructuración general de las Cuencas Neógenas Béticas. Éstas se sitúan tanto sobre las Zonas Internas como sobre las Zonas Externas, o incluso sobre el contacto entre ellas. El relleno y evolución de todas estas cuencas está ligado, al igual que ocurre con la Cuenca del Guadalquivir, con variaciones eustáticas y cambios tectónicos alpinos. C. Viseras (coord.), C. Viseras, J.M. Soria y J. Fernández (2004): Cuencas Neógenas Postorogénicas de la Cordillera Bética. En: Geología de España (J.A. Vera, Ed), SGE-IGME, Madrid, 576-581.

### 3 Descripción de Explotaciones e Indicios

#### 3.1 Arcillas

Entre los diversos recursos minerales que posee la provincia de Jaén, las arcillas para uso industrial ocupan un puesto muy relevante. Desde el punto de vista industrial, la provincia de Jaén se posiciona como la principal productora de cerámica estructural en Andalucía, siendo la comarca de Bailén la más destacada, tanto por el número de explotaciones como por el peso que tiene en la economía de la región. La arcilla para ladrillos, cerámica, loza, etc, procede de una minería muy atomizada, estando con frecuencia en manos de pequeñas empresas familiares donde las explotaciones se encuentran en las proximidades de las fábricas. Desde 2008, el sector industrial de cerámica estructural ha sufrido un dramático descenso de las ventas, por lo que las empresas se vieron obligadas a tomar una serie de medidas encaminadas a paliar la crisis del sector (disminución de la producción, descenso en el número de trabajadores, etc). De una producción de 2.210.590 toneladas en 2008, se pasó a una de 399.700 toneladas en 2013, lo que supuso un descenso de la producción del 82% (Ministerio Para la Transición Ecológica, 2018). Sin embargo, en 2015 se produce un significativo cambio en la tendencia, siendo precisamente este año a partir del cual se registra un incremento en los datos de producción (+5,13%) y de facturación (+9,52%) con respecto al año 2014. Aparecen, por tanto, los primeros indicios de recuperación del sector cerámico nacional, tendencia que se mantiene hasta el momento actual (CEPCO, 2018). El “clúster” cerámico de Bailén produce en torno al 20% de la fabricación nacional de cerámica para la construcción (Galán-Arboledas et al., 2013).

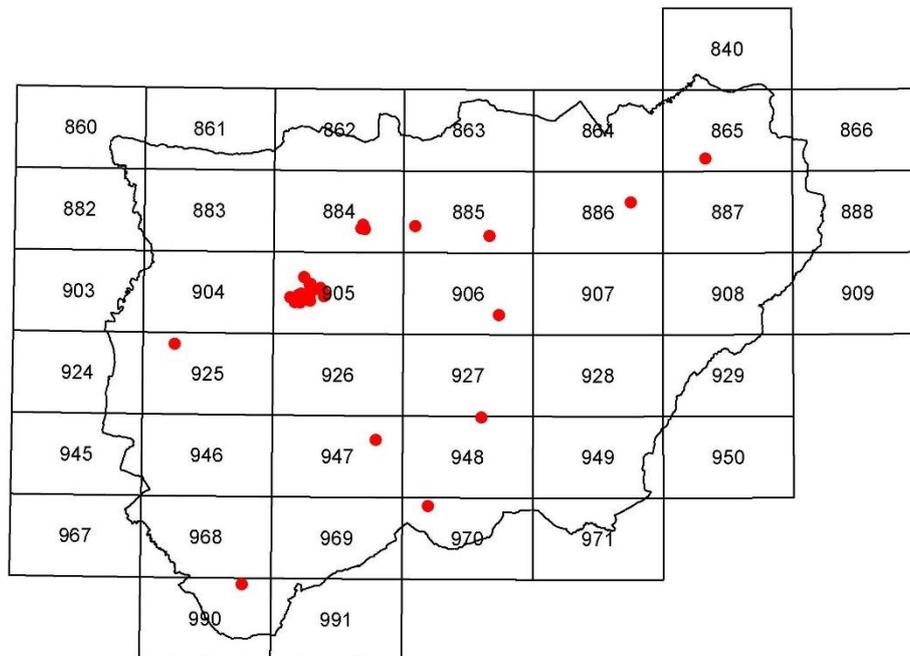
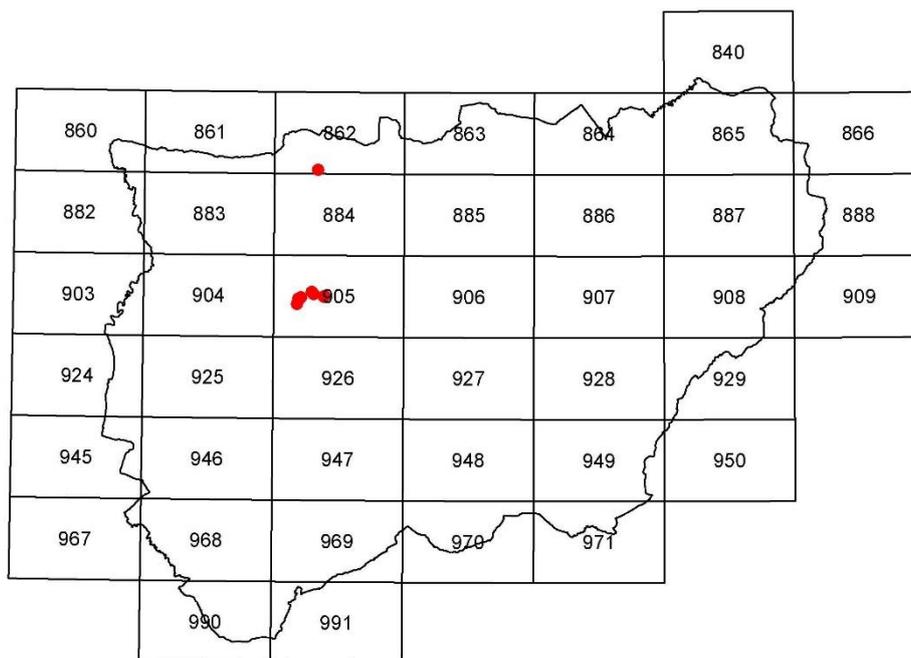


Figura 5: Distribución de las explotaciones de arcillas cerámicas en la provincia de Jaén antes del año 2000

En el periodo anterior al año 2000 el número de explotaciones en la provincia de Jaén era el doble del actual (García-Cortés, A., Ed. Ppal., 2011) y la dispersión geográfica de las explotaciones mayor (Figura 5); la crisis del sector obligó a la concentración de la producción en el entorno de Bailén y al cierre del resto de las explotaciones que salpicaban la provincia (Figura 6).



**Figura 6:** Distribución de las explotaciones de arcillas cerámicas en la provincia de Jaén año 2018

La recuperación que experimenta actualmente el sector viene marcada por el incremento sostenido en la producción en los años 2014 (474.357 toneladas), 2015 (490.218 toneladas) y 2016 (659.595 toneladas) (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018). Estos datos confirman un crecimiento paulatino en uno de los sectores más tradicionales y con mayor peso en la economía provincial, y la estabilización de éste tras la crisis acontecida.

La producción cerámica de Jaén se ha centrado tradicionalmente en la cerámica estructural, es decir, aquella dedicada a la fabricación de productos como ladrillos y bloques perforados y, en menor medida, tejas y ladrillos tipo “clinker” y cara vista. Todos ellos son materiales frecuentemente usados en la construcción y obtenidos mediante moldeo, secado y cocción de una pasta compuesta básicamente por arcilla común y/o margas. Estas materias primas se caracterizan por presentar una amplia distribución de afloramientos, gran variedad en la tipología del yacimiento e importantes reservas de explotación, además de un amplio intervalo de propiedades físicas y composición químico-mineralógica, es decir, se trata de materiales con especificaciones poco exigentes (González, 1992; Díaz-Rodríguez y Torrecillas, 2002).

Las materias primas utilizadas actualmente en la industria de la cerámica en la provincia de Jaén se localizan geográficamente al norte de la misma, en torno a la comarca de Bailén. El carácter tan localizado que presentan estos recursos, alrededor de los núcleos de consumo,

hace que las explotaciones se sitúen en la formaciones arcillosas y margosas disponibles en la zona, obteniendo al final un producto de calidad mediante la mezcla de varios tipos de arcillas. El sector cerámico de Bailén se nutre principalmente de arcillas y margas miocenas de coloración gris-amarillenta que rellenan la Cuenca del Guadalquivir, y que son conocidas como barro negro, rubio y blanco. Conjuntamente se explota el llamado barro rojo, arcillas rojas triásicas de la Cobertera Tabular del Macizo Ibérico. La formulación de mezclas responde generalmente a la experiencia empírica desarrollada por esta industria durante generaciones. Tanto las materias primas como las mezclas formuladas con ellas están bien estudiadas y caracterizadas (Bernal et al., 1977, 1978; García Valdecasas et al., 1979; González et al., 1985, 1992, 1998; Jiménez Millán et al., 1996; Vázquez, M. 2004; Bueno y Álvarez de Diego, 2008).

Las materias primas explotadas en la depresión del Guadalquivir son margas y margoarcillas del Tortoniense Superior. Según González et al. (1985), dichas materias primas se obtienen de la unidad intermedia de la secuencia litológica Terciaria, donde se localizan tres lechos margosos de diferente coloración (marga gris oscura, amarillenta y gris clara), que dan lugar a los tres tipos de barros explotados: negro (Figura 7), rubio (Figura 8), y blanco (Figura 9). La totalidad de las explotaciones se encuentran en la comarca de Bailén.



**Figura 7:** Panorámica de la explotación de barro negro La Retamosa Fracción 2ª (Bailén)

En las Tablas que a continuación se recogen en el texto se muestran los análisis mineralógicos y de plasticidad (tabla 1) y los análisis químicos (tabla 2) de las arcillas patrón (Galán-Arboledas et al., 2013)

Las tres arcillas se caracterizan por ser ricas en cuarzo y calcita, aunque se aprecian ciertos matices entre ellas: la arcilla Blanca apenas llega a contener un 30% de cuarzo mientras que tanto la Rubia como la Negra pasan del 40%. Además, aun teniendo en cuenta que las tres muestras son ricas en calcita, el contenido en la Blanca llega al 25%, siendo significativamente más alta que en las otras dos.



**Figura 8:** Panorámica de la explotación de barro rubio La Esperanza Cubana (Bailén)



**Figura 9:** Panorámica de la explotación de barro blanco María Bellido (Bailén)

Los filosilicatos dominantes en las tres muestras son la esmectita y la illita. En el caso de la Blanca, la esmectita representa un 60% de los filosilicatos totales, mientras que la illita constituye alrededor del 30%. En la Rubia y la Negra las proporciones son distintas, dando lugar a que en ambas la illita represente en torno al 60% de los filosilicatos totales y la esmectita llegue hasta el 30-40%.

Las tres se caracterizan por tener una plasticidad media-alta, especialmente alta en el caso de la Blanca, teniendo en cuenta que los valores recomendados para poder trabajar con ellos varían entre el 15% y el 25%. Esto, a su vez, hace que presenten ciertos problemas de secado en la fase final del proceso cerámico (Bueno y Álvarez de Diego, 2008; Galán Arboledas et al., 2013).

Análisis mineralógico		Composición relativa de los filosilicatos									Plasticidad		
MUESTRA	Q	Fd	C	D	FL	Es	ILL	K	CL	P	L.P.	L.L.	I.P.
Blanca	28	6	25	8	33	66	32	-	-	-	15,5	45,4	29,9
Rubia	40	-	15	-	45	40	60	-	tr	-	11,1	32,8	21,7
Negra	43	3	18	4	32	32	58	10	-	-	16,6	36,8	20,2
Roja	32	5	-	10	53	-	66	33	tr	-	14,1	25,6	11,5

Valores en %. Q: Cuarzo; Fd: Feldespatos; C: Calcita; D: Dolomita; FL: Filosilicatos; Es: Esmectita; ILL: Illita; K: Caolinita; CL: Clorita; P: Pirofilita; L.P.: Límite plástico; L.L.: Límite líquido; I.P.: Índice plástico; tr: Trazas (1-3%)

**Tabla 1** Análisis mineralógicos y de plasticidad de las arcillas patrón

Análisis químico												
MUESTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.P.C.	
Blanca	47,5	8,8	3,3	0	1,7	16,6	0,4	1,9	0,5	0,1	17,7	
Rubia	56,6	12,1	4,2	0	2,2	9,1	1,7	3,1	0	0	10,6	
Negra	54,2	12,3	4,3	0,1	2,1	10,4	1,4	2,9	0,7	0,1	12,2	
Roja	58,5	16,7	7	0,1	2,8	2,2	0,2	5	0,8	0,2	6,7	

**Tabla 2.** Análisis químico de las arcillas patrón

Conjuntamente se extrae la denominada arcilla Roja, que son depósitos triásicos en facies germánica, que se identifican con la formación Chiclana de Segura (Figura 10, tablas 1 y 2). Se trata de un potente conjunto sedimentario de margas abigarradas hacia techo y en la base margas y arcillas lutíticas rojas o verdes ocasionalmente (IGME, 1976; 1977) explotadas en canteras en el municipio de Carboneros o en una zona al Norte de Bailén denominada Los Lentiscars.

Aunque su composición no difiere marcadamente del resto arcillas patrón, ciertos detalles le asignan algunas diferencias. El contenido en cuarzo, por ejemplo, es similar a las arcillas que acabamos de ver, del orden del 30%; sin embargo, no se detecta contenido alguno en calcita, mientras que la dolomita representa un 10% de la composición total. En general, la disminución del contenido en calcio de las arcillas se correlaciona con un aumento del contenido de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de ahí el alto contenido en estos óxidos (60% de SiO<sub>2</sub> y 17% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que muestra la arcilla Roja. Los filosilicatos totales, llegando a ser más de un 50% de la composición, cobran más importancia en la arcilla Roja. En este caso el predominante es la illita como en el resto de las muestras, siendo además muy importante la presencia de caolinita, en torno al 30% del total de los filosilicatos de la muestra. De este modo, la arcilla Roja presenta una baja plasticidad (solo un 11,5%), lo que a su vez hace que goce de unas excelentes condiciones de secado (Bueno y Álvarez de Diego, 2008; Galán Arboledas et al., 2013).



Figura 10: Panorámica de la explotación de barro rojo Los Lentiscales (Bailén)

### 3.1.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes)

Las materias primas cerámicas son los materiales de partida con los que se fabrica el producto cerámico. Los productos tradicionales están preparados con materias primas naturales, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas, esencialmente arcillas, o no plásticas, con una función “desgrasante” (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor trabajabilidad y facilitando el secado) o “fundente” (las que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases) (Galán y Aparicio, 2005). En la Tabla 3 quedan recogidas las canteras que actualmente están siendo explotadas para la obtención de materias primas cerámicas naturales en la provincia de Jaén.

Las dos explotaciones ubicadas en Carboneros, Acebuchar Fracción 1ª y La Mesilla Fracción 1ª, transportan el material extraído a las plantas de tratamiento situadas en las cercanías de Bailén, considerándose su producción incluida en dicha comarca.

La extracción se realiza a cielo abierto, en frentes a media ladera o en cortas, mediante retroexcavadoras, transportándose en camiones hasta las plantas de transformación, donde se machacan, muelen los distintos barros; finalmente se llevan a fábrica para pasarlos por la amasadora-extensora y horno. En épocas de lluvia, la accesibilidad a los frentes es muy precaria, por ello, en épocas de sequía, acopian material suficiente para fábrica.

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Empresa Explotadora	Estado
Bailén	431267	4215424	La Unión	Cerámica La Unión, S.L.	EA
Bailén	434162	4216072	Camino de la Zahonera	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	431134	4215159	La Milagrosa	Cerámica La Milagrosa, S.A.	EA
Bailén	433689	4216549	Carablanca	Arcillas Bailén, S.L.	EA
Bailén	436492	4215457	Lentiscales	Cerámica La Unión, S.L.	EA
Bailén	430473	4213870	Cerro Harina	Cerámica La Milagrosa, S.A.	EA
Bailén	436525	4215722	Alcalá	Cerámica Alcalá Villalta, S.A.	EA

Baños de la Encina	435229	4244057	El Centenillo II	Nava El Sach, S.A.	EA
Bailén	433597	4215326	La Esperanza Cubana	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	429992	4214698	Las Monjas	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	43372	4217410	María Bellido	Comercial Cerámica de Bailén, S.L.	EA
Bailén	435850	4216875	La Norieta, Fracción 1	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	436309	4215491	La Norieta, Fracción 2	Cerámica La Milagrosa, S.A.	EA
Bailén	430455	4213606	Retamosa Fracción 1	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	430686	4214995	Retamosa Fracción 2	Arcillas del Sur, S.L.	EA
Bailén	432274	4214334	La Loma Fracción 1	Arcillas del Sur, S.L.	EA
Bailén	433365	4214268	Camino de la Zahonera	Arcillas del Sur, S.L.	EA
Bailén	433431	4216186	San José Fracción 3	Cerámica Alcalá Villalta, S.A.	EA
Bailén	435812	4216219	San José Fracción 6	Arcillas y Transportes, S.L.	EA
Bailén	436838	4215855	La Norieta Fracción 3	Cerámicas Miramar, S.L.	EA
Bailén	436275	4214959	San José Fracción 5	Arcillas Bailén, S.L.	EA
Bailén	436771	4214896	San Pedro	Comercial Cerámicas de Bailén, S.A.	EA
Carboneros	444974	4230639	La Mesilla Fracción 1	Comercial Cerámicas de Bailén, S.A.	EA
Carboneros	446197	4230308	Acebuchar Fracción 1	Arcillas y Transportes, S.L.	EA

**Tabla 3.** Explotaciones activas de arcilla en la provincia de Jaén

EA: Explotación Activa (continua)

La mayoría de las empresas de Bailén, las que representan el 75% de la producción global, agrupan su producción en tres grandes plantas de tratamiento, las de Arcillas del Sur, S.L., Comercial Cerámicas de Bailén, S. L. y Arcillas Bailén, S.L. El 25% restante, Cerámica Alcalá Villalta, S.L., Cerámica la Milagrosa, S.A., Cerámicas Malpesa, S.A. y Cerámica la Unión, S.L. cuentan con frentes de extracción y plantas de tratamiento propias.

### 3.1.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Representan un número reducido debido a que la mayoría de las antiguas canteras de la comarca de Bailén están antropizadas; el resto de las abandonadas se encuentran en diferente grado en el proceso de restauración o sin modificación alguna desde el momento del cese de la actividad.

Las explotaciones abandonadas e indicios de arcillas en la provincia de Jaén se recogen en la tabla 4, mostrada a continuación.

Término Municipal	Nombre de la Explotación	X_UTM	Y_UTM	Estado
Alcalá la Real	San Andrés	431267	4215424	EB
Bailén	Guadiel	431134	4215159	IN
Beas de Segura	-	433689	4216549	EB
Carboneros	Acebuchar, Fracción 2ª	436492	4215457	IN
Huelma	Las Pajareras	436525	4215722	EB
Carboreros y La Carolina		445000	4230375	IN
Jódar	La Rambla	435229	4244057	EB
Navas de San Juan	-	433597	4215326	EB
La Puerta del Segura	Cerámica San José Obrero	429992	4214698	EB
Torreperojil	-	43372	4217410	EB
Torres	-	435850	4216875	EB

**Tabla 4.** Explotaciones abandonadas e indicios de arcilla en la provincia de Jaén

EB: Explotación Abandonada; IN: Indicio

### 3.1.3 Potencialidad cerámica de la Provincia de Jaén

Como acabamos de ver, las zonas suministradoras de materias primas a la industria cerámica jienense consisten en mezclas de margas de la Depresión de la Guadalquivir con arcillas rojas del Macizo Ibérico. Las mezclas cerámicas propuestas con estas materias primas resultan, en general, adecuadas para la fabricación de cerámica porosa roja, habiéndose llevado a cabo diferentes intentos para mejorar las prestaciones de estas mezclas mediante la adición de otras materias primas como caolín, feldespato o diatomita (González et al., 1998), u otros potenciales recursos de la zona (Vázquez y Jiménez-Millán, 2004; Vázquez et al., 2003; Vázquez y Jiménez-Millán, 2009).

Sin embargo, otros estudios han sido llevados encaminados a valorar el potencial el potencial cerámico que posee la provincia de Jaén en zonas que difieren geográfica y geológicamente de las actuales suministradoras de materias primas, basándonos en la información aportada por el Trabajo Final de Máster (TFM) presentado en la Universidad de Granada en septiembre de 2018 y titulado “Valoración geológico-minera de las arcillas cerámicas en la provincia de Jaén”, dirigido por la Dra. Concepción Fernández Leyva, miembro del equipo técnico que realiza este proyecto.

Las zonas seleccionadas se localizan en el sur y sureste de la provincia, en el contexto de las Zonas Externas de la Cordillera Bética. Corresponden con antiguas explotaciones para cerámica estructural en las localidades de Jódar, Huelma y Alcalá la Real. Se procedió al muestreo y a la caracterización básica (composicional y tecnológica) de los ejemplares tomados y a su comparación con las arcillas patrón, arcillas utilizadas en la industria cerámica de Bailén.

De forma general podemos afirmar que la mayoría de las muestras seleccionadas presentan características tecnológicas similares (e incluso en algunos casos mejores) que las materias primas utilizadas en la industria cerámica de Bailén, por lo que en ciertos casos, la utilización de estas arcillas podría suponer un ahorro en los costes de producción. Nos referimos a favorabilidad en el moldeo por extrusión, a las aceptables propiedades de moldeo y a los

adecuados parámetros granulométricos que presentan las arcillas muestreadas. Sin embargo, en cuanto a las características composicionales, los resultados no son tan satisfactorios.

Se trata de margas blancas de edad Serravaliense-Tortonense en la zona de Alcalá la Real, margas calcáreas de edad Burdigaliense-Langhiense en la zona de Huelma y otras blancas de edad Serravaliense-Tortonense en la localidad de Jódar.

En cuanto a las actividades de innovación en las empresas del sector minero de la cerámica estructural, destacar la labor que desarrolla la Fundación Innovarcilla, Centro Tecnológico Andaluz de Cerámica. Constituida en 2005, con sede en Bailén (Jaén) su finalidad es fomentar la mejora de la competitividad, la innovación, la investigación y la comercialización en el sector de la fabricación de la arcilla cocida. Participan, además de la Junta de Andalucía, el Ayuntamiento de Bailén y el sector industrial ceramista de la comarca de Bailén.

#### **3.1.4 Ensayos, especificaciones y usos**

Guggenheim y Martin (1995) definen arcilla (clay) como un material natural compuesto principalmente por minerales de grano fino que, al añadirle agua en cantidades adecuadas, tiene un comportamiento generalmente plástico y se endurece con el secado u horneado. Aunque su contenido fundamental son filosilicatos, también puede contener otros materiales que le confieran (o no) plasticidad y dureza cuando se seca o se hornea, así como materia orgánica. Estos mismos autores definen “mineral de la arcilla” (clay mineral) como un conjunto de minerales filosilicatados y otros minerales que le proporcionan plasticidad a la arcilla y que se endurecen al secarse o al hornearse. A estos se suman otros minerales entre los que encontramos micas no hidratadas (moscovita-biotita), cuarzo, feldespatos, carbonatos (calcita-dolomita), yeso y otras sales solubles, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y materia orgánica.

Cuando el porcentaje en carbonato es superior al 25% se denominan arcillas margosas, que pueden llegar a ser margas (50% de carbonatos) y que también son materias primas cerámicas.

Desde el punto de vista de la industria, las arcillas pueden definirse como un agregado de minerales de aspecto terroso y grano muy fino, fácilmente triturables y pulverizables, compuestos principalmente por uno o más grupos de minerales arcillosos, cuya característica principal es la de ser plástica cuando están suficientemente pulverizadas y húmedas, rígidas cuando se secan y pétreas y/o vítreas cuando se cuecen a temperaturas adecuadas.

Desde el punto de vista tecnológico y de los productos elaborados se distinguen cuatro subsectores, existiendo importantes diferencias en las materias primas empleadas en cada uno de ellos (Vázquez, 2004): a) ladrillos y materiales para la construcción o cerámica estructural, b) pavimentos y revestimientos cerámicos, c) cerámica sanitaria y d) cerámica de mesa.

Atendiendo a su composición y a los productos cerámicos que podemos elaborar con ellas, las materias primas cerámicas se dividen en dos grandes grupos: arcillas comunes y caolines.

Mientras que las arcillas comunes son especialmente utilizadas en la fabricación de cerámica estructural, subsectores (a) y (b), con una producción del 60% del total, los caolines son utilizados en los subsectores (c) y (d).

El papel de las arcillas comunes en la preparación del cuerpo cerámico consiste en impartir la plasticidad necesaria para su moldeo, mejorar las propiedades mecánicas y las de la suspensión, así como aportar los componentes para la formación de fases líquidas y cristalinas durante la cocción (Galán y Aparicio, 2005).

Los criterios para la elección de las materias primas variarán en función del producto que se desea fabricar y la disponibilidad de las mismas. En caso de materiales estructurales apenas existen limitaciones: presentan una amplia distribución geográfica, importantes reservas de explotación, bajo coste y gran variedad composicional químico-mineralógica.

A pesar de ello, Palmonari y Terraglia (1985) trataron de recoger los datos referentes al rango composicional admitido para la fabricación de cerámica estructural y que se muestran en la tabla 5.

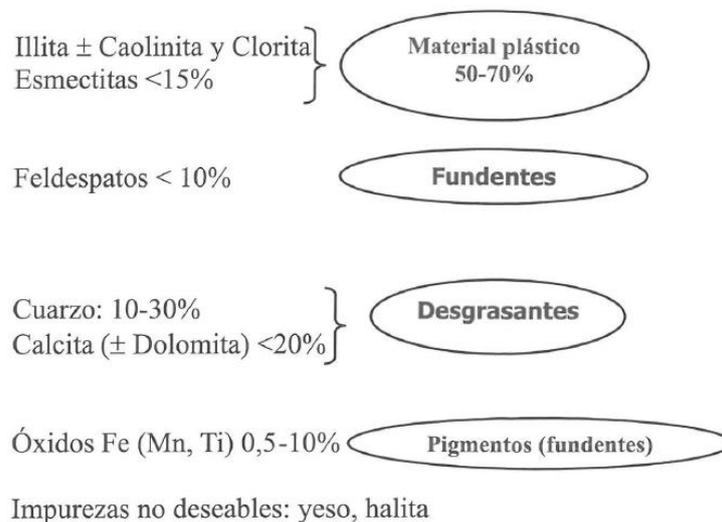
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PC	CaCO <sub>3</sub>
49,50	13,46	3,98	0,27	1,94	11,90	1,84	2,11	15,54	20,51
46,01	13,62	4,48	0,23	1,75	13,52	2,02	2,28	15,70	22,37
39,24	15,01	3,74	0,45	2,51	16,74	1,19	2,25	18,56	28,30
46,12	14,81	6,21	0,09	1,92	11,51	1,97	1,92	16,52	20,22
47,31	14,23	6,51	0,07	2,07	10,21	2,04	2,07	15,42	18,78

**Tabla 5** Composición de arcillas comunes según Palmonari y Terraglia (1985)

Las especificaciones composicionales y las características físicas para las arcillas destinadas a la cerámica estructural se muestran a continuación (ITGE, 1989):

- Arcillas de naturaleza illítica o illítico-caolinítica.
- Contenidos en esmectitas <10-15% (para evitar la excesiva plasticidad y problemas de contracción en el secado).
- Arena silíceas en proporción variable (hasta 30-40%, actuando como desgrasante).
- Ausencia de carbonatos en granos (siendo tolerable la calcita muy fina, <15%).
- Elementos colorantes:
  - 5-10% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para tonalidades rojizas.
  - 3-10% de TiO<sub>2</sub> en presencia de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para tonalidades amarillentas.
  - 0,5-4% de MnO<sub>2</sub> en presencia de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para tonalidades ocreas.
  - El color puede quedar afectado por otros factores como la temperatura de cocción, el grado de vitrificación el contenido en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, y MgO y la composición de los gases liberados durante la cocción.
  - Impurezas no deseables:
    - CaSO<sub>4</sub> < 4%
    - NaCl < 1,5%
    - Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> < 0,4%
    - MgSO<sub>4</sub> < 15%

Estas especificaciones composicionales y características físicas quedan esquematizadas en la Tabla 6, según Galán y Aparicio (2005), que se muestra a continuación:



**Tabla 6:** Rango composicional para la fabricación de cerámica estructural. (Galán y Aparicio, 2005)

En el caso de las lozas el uso de arcilla común queda limitado a lozas de baja calidad (lozas groseras y medias), requiriéndose arcillas semirefractarias con relaciones de contenido caolín/otras arcillas altas. Para gres se utilizan arcillas illítico-caoliníticas (1/1) con contenidos en  $Fe_2O_3$  <15%. El objetivo en este sector es la obtención de pastas cerámicas capaces de obtener impermeabilidad por cocción, sin necesidad de esmaltes o cubiertas vidriadas, así como de alta resistencia al ataque por ácidos.

Para la producción de arcillas expandidas son utilizados materiales como la illita, clorita, esmectita y/o vermiculita, siendo la presencia de caolinita un factor limitante por su carácter refractario (cantidades <40%). Así mismo, interesan arcillas con contenido elevado en materia orgánica y óxidos de hierro para poder liberar el gas necesario para la expansión (materia orgánica entre 0,5-2% y  $Fe_2O_3$  <3%).

Para la producción de este tipo de arcillas no existen restricciones importantes respecto a la presencia de granos de carbonatos, yeso y pirita (<2%).

Por último, para la manufactura del cemento son utilizadas arcillas como fuente de alúmina y sílice. Prácticamente todas las arcillas son aptas para este uso, primando siempre las consideraciones económicas.

## 3.2 Arenas y Gravas

Las arenas son rocas detríticas no consolidadas que se clasifican por su granulometría, independientemente de su naturaleza litológica. En muchas ocasiones se habla de arenas y gravas, ya que suelen estar íntimamente relacionadas. Según la “British Standard” granulométricamente se considera grava al material granular entre los 2 y los 60 mm y arena al comprendido entre de la “British Standard” se considera arena al material granular cuyo tamaño oscila entre 0,06 y los 2 mm (arena para hormigón, el límite superior es de 5 mm).

Las rocas detríticas (terrígenas o clásticas) están formadas por fragmentos de rocas o minerales procedentes de rocas preexistentes que han quedado expuestas a la meteorización en la superficie de la tierra. El cuarzo es uno de los minerales más estable en las condiciones de la superficie terrestre, por tanto suele estar habitualmente presente en dichas rocas.

En la actualidad, las explotaciones de arena en la provincia de Jaén se limitan a los depósitos de tipo “lehm” o “jabre”, consistentes en arenas junto con gravas, predominantemente silíceas y feldespáticas, formadas por la meteorización “in situ” de la zona superficial de cuerpos graníticos, es decir, la alteración supergénica. El lehm granítico es muy frecuente en cualquier área del Batolito de los Pedroches, cuerpo situado al noroeste y norte de la provincia, que se abordará en el capítulo de granito descrito más adelante.

Su principal aplicación es como material de préstamo, debido a su alto porcentaje de fracción granulométrica fina que facilita su compactación. Son también materiales de buena calidad para la elaboración de hormigones y morteros.

En cuanto a las gravas, se incluyen principalmente las aluviales de terraza y materiales coluviales, que se utilizan en su mayoría como áridos naturales y de machaqueo. La mayoría de explotaciones que hay en la provincia de Jaén pertenecen al Plioceno y Cuaternario, con una amplia variedad de litologías, relación matriz/cantos, tamaños y composición (silícea o calcárea) que dependen del área de extracción.

Las gravas fluviales están relacionadas con los aluviales de terrazas y conos de deyección del río Guadalquivir y de sus afluentes más directos como el Guadalimar, Guadiana Menor o Jándula. Estos áridos, de edad cuaternaria, son aprovechados principalmente para hormigones.

Las gravas coluviales se sitúan a pie de los resaltes montañosos importantes, tanto del Macizo Ibérico como del Subbético y Prebético. Se caracterizan por la heterometría y angulosidad de sus cantos; por tanto es necesario un proceso de trituración y clasificado, obteniendo así áridos de muy buena calidad. Los relacionados con el Macizo Ibérico ofrecen una buena calidad debido a su dureza y estabilidad frente a la meteorización.

### 3.2.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes)

En la provincia de Jaén hay un gran número de explotaciones de arenas y gravas cuyos datos quedan recogidos en la Tabla 7 y su distribución geográfica en la Figura 11. A las explotaciones de arenas se les conoce popularmente como “arenazos” y a las explotaciones de gravas

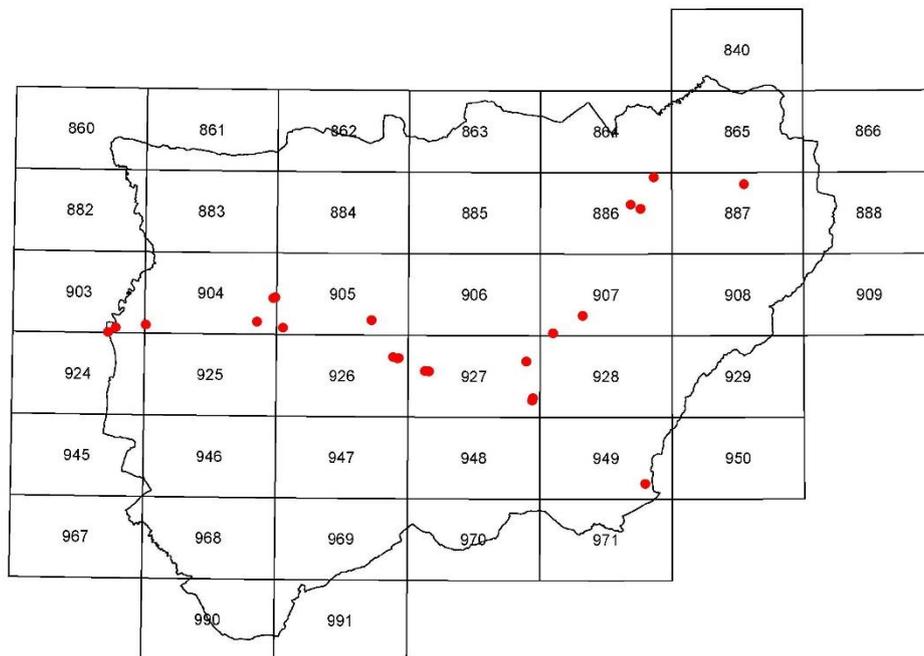
“graveras”, si bien es cierto que en la mayoría de los casos arenas y gravas suelen ser explotadas conjuntamente en los mismos lugares.

Término Municipal	U_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Empresa Explotadora/ Titular	Usos	Estado
Orcera	528838	4240489	2ª Ampliación Orcera IV	Áridos Orcera S.L.	3, 4	EA
Orcera	529274	4240121	Orcera IV	Áridos Orcera S.L.	3, 4	EA
Arroyo del Ojanco	508757	4242027	Arroyo del Ojanco	Áridos Guadalimar S.L.	3, 4	EA
Beas del Segura	503757	4235677	El Cornicabral	Grupo Perea Morante, S.L.	3, 4	EA
Beas del Segura	505741	4234963	Los Castellones	Áridos Guadalimar S.L.	3, 4	EA
Santo Tomé	493067	4210599	Nuestra Sª de los Remedios	Martínez Vinuesa, S.L.	3, 4	EA
Cazorla	486473	4206723	La Higuera		3, 4	EA
Pozo Alcón	507064	4172626	Cantera Hermanos Valera	Transportes Vadias, S.L	3, 4	EA
Úbeda	480602	4200203	La Aldehuela	Áridos y Transportes Paco Torres S.L.	3, 4	EA
Baeza	459012	4198033	Áridos Márquez	Pedro Márquez Barrios	3, 4	EA
Baeza	457980	4198192	Tío Haro II	Hermanos Quiles Punzano S.L.	3, 4	EA
Peal de Becerro	482110	4192053	Llanos del Rey	Torres Cano S.L.	3, 4	EA
Peal de Becerro	481898	4191498	Zarzalillo	Áridos y Transportes Paco Torres, S. L.		
Lupión	446263	4209826	Gravera Guadalimar	Áridos y Transportes Paco Torres, S. L.	3, 4	EA
Espelúy	426498	4208001	La Estación	Áridos Espelúy, S.L.	3, 4	EA
Baeza	450991	4201374	Cueva Cabrera V	Grupo Alberto Luque, S.L.	3, 4	EA
Baeza	451963	4201022	Cueva Cabrera III	Inalsa Grupo Vital, S.L.	3, 4	EA
Baeza	452232	4201122	Guadalquivir	Antonio José Ramírez Díaz	3, 4	EA
Guarromán	424852	4214873	La Cubana	Áridos La Cubana, S.L.	3, 4	EA
Villanueva de la Reina	424481	4214741	Añoreta	Hermanos del Moral Cantera Añoreta, S.L.	3, 4	EA
Villanueva de la Reina	420777	4209317	Rincón de San Ildefonso II	Holcim España, S.A.	3, 4	EA
Marmolejo	395933	4208781	Sanserma	Promociones y Construcciones Torrescam, S.L.	3, 4	EA
Marmolejo	389384	4208053	La Aragonesa	Antonio Román Pérez	3, 4	EA
Lopera	387698	4207028	Áridos El Carpio	Hormigones El Carpio, S.L.	3, 4	EA
Linares	445565	4219365	Caballerizas de la Virgen	Cantera Cejudo C.B.	3	EI
Linares	438880	4220200	Cerrillo del Tesoro	Hermanos Martínez Fernández S.L.	3	EI
Villacarrillo	495896	4212890	La Vega	Hormigones Veracruz S.L.	3	EI
Bedmar	462970	4196868	Puente Mazuecos	Juan López Arias	3	EI
Bedmar	474051	4199233	La Puebla	Juan Arias Ruiz	3	EI
Mengíbar	431472	4200464	Gran	Áridos Mengíbar, S.L.	3, 4	EI
Andújar	415650	4208425	Checa	Áridos Andújar, S.L.	3, 4	EI

Quesada	492685	4182330	Los Rosales	Santiago Cantisano Urive	3, 4	EI
Espelúy	427625	4208350	Ampliación Espelúy	Áridos Spelúy, S.L.	3, 4	EI
Villanueva de la Reina	425704	4213900	El Granaíno		3	EI
Torreblascopedro	438233	4201428	Áridos El Campillo II	José Montes	3,4	EI

**Tabla 7 :** Explotaciones activas de arenas y gravas en la provincia de Jaén

EA: Explotación Activa (continua); EI: Explotación Activa (intermitente)  
 Usos 3: Árido Natural; Uso 4: Áridos de Machaqueo



**Figura 11:** Distribución de las explotaciones de arenas y gravas activas en la provincia de Jaén año 2018

Cuando se extraen materiales sin consolidar, en vía seca o húmeda, se realiza con equipos de arranque mecánicos tales como excavadoras, pala cargadora, dragalina, bulldozer, etc; posteriormente se transporta a la planta de tratamiento, mediante camiones, dumpers o cintas transportadoras. La trituración se lleva a cabo mediante machacadoras y molinos, disminuyendo el tamaño de las partículas y por último se procede a la separación con cribas, acompañada, en ciertos casos, de operaciones de lavado del material para responder a las necesidades de ciertas aplicaciones. Finalmente, se acopia para su venta. En todos los casos, el banco es mínimo (1 a 7 bancos) y la altura de los mismos oscila entre 10-20 m.



**Figura 12:** Panorámica de la explotación Añoreta



**Figura 13.** Materiales acopiados en cantera Añoreta (izquierda) y maquinaria utilizada en la explotación (derecha)

En este tipo de explotación es muy común actuar con una “Minería de transferencia” donde la explotación y restauración se realizan de manera simultánea. La restauración se lleva a cabo con los materiales que se extraen desde una zona de explotación del yacimiento (“transferencia”). Un ejemplo de este tipo de minería lo podemos ver en la gravera “Checa”.

En “Añoreta” y “La Cubana” las canteras están constituidas por cantos silíceos heterométricos en una matriz arenosa-arcillosa rojiza, de edad pliocena. Son formaciones detríticas groseras depositadas, de forma caótica, sobre materiales paleozoicos sin ninguna estratificación. Estos conglomerados señalan una salida masiva de coluviones de Sierra Morena a favor de una depresión topográfica, asemejándose a las rañas de Extremadura.

### 3.2.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Existen un gran número de explotaciones abandonadas e indicios de gravas y arenas en la provincia de Jaén, cuyos datos más significativos se recogen en la tabla 12.

Término Municipal	U_UTM	Y_UTM	Estado	Sustancia
Puente Génave	518800	4263098	EB	Grava
Siles	532525	4258750	EB	Grava
Villarrodriago	527500	4256000	EB	Grava
Orcera	529850	4241000	EB	Grava
Villanueva del Arzobispo	510629	4226817	EB	Grava
Santiago de la Espada-Pontones	534452	4227018	EB	Grava
Andújar	406775	4223375	EB	Grava
Santiago de la Espada	512224	4210476	EB	Grava
Mengíbar	429363	4204933	EB	Grava
La Iruela	509800	4203150	EB	Grava
Quesada	497950	4181890	EB	Grava
Puente Génave	516000	4244350	IN	Grava
Lopera-Marmolejo	389800	4208250	IN	Grava
Sabiote	474475	4220000	IN	Grava
Beda	468850	4219750	IN	Grava
Beda	465925	4207475	IN	Grava
Villanueva de la Reina	418150	4208150	IN	Grava
Beda	483075	4201350	IN	Grava
Beda	468925	4201800	IN	Grava
Beda	468200	4200450	IN	Grava
Peal de Becerro	481175	4200600	IN	Grava
Pegalajar	445050	4177900	IN	Grava
Cazorla	486550	4205100	IN	Grava
Cazorla	486600	4203150	IN	Grava
Ibros	443900	4214400	IN	Grava
Santa Elena	453176	4243727	EB	Arena
Vilches	457700	4223910	EB	Arena
Linares	445200	4218500	EB	Arena
Santa Elena	425700	4243900	IN	Arena
Linares	444815	4221635	IN	Arena

**Tabla 12:** Explotaciones abandonadas e indicios de arenas y gravas en la provincia de Jaén

EB: Explotación abandonadas; IN: Indicio

### 3.2.3 Ensayos, especificaciones y usos

Los usos de las arenas y gravas de Jaén se limitan a áridos naturales y de machaqueo, estando las especificaciones y usos de estas sustancias desarrollados en este apartado. Como curiosidad podemos añadir que los áridos son la segunda materia prima más consumida por el hombre después del agua y cada español ha consumido, en 2018, unos 2.590 kilogramos anuales, es decir 7,1 kilogramos diarios (en 2007 se consumieron cerca de 33 kilogramos diarios).

A continuación, se recoge la composición química de una muestra de lehm granítico tomada en las inmediaciones de la cantera “Caballerizas de la Virgen”

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PPC
64,26	16,02	4,77	0,44	2,08	0,62	4,86	3,16	---	3,79

Las arenas y gravas aluviales y coluviales componen áridos aptos para la elaboración de hormigones y morteros debido a su alto equivalente en arena y escasez de impurezas de origen orgánico. Su alto contenido en fragmentos silíceos rebaja su utilidad en capas de rodadura, al disminuir la adhesividad de los ligantes bituminosos. El grado de dureza de estos materiales, sin embargo, les confiere características de aptitud para su empleo en bases y subbases. Además, las gravas son muy demandadas para ser utilizadas como áridos en la construcción y como ahorros para su utilización en las bases de vías de comunicación.

Los ensayos tecnológicos de los materiales a emplear como áridos, como es el caso de arenas y/o gravas, contemplan el reconocimiento de las propiedades y adecuación a los usos específicos, para predecir el comportamiento físico, mecánico o químico de los materiales ensayados.

El tipo de ensayos a realizar va a depender del destino final del árido, ya sea para hormigón, para su uso en tratamiento con ligantes bituminosos, para bases o subbases de carreteras, etc, y dentro de estos usos dependerá de si se trata de áridos finos o áridos gruesos.

Los áridos en la construcción son empleados como hormigón preparado, prefabricados de hormigón (el 80% del hormigón son áridos), mortero, aglomerados asfálticos (el 95% son áridos), construcción de carreteras (el 94% de los materiales necesarios para una carretera son áridos), ferrocarriles (balasto), etc. (ANEFA, 2018):

- Morteros: empleados para unir ladrillos o revestir paredes
- Hormigones: estructuras (cimientos, vigas y pilares) o en masa (pavimentos)
- Balasto de vías férreas: sobre el que se apoyan las traviesas y los raíles
- Piedras y bloques de escollera para puertos
- Prefabricados: ladrillos, bloques, vigas, bordillos, aceras, etc.
- Bases, subbases y aglomerados asfálticos, elementos que componen las carreteras, calles, aparcamientos, etc.

Los distintos tamaños y su denominación más usual, una vez cribado el material, se refleja en la tabla 13:

Denominación	Tamaño (mm)
Morro	>100
Grava Gruesa	100-50
Grava media	60-40
Grava menuda	50-30
Gravilla gruesa	40-30
Gravilla media	30-15
Gravilla menuda	25-15
Garbancillo	15-7
Arena gruesa	5-2
Arena media	2-0,5
Arena fina	0,5-0,1
Filler o polvo	0,08-0,005

**Tabla 13 :** Distribución de tamaños y denominación de los áridos

A modo de ejemplo se muestra un análisis granulométrico de una antigua explotación abandonada hoy día en Mengíbar:

- Arena gruesa: 4%
- Arena fina: 3%
- Gravas: 93%
- Materia orgánica: 0,560%
- Equivalente a arena: 42%
- Presencia de sulfatos: no

Clasificación: Grava

### 3.3 Areniscas, cuarcitas y calcarenitas

La arenisca es una roca sedimentaria compacta y dura, formada por litificación de sedimentos arenosos. Se denomina cuarzoarenita cuando el porcentaje de cuarzo supera el 95%. Los granos que la forman son de tamaño arena y el mineral mayoritario cuarzo, pudiendo ser el cemento silíceo, arcilloso, calcáreo o ferruginoso.

Mediante metamorfismo, los granos componentes se recristalizan y disminuye el porcentaje de cemento haciéndose más compacta y resistente. Durante este proceso, la arenisca pasa a cuarcita de forma gradual, existiendo una gradación total entre areniscas y cuarcitas en función del grado de metamorfismo sufrido.

Las areniscas de la provincia de Jaén han tenido mucho interés como rocas de construcción, los principales usos son como piedra natural en mampostería, pavimentación y revestimientos. Aquellas débilmente cementadas se disgregan con facilidad y suelen originar depósitos arenosos que pueden extraerse como áridos naturales para usos constructivos, e incluso, si su riqueza en cuarzo es alta y no tienen impurezas significativas pueden utilizarse como arenas de moldeo o arenas para vidrio. Sin embargo, la mayoría de las explotaciones e indicios con material arenoso disgregado procedente de la alteración de estas rocas ha sido descrita dentro del apartado anterior (3.2.). Si el contenido en sílice es elevado pueden usarse en la industria del vidrio, cerámica y en la fabricación de refractarios ácidos.

Las areniscas que afloran en la provincia de Jaén son oligocenas, miocenas y triásicas. Las de edad miocena junto con la cuarcita armoricana del ordovícico se encuentran en actual explotación estando sus características detalladas a lo largo del siguiente capítulo.

Las calcarenitas son rocas sedimentarias detríticas carbonáticas, formadas por la consolidación de arenas calcáreas. Son equivalentes a las areniscas, cuyos componentes detríticos son terrígenos. Las canteras que actualmente son explotadas en Alcalá la Real se utilizan fundamentalmente para revestimiento en las fachadas de los edificios, chimeneas, con un carácter ornamental en muchas ocasiones.

#### 3.3.1 Explotaciones mineras activas e intermitentes

Las explotaciones activas en la provincia de Jaén de areniscas, cuarcitas y calcarenitas quedan recogidas en la tabla 14

T.Municipal	U_UTM	Y_UTM	Nombre	Empresa	Sustancia	Usos	E.
Porcuna	396450	4192050	Arenisca de Porcuna	Agilera de Dios	arenisca	2	EA
Aldeaquenada	463462	4248303	La Purísima	Hº García Palomino	cuarcita	2	EA
Alcalá la Real	419249	4147393	Las Cruces	Occidental de canteras S.L.	calcarenita		EA
Alcalá la Real	419348	4146037	San Pedro		calcarenita		EA

**Tabla 14.** Explotaciones activas de arenisca, cuarcita y calcarenita en la provincia de Jaén

E.: Estado; EA: Explotación Activa

Usos 2: Ornamental

Actualmente hay una única extracción activa (aunque intermitente) de arenisca de gran importancia por su interés histórico situada en Porcuna. Representa el relleno de la Depresión del Guadalquivir en el Mioceno Superior y está constituido por unas areniscas calcáreas de coloración blanca-beige con más del 50% de fragmentos de lamelibranquios de concha fina, granos de cuarzo equigranulares y redondeados de tamaño de grano fino a medio y una cementación carbonatada elevada. Se presenta en estratos muy continuos que oscilan entre 10-20 cm de espesor con niveles centimétricos de margas que son aprovechadas por los canteros para la extracción de la piedra (Roldán García et al., 1992). El análisis sedimentológico permite argumentar que dichos materiales se depositaron en un ambiente de plataforma marina somera. Además, la presencia de una secuencia grandecreciente en la vertical consistente en margas hacia la base que transicionalmente cambian a limos y clacarenitas-, define una evolución regresiva desde ambientes de cuenca a plataforma.

En cuanto a la cuarcita, hay una única explotación localizada al norte de la provincia, en el Macizo Hespérico. Es explotada la cuarcita armoricana, blanca a gris microcristalina, muy compacta y en bancos de orden métrico. El método de arranque es mediante voladura, posteriormente se trabaja manualmente a pie de cantera, obteniendo adoquines listos para la venta. Los bloques de mayor tamaño se utilizan como materiales refractarios para hornos.

Dos son las canteras de calcarenitas explotadas en Alcalá la Real. Las calcarenitas, son explotadas en dos canteras, ambas en Alcalá la Real y se trata de calcarenitas miocenas fundamentalmente para fachadas y chimeneas.

### 3.3.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios.

En la tabla 15 se muestran las explotaciones abandonadas de areniscas y cuarcitas en la provincia de Jaén. En el caso de las areniscas, la cantera “El Mercadillo” destaca por haber sido la suministradora de piedra natural para la Catedral de Jaén. Son areniscas calcáreas bioclásticas de tamaño de grano medio, que en ocasiones, presentan niveles conglomeráticos con clastos muy redondeados.

T.Municipal	U_UTM	Y_UTM	Nombre	Sustancia	Estado
Cambil y Pelagajar	446411	4172504	El Mercadillo	arenisca	EB
Cárcheles	443733	4167036		arenisca	EB
Huesa	491000	4180500		arenisca	EB
Huesa	492600	4177600		arenisca	EB
Pegalajar	442673	4174049		arenisca	EB
Pegalajar	443300	4173900		arenisca	EB
Beas de Segura	508284	4245571		cuarcita	EB
Génave	519450	4256500	Peña del Águila	cuarcita	IN
Vilches	461000	4243180	Mármoles Vilches	cuarcita	EB

**Tabla 15** : Explotaciones abandonadas e indicios de arenisca y cuarcita en la provincia de Jaén  
E.: Estado; EB: Explotación Abandonada; IN: Indicio

No nos podemos olvidar de las areniscas aflorantes en las inmediaciones de Úbeda y Baeza, conocida en su día como la Piedra Dorada. Fue el material que ha sido suministrado para la elaboración de los numerosos monumentos que hay en estas ciudades, por lo que las mismas fueron declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Actualmente no quedan vestigios de estas canteras, al estar en su mayoría antropizadas por zona de olivar

En la tabla 16 se recoge el indicio pendiente de la explotación ubicado en Sabiote para roca ornamental

T.Municipal	U_UTM	Y_UTM	Nombre	Sustancia	Usos
Sabiote	473858	4212294	La Loma	Arenisca	2

**Tabla 16.** Explotaciones activas de arenisca, cuarcita y calcarenita en la provincia de Jaén

En 2017 la Diputación Provincial de Jaén aprobó el expediente para iniciar la explotación de una cantera de roca arenisca en Sabiote (Jaén) para la rehabilitación de edificios históricos. Se trataba de un procedimiento administrativo previo de cara a la puesta en funcionamiento y la gestión de esta cantera, aunque dicha explotación sigue pendiente a día de hoy. Existen dos variedades, Viva y Franca.

En muestra de mano, la variedad Viva se clasifica como una arenisca de grano medio (0,3 mm) con un tamaño de grano homogéneo. Presenta una elevada efervescencia con HCl; es una roca coherente, densa y poco porosa. Al microscopio corresponde a una arenisca con un porcentaje medio de clastos (65%) y muy cementada (31%) lo cual explica su baja porosidad (IGME, 2006).

En cuanto a la variedad Franca, a escala macroscópica se trata de una arenisca de grano fino, con tamaño de grano homogéneo y sin laminaciones aparentes. Tiene una elevada efervescencia con HCl, y es una roca poco densa pero coherente. A lámina delgada se trata de una arenisca con un porcentaje intermedio de clastos (62%), poco cementada (11%) y con abundante matriz arcillosa (17%) (IGME, 2006).

Dos son las canteras de calcarenitas explotadas en Alcalá la Real. Se trata de calcarenitas miocenas fundamentalmente para fachadas y chimeneas Figuras 14 y 15.



**Figura 14.** Cantera de calcarenita en Alcalá La Real (izquierda) detalle de las calcarenitas con abundantes restos de conchas y (derecha) frentes de explotación.



**Figura 15.** Columnas del lavadero porticado en Fuente del Rey (siglo XVIII) cuyas columnas están restauradas con las calcarenitas de la cantera de Alcalá la Real.

### 3.3.3 Ensayos, especificaciones y usos

Para valorar la calidad y determinar las propiedades que presentan las areniscas y cuarcitas, se someten estas a los siguientes ensayos:

- Petrografía
- Análisis químicos
- Ensayos para áridos y refractarios

El uso principal es como roca de construcción (sillares, columnas, pavimentos, piezas labradas, etc) para la edificación y restauración, por ser materiales típicamente tableados, con colores vistosos (desde rojos a blancos), muy resistentes a la abrasión, y fáciles de extraer. Otro destino es como áridos naturales y de machaqueo y en el caso de las cuarcitas como materiales refractarios para hornos.

Otras aplicaciones son como abrasivos (desbaste y afilado, limpieza, pulido, molienda, fracturación hidráulica), química, cerámica, óptica y electrónica, vidrio y esmaltes, artesanía y arte (incluyendo joyería), metalurgia (moldeados, fundentes, revestimientos, aislamientos), cargas y extensores, y obtención de silicio metal, aleaciones de silicio, y sílices artificiales y sintéticas.

Cuando la arenisca se utiliza como roca de construcción para pavimentos, sillares o columnas debe cumplir los requisitos de resistencia mecánica y frente al fuego, estabilidad química, capacidad de aislamiento sonoro y térmico y durabilidad. Además debe tener unos valores mínimos y máximos respecto a los siguientes parámetros:

- Peso específico: 2,4; % Absorción de agua <4,5; Resistencia a la compresión >250
- Resistencia a la flexión >50
- Resistencia a las heladas Baja
- Resistencia a los agentes químicos Baja

Como áridos deben alcanzar grados aceptables de resistencia mecánica, inalterabilidad química, adhesividad a los ligantes bituminosos y otras cualidades recogidas en las normativas específicas.

### 3.4 Caliza y Dolomía

La caliza es una roca sedimentaria de origen químico, detrítico u organógeno, compuesta esencialmente por carbonato cálcico en forma de calcita u, ocasionalmente, aragonito. Es una roca porosa, de baja dureza y que reacciona con efervescencia en presencia del ácido clorhídrico poco concentrado (al 10%).

La dolomía es una roca compuesta mayoritariamente por dolomita,  $[(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}]$ . La dolomía, como rocas carbonatada, raramente es pura por lo que forma una serie de transición continua con las calizas (tabla 17), de manera que es posible encontrar cualquier relación Ca/Mg entre los términos puros de la calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y la dolomita  $[(\text{CO}_3)\text{CaMg}]$  (Regueiro y González-Barros y Lombardero Barceló, 1996).

	$\text{CO}_3\text{Ca}$ (%)	$(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ (%)
<b>Dolomía</b>	90	10
<b>Dolomía calcárea</b>	90-50	10-50
<b>Caliza dolomítica</b>	50-10	50-90
<b>Caliza magnesiana</b>	10-5	90-95
<b>Caliza</b>	5	95

**Tabla 17.** Serie de transición entre calizas y dolomías

El mármol es una roca metamórfica, constituida por un mosaico de cristales de calcita y/o dolomita, que a menudo presenta otros minerales metamórficos en proporciones variables. En sentido amplio y comercial este término se extiende a aquellas calizas capaces de admitir el corte de bloques de tamaño semindustrial y el pulido. Estos materiales, tras un proceso de pulido por abrasión, adquieren un alto nivel de brillo natural, sin adición de ceras ni componentes químicos, por ello son casi exclusivamente destinados a recubrimientos de paramentos horizontales y verticales, decoración y escultura. Desde el punto de vista comercial el concepto de mármol abarca una amplia gama de rocas (travertino, caliza, dolomía, etc.).

En la provincia de Jaén las calizas y dolomías están ampliamente representadas. Afloran extensamente en las áreas ocupadas por el dominio de las Cordilleras Béticas Externas, siendo las zonas de mayor aprovechamiento e importancia el sur y el este. Abarcan materiales que van desde el Triásico al Cuaternario, distinguiéndose varias facies de calizas, dolomías y margocalizas dentro de los dominios subbético y prebético con amplia variación litológica. Esta amplitud da lugar a unas reservas que se pueden considerar inagotables.

La producción obtenida va destinada, principalmente, al uso como árido de machaqueo; al estar generalmente la estratificación y fracturación muy marcada, dificultando la extracción de bloques. También se destina parte de su producción para aglomerados, cementos, fabricación de terrazos y piedra artificial. Una pequeña parte se obtiene en forma de bloques para su uso como roca ornamental por su aspecto marmóreo y como roca de construcción.

La clasificación de estas rocas atendiendo a las edades a las que pertenecen, es la siguiente:

### Ordovícico Superior

La presencia de este tipo de rocas en el Macizo Hespérico es especial, siendo el único horizonte carbonatado del Paleozoico de la provincia. Se trata de la formación Caliza Urbana, del Ordovícico superior, que consiste en un mármol blanco con pasadas grises, muy recristalizado y rico en cuarzo en su parte basal que a techo pasa a estar limonitizado, característica que fue aprovechada para la extracción de hierro (Regueiro y González-Barros y Quesada Moya, 2003).

### Triásico (Muchelkalk)

Las calizas y dolomías de la Formación Zamoranos se caracterizan por ser muy compactas, densas, de color gris oscuro y con abundancia de venas de calcita secundaria. Suelen estar asociadas a mineralizaciones de óxido de hierro. Se explotan principalmente en los olistolitos de las unidades alóctonas de la Depresión del Guadalquivir, donde aparecen embebidos en unas arcillas versicolores y en el Triásico subbético, asociadas a margas rojas con yesos.

La calidad de los áridos para hormigón es muy alta debido a su alto peso específico, coeficiente de desgaste de los Ángeles medio y baja absorción.

### Lías inferior

Destacar la Formación Gavilán, compuesta por calizas y dolomías muy características del Subbético, depositadas en medios de plataformas marinas someras. El miembro inferior, compuesto por laminas algales, está parcialmente o totalmente dolomitizado. El miembro intermedio es de calizas con oncoides y ooides, calizas con sílex y niveles de calizas con concentración de grandes lamelibranquios. El miembro superior es de calcarenitas de crinoides y peloides, localmente con estratificaciones cruzadas (Vera, 2004).

### Lías superior

Merecen especial atención dos formaciones: Formación Baños y Formación Zegrí. Ambas se reconocen en el dominio subbético. La Formación Baños, registrada en el dominio intermedio, se corresponde con calizas micríticas tableadas formadas por estratos de espesor uniforme y con una amplia continuidad lateral. A techo pueden aflorar calizas nodulosas margosas de buena calidad para la fabricación de cemento. La Formación Zegrí comienza con una ritmita de calizas margosas y margas de coloraciones grises a amarillentas que pasan a calizas margosas nodulosas a techo aptas también para cemento.

### Jurásico medio (Dogger)

Calizas oolíticas blancas de las Formaciones Jabalcuz y Camarena, interesantes en algunos sectores por su pureza en carbonato cálcico. Locamente pueden ser micríticas y contener nódulos de sílex.

### Jurásico superior

Calizas rosadas y calizas margosas de aspecto noduloso, con ammonites de la Formación Ammonítico Rosso Superior, utilizadas para la fabricación de terrazos y piedra artificial y, en algunos casos, donde esté muy compacta como roca ornamental pulida.

### Cretácico superior

En los dominios subbéticos afloran calizas margosas en alternancia con margas que encuentran su mayor utilidad como aglomerados. Sin embargo, las de mayor explotabilidad son las pertenecientes a la Zona Prebética, calizas a veces dolomitizadas, calcarenitas y margas con orbitolinas y erizos que pasan a calizas algales en su parte superior, Formación Caliza de Jaén.

### Terciario

Desde el punto de vista industrial las calizas del Mioceno y Oligoceno son las más importantes. La mayor parte de las explotaciones son depósitos autóctonos de la Depresión del Guadalquivir, formados por calizas bioclásticas o arenosas claras asociadas a margocalizas, areniscas y margas, donde la deformación es inapreciable. Al suroeste de la provincia son de gran importancia de calcarenitas bioclásticas que coronan la cuenca neógena de Alcalá la Real, consideradas como calizas al ser rocas sedimentarias esencialmente calcáreas.

#### **3.4.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes)**

El número de explotaciones activas e intermitentes de caliza en la provincia de Jaén es muy elevado; se trata de un total de 41 puntos, donde en 3 de los cuales también se explotan dolomías (Tabla 18) y aparecen distribuidos geográficamente en la provincia (con referencia de la hoja 50.000) como se observa en la figura 16.

Las explotaciones para áridos suelen emplazarse cerca de las grandes poblaciones, que son los mercados potenciales. El proceso de explotación es similar en todas ellas; el material necesario se extrae mediante explosivos o simplemente se recoge con la pala. A continuación, son llevadas a las plantas de trituración y clasificación a base de cintas transportadoras que suelen encontrarse a pie de cantera. Finalmente se acopia el producto clasificado por tamaños listo para la venta.

Los frentes de cantera suelen estar banqueados, para así asegurar su estabilidad. El número de bancos es variable, pero la altura de estos suele oscilar entre 15-20 m.

<b>Término Municipal</b>	<b>U_UTM</b>	<b>Y_UTM</b>	<b>Nombre de la Explotación</b>	<b>Empresa Explotadora/ Titular</b>	<b>Usos</b>	<b>E.</b>
Orcera	525865	4240371	Orcera V	Áridos Orcera, S.L.	4	EI
Pegalajar	441100	4172420	Moroche	Ángel Carrasco Cano	4	EA
Siles	538771	4248838	Portichuelo	Fausto Gallego Caballero	4	EI
Siles	535861	4250955	Isaías II	Áridos Sierra Segura, S.L.	4	EI
Castelar	490352	4234021	Anaya	Juan María Anaya Fernández	4	EI
Beas del Segura	501465	4231640	Calar de las Beatas		4	EA
Villanueva del Arzobispo	498290	4227407	La Dehesa	Grupo Perea Morante, S.L.	4	EA
Santiago-Pontones	534538	4216030	Las Hazadillas	Herederos de Fco. Arribas Pardo, C.B.	4	EA
Santiago-Pontones	532686	4213913	Majada de las Cabras	Herederos de Francisco Arribas Pardo, C.B.	4	EA
Villanueva del Arzobispo	500671	4223703	La Fuensanta	Andrés Romero García	4	EA
Bailén	433202	4217088	Malpesa	Malpesa	4	EA
Cazorla	490286	4202437	Arcas II	Áridos y Transporte Paco Torres, S.L.	4	EA
Cazorla	490088	4202834	Arcas	Áridos y Transporte Paco Torres, S.L.	4	EA
Baeza	460719	4198468	El Comendador	Juan López Arias	4	EA
Mancha Real	447490	4194631	Cantera Riez	Áridos Ramírez, S.L.	4	EA
Mancha Real	446564	4194367	La Milagrosa II	María Martínez Gutiérrez	4	EA
Mancha Real	445770	4189869	Virgen de los Milagros II	TRAMOSA	4	EA
Jaén	442330	4187885	Al-Andaluz	Arijaén, S.L.	4	EA
Jaén	435398	4189353	Cadimo	Arijaén, S.L.	4	EA
Bedmar y Garcéz	467664	4184485	La Golondrina II	Cantera La Golondrina. S.L.	4	EI
Jódar	467241	4186390	La Lancha	Manuel Alba, S.A.	4	EA
Huelma	470627	4169456	Las Grajas	Lorenzo Díaz Palomeque	4	EA
Torres	454117	4185860	Los Pelotares	Los Tranquetos, S.L.	4	EA
Jaén	427084	4185563	La Buena II	Reciclaje Los Montes, S.L.	4	EA
Torre del Campo	426687	4185860	La Buena	Reciclajes Los Montes, S.L.	4	EA
Torre del Campo	426356	4186324	Madrigales	Mena Escabias, S.L.	4	EA
Torre del Campo	421395	4177996	San Isidro	Manuel Alba, S.A.	4	EA
Martos	415839	4177070	Dehesa del Álamo	Áridos Dehesa del Álamo, S.L.	4	EA

Huelma	464390	4162782	Las Pavonas II	Cantera Las Piletas, S.L.	4	EA
Valdepeñas de Jaén	427613	4165428	Cristo de Chircales	Los Tres Socios, S.L.	4	EA
Fuensanta de Martos	419120	4168841	El Fraile	Áridos Dehesa del Álamo, S.L.	4	EI
Fuensanta de Martos	417294	4167333	Santa Ana	La Catalana Derivados del Cemento, S.L.	4	EI
Castillo de Locubín	421263	4158046	La Divina Pastora	Excmo Ayuntamiento de Castillo de Locubín	4	EA
Alcaudete	403589	4162359	Cerro Rico	Santiago Cantisano Orive	4	EA
Jaén	426800	4182035	Imora	Manuel Mesa, C.B.	4, 1	EA
Jaén	429357	4178780	La Quebrada	Manuel Mesa, C.B.	1	EI
Martos	424375	4177995	Santo Nicassio		1, 4	EA
Huelma, Cabra de Santo Cristo	472430	4165310	La Estación**		4	EA
Jaén	443062	4188034	Las Lóbregas*	Hermanos Soria Herrera, C.B.	4	EA
Peal del Becerro	484814	4197877	Peña Segura*	Áridos Peña, s.L.	4	EA
Villacarrillo	488782	4222483	Majada Verde*	UTE Autovía A-32 Villacarrillo	4	EA

**Tabla 18.** Explotaciones activas de caliza en la provincia de Jaén

E.: Estado; EA: Explotación Activa (continua); EI: Explotación Activa (intermitente)

Usos 1: Roca Ornamental; Uso 4: Áridos de Machaqueo

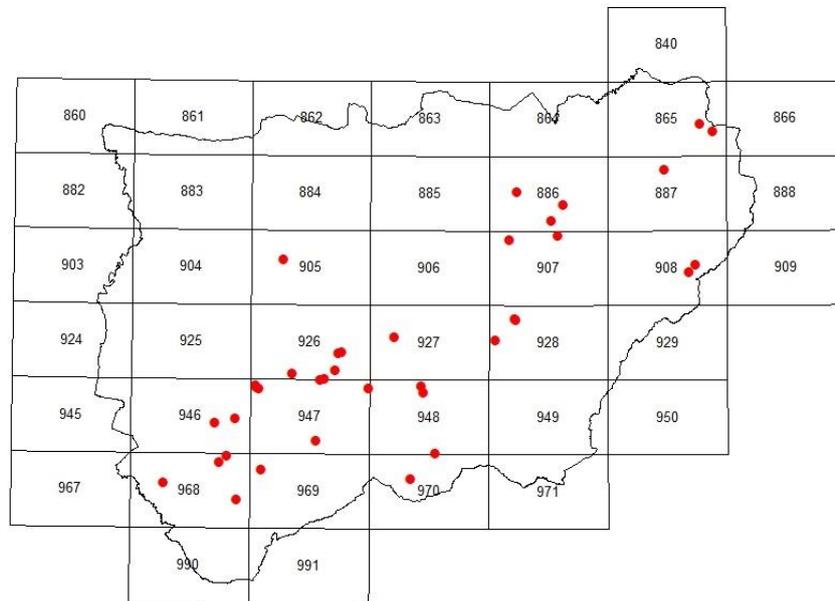
\*Calizas y Dolomías

\*\*Caliza Marmórea

Algunos de los ejemplos de canteras activas, que describiremos a continuación, se localizan en los municipios de Alcaudete, Jódar y Huelma.

La cantera de Cerro Rico (Alcaudete), localizada en el paraje La Pedrera, explotada por la empresa SOMISUR ARIDOS, proporciona materiales de alta calidad como áridos para hormigones, áridos para asfaltos, zehorras artificiales y escolleras. Dichos materiales proceden de la voladura, extracción, molienda y clasificación de áridos de frente de cantera a partir de las calizas negras del Muschelchalk (Figura 17).

La cantera denominada Las Pavonas II, en el municipio de Huelma, explota calizas margosas jurásicas del Subbético medio a cielo abierto, para áridos de machaqueo. La base de las calizas beneficiadas está constituida por una alternancia de calizas margosas y margas de color blanco, en niveles métricos, con algunos nódulos de sílex; por encima la serie se hace más compacta y de coloración rojiza (Figura18).



**Figura 16.** Localización de las explotaciones activas e intermitentes de calizas y dolomías en la provincia de Jaén con expresión de la distribución de las hojas 50.000



**Figura 17** Frente de explotación de la cantera Cerro Rico (izq.) y panorámica de la planta de la explotación (dcha)



**Figura 18** Cantera de Las Pavonas II en Huelva, donde se observan los bancos explotación (izq.) y panorámica de algunas de las instalaciones en las inmediaciones de la explotación (dcha).

En la cantera de La Lancha, en la localidad de Jódar, se desarrolla una minería a cielo abierto; se explota una caliza cretácica del Prebético Interno, bastante dolomitizada, de coloración gris, dispuesta en capas centimétricas que emergen entre materiales blandos margosos (Figura 19).



**Figura 19.** Imagen de la planta dentro de la propia cantera de La Lancha, en Jódar (izq.), con material acopiado y clasificado tras haber sido machacado previamente y frente de extracción de la caliza (dcha).

Término Municipal	U_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	E.	Sustancia
Beas de Segura	508918	4235183		EB	clz
Villanueva del Arzobispo	499748	4226436	Cardosa Medina J.M.	EB	clz
Jamilena	420596	4177621	El Arenal	EB	clz
Castillo de Locubín	417790	4156860	El Conejo	EB	clz
Torres de Albánchez	527700	4252621		EB	clz
Siles	539450	426000		EB	clz
Benatae	529856	4244788		EB	clz
Vilches	461725	4242975	La Despreciada	EB	clz
Santo Tomás	504113	4210648		EB	clz
Orcera	534585	4241891		EB	clz
Hornos	529250	4228000		EB	clz
Torredelcampo	417275	4191600	Cantera el Berrueco	EB	clz
Villacarrillo	488570	4222380		EB	clz
Villacarrillo	488706	4222312		EB	clz
Martos	415698	4174942	Pea de Martos	EB	clz
Torredelcampo	421825	4181250	El Calvario	EB	clz
Torredonjimeno	408982	4185901		EB	clz
Alcaudete	403750	4161600	Granisol	EB	clz
Jimena	452773	4188440	Cantera del Cortijo	EB	clz
Jódar	475400	4188400		EB	clz
Jaén	428500	4184700		EB	clz
Jaén	438455	4183941		EB	clz
Huelma	472445	4162150		EB	clz
Huelma	463960	4161750		EB	clz
Huelma	463800	4161500		EB	clz
Huelma	462965	4161935		EB	clz
La Iruela	509725	4200300		EB	clz
Peal de Becerro	489460	4198160		EB	clz
Cazorla	490220	4202970		EB	clz
Cazorla	506520	4197650		EB	clz
Quesada	492033	4188280		EB	clz
Pozo Alcón	508695	4179505		EB	clz
Pozo Alcón	508850	4179625		EB	clz
Quesada	491575	4186720		EB	clz
Pozo Alcón	509260	4179800		EB	clz
Alcalá la Real	421000	4139000	Los Menchones	IN	clz
Alcalá la Real	421000	4147000	Los Llanos	IN	clz
Alcalá la Real	419050	4147500		IN	clz
Jaén	439700	4186900		IN	clz
Cambil	472430	4165310	Cristina	IN	clz
Huelma	454000	4165000		IN	clz
Hornos	525354	4229164		EB	dol
Segura de la Sierra	521695	4235691		EB	dol
Orcera	537250	4242800		EB	dol
Beda	467500	4217200		EB	dol
Fuensanta de Martos	419400	4169900	Santa Ana	EB	dol
Jaén	436934	4189194		EB	dol
Valdepeñas de Jaén	428058	4165037		EB	dol
Cazorla	507460	4197585		EB	dol
La Iruela	510050	4203600		EB	dol
Cazorla	504790	4194505		EB	dol

**Tabla 19:** Explotaciones abandonadas e indicios de calizas y dolomías en la provincia de Jaén E.: Estado; EB: Explotación Abandonada; IN: Indicio Usos 1: Roca Ornamental; clz: caliza; dol: dolomía

### 3.4.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

La mayoría de las explotaciones de calizas para árido de construcción han estado ligadas a la relación ubicación-punto de consumo, ya que han sido utilizadas para obras de pequeña envergadura, como caminos forestales, presas, etc. Por eso, la mayor parte de las explotaciones recogidas en la Tabla 19 son de pequeñas dimensiones. Contamos con un total de 45 explotaciones abandonadas (de las cuales 10 son de dolomías) y 6 indicios de calizas. (Figura20).

Se han aprovechado las zonas donde la caliza se encontraba machacada en estado natural, lo que ocurre en los frentes de cabalgamiento y en las fallas importantes. Generalmente, en el pasado, en cada pueblo había un “sacadero” de arena, como se les conocía popularmente, aunque hoy día las instalaciones están más mecanizadas.



Figuras 20: Frente de cantera abandonada de dolomía en el municipio de Fuensanta de Martos

### 3.4.3 Ensayos, especificaciones y usos

En este texto el término caliza incluirá tanto a caliza como dolomía. Las funciones industriales de la dolomía son, generalmente pero no siempre, similares a las de la caliza y, en varias industrias, se usan ambas rocas. En la provincia de Jaén no existe distinción alguna entre caliza y dolomía, ya que tienen el mismo uso industrial.

Para una correcta caracterización de los materiales calcáreos, se deben determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas. Los ensayos dependen del uso al que se destine la caliza, siendo los más significativos:

- Análisis químico. Determina el contenido de CaO y MgO, para establecer su uso.
- Comportamiento ante la calcinación, determina la tendencia de material a decrepitar, con la consiguiente formación de finos y producción de interferencias en los procesos industriales.
- La reactividad informa de sus propiedades como producto acabado, calculando el porcentaje de CaO y MgO útil.
- Otros ensayos más específicos son el de blancura, alcalinidad, residuo insoluble en ácido (para el sector del vidrio), etc. En caso de uso para ornamentación los ensayos son de pulido, choque térmico, heladicidad y todos los normalizados para rocas ornamentales.

El uso principal de las rocas carbonáticas es para construcción y en la fabricación de cal y cemento. Asimismo son ampliamente utilizadas en la industria del hierro y acero, en la industria química, en la manufactura de vidrio, como carga, y otros usos específicos, requiriéndose una alta pureza. Las dolomías son utilizadas, además, como refractario, uso no compartido con las calizas.

Los factores que condicionan su uso son la calidad y el factor económico. En muchos casos se prefiere una caliza de peor calidad, aunque se aconseje otra de mejor calidad, quedando justificada esta elección por la relación calidad/precio. Además, se encuentra en competencia con una gran cantidad de materiales.

La demanda queda condicionada por la influencia del transporte, que limita la distancia a la que pueden llegar estos materiales, salvo en casos muy determinados de calidad muy especial.

Hoy en día, más de la mitad de las materias primas minerales que consume la sociedad corresponden a los áridos. La segunda materia prima consumida a nivel mundial, después del agua, es el árido. En el sector de la construcción y aglomerantes suponen un 58,2% y un 38,6% respectivamente, del tonelaje total de calizas extraído en España.

Debido al elevado número de procesos industriales en los que las calizas intervienen, las especificaciones son muy diversas, basándose en sus cualidades físicas o químicas según el uso a que se destinen.

### Construcción

Como ya se ha mencionado, el destino principal de las rocas calcáreas es el sector de la construcción, principalmente como áridos, para la fabricación de hormigón, aglomerantes, etc. En cuanto a los usos prioritarios dentro de este sector, destaca su utilización en los siguientes campos:

- Elaboración de hormigones
- Elementos constructivos prefabricados
- Bases y subbases para vías públicas
- Aglomerado asfáltico para firmes
- Piedras para escollera
- Materiales de relleno en general

### Áridos para hormigón y morteros

El hormigón se elabora mezclando agua, cemento (u otras sustancias ligantes) y áridos; estos últimos como componentes inertes que suponen un 60-80% de la mezcla. Un requisito indispensable de los áridos usados con este fin es que permanezcan estables a lo largo de toda la vida útil del hormigón.

Las características de los áridos para hormigón quedan determinadas por normas de calidades específicas y generales. Diversos ensayos permiten definir la clasificación, composición, propiedades, tamaños máximos y distribución granulométrica de los materiales litológicos que

componen el árido, forma, textura superficial y densidad aparente, absorción del agua, propiedades mecánicas, durabilidad (estabilidad, reactividad frente a álcalis, susceptibilidad frente a las heladas), impurezas (arcilla, limo, polvo, cloruros, sulfatos, etc.), contracción al secado, desplazamiento térmico o resistencia al fuego.

El mortero se prepara mezclando agua, arena u otros tipos de áridos finos y agentes ligantes; su empleo es la mampostería, relleno de juntas y recubrimientos de superficies (solados, enfoscados y enlucidos). Los diferentes tipos de morteros están en función de los ligantes (generalmente cal y cemento) o la proporción de árido empleada (que suele suponer alrededor de un tercio del total de la mezcla).

Los áridos para morteros se someten a ensayos similares a los indicados en el caso de los áridos para hormigón, poniéndose mayor énfasis en las determinaciones de granulometría, densidad aparente y proporción de los componentes mezclados.

#### Áridos para pavimentos (sin ligantes)

Se emplean áridos en la preparación de bases o subbases (recubrimientos) destinadas a carreteras, pistas de aeropuerto, drenajes u otros tipos de obras. Estos áridos, cuando corresponden a granulometrías cerradas, proporcionan soporte a la regular distribución de las cargas y resistencia frente a la formación de huellas de rodadura; en el caso de que correspondan a las granulometrías abiertas garantizan una elevada porosidad.

En los ensayos tecnológicos de calidad aplicables a tales materiales predominan los correspondientes a resistencia al desgaste, degradación y efectos de la migración del agua.

#### Áridos con ligantes bituminosos

Se emplean áridos de trituración de diferentes granulometrías, siendo mezclados con materiales bituminosos. Su aplicación es la construcción de diversos tipos de pavimentos (calzadas urbanas, carreteras, autopistas, pistas de aeropuerto, etc.) exige la realización de ensayos de calidad basados en parámetros tales como la tenacidad, dureza, adhesividad, resistencia al desgaste, al impacto y a la meteorización.

#### Áridos para filtrado

Los lechos de áridos con variadas granulometrías se emplean en el filtrado de agua potable, aguas para riego, aguas residuales, o en el drenaje de taludes, presas de tierra u otras obras de ingeniería que precisen de un drenaje efectivo. La granulometría de los materiales más comúnmente empleados oscilan entre tamaños de arena y grava, pudiendo proceder de áridos de machaqueo. La adecuación del árido se establece, de acuerdo con cada uso, sobre la base de los tamaños de partícula, granulometría, resistencia y durabilidad (Figura 21).

En el sector de la construcción se determinan fundamentalmente los siguientes parámetros:

- Resistencia al desgaste mediante ensayo de Los Ángeles
- Resistencia a la meteorización mediante el ensayo de heladicidad
- Porosidad
- Densidad

- Capacidad de absorción de agua

Cuando se usa como árido de machaqueo además de la solidez hay que tener en cuenta la resistencia a la abrasión, la dureza, la estabilidad química, la absorción de agua, el peso específico y la granulometría. Las especificación es se refieren fundamentalmente a la presencia de sustancias no deseadas, como son arcillas, yesos, piritas y rocas fiables o porosas en exceso.



**Figura 21.** Acopios de productos en la explotación “La Lancha” en Jódar

Los agregados de caliza son más usados en la subbase y base de camino donde son requeridos por ser limpios y fuertes con baja porosidad. Las calizas son típicamente menos durables que otros agregados de rocas arenosas o rocas ígneas al tener baja resistencia a la abrasión y por ello, generalmente, no son empleados como materiales superficiales de rutas, ya que tienen que ser resistentes al desgaste y al deslizamiento. En la tabla 20 aparecen los productos más frecuentes que se engloban como áridos naturales o de machaqueo

Denominación	Tamaños (mm)
Morro	>100
Grava gruesa	50 a 100
Grava media	40 a 60
Grava menuda	30 a 50
Grava gruesa	20 a 40
Gravilla media	15 a 30
Gravilla menuda	15 a 25
Garbancillo	7 a 15
Arena gruesa	2 a 5
Arena media	0,5 a 2
Arena fina	0,1 a 0,5
Filler o polvo	0,005 a 0,08

**Tabla 20.** Productos más frecuentes que se engloban como áridos naturales o de machaqueo con especificación de su tamaño

Además de la construcción existen otros numerosos procesos industriales en los que intervienen las calizas, siendo las especificaciones muy diversas, basadas en sus cualidades físicas o químicas según el uso que se destinen.

### Roca ornamental

El principal uso del mármol es en ornamentación y en la construcción, además de otros marginales como áridos, cargas, etc., en cuyo caso se trata de como si fuera una caliza normal. Las aplicaciones principales son:

- Revestimientos
- Pavimentos, solería
- Peldaños
- Rodapiés
- Funerarios

También es muy utilizado en la elaboración de monumentos, estatuas y otros productos artesanales.

Las especificaciones para sillares, columnas y revestimientos (ITGE, 1989) quedan definidas en las tablas 21 y 22.

	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	Absorción de agua (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a las heladas (%)	Resistencia agentes químicos
<b>Mármol</b>	2,5	< 1,6	> 500	> 70	Baja	Atacable
<b>Caliza</b>	2,0	< 2,0	> 400	> 70	Baja	Atacable

**Tabla 21.** Especificaciones en la caliza y el mármol para su utilización en sillares y columnas

	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	Absorción de agua (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Mármol</b>	2,5	< 0,75	> 500	> 70
<b>Caliza</b>	2,0	< 3,0	> 400	> 70

**Tabla 22.** Especificaciones en la caliza y el mármol para su utilización como revestimientos

### Fabricación de cemento

El cemento se fabrica mediante la calcinación de una mezcla donde las calizas representan el mayor porcentaje, con un 75%. Este porcentaje de calizas junto a un 25% de arcilla, dan lugar al clínker, que luego es molido y mezclado con una pequeña cantidad de yeso que actúa como retardante de fraguado.

En la manufactura del cemento se dan cambios en los procesos de producción. Dependiendo de las especificaciones requeridas se modifican las mezclas de materias primas para alterar la composición química del producto final, permitiendo así el uso de calizas con altos contenidos en MgO.

En la tabla 23 se muestran las especificaciones que debe de tener una caliza para su empleo en la fabricación de cemento.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Álcalis	SO <sub>3</sub>	S <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
< 13	< 6	< 3	> 45	< 3,5	< 1	< 0,7	< 0,3	< 0,1

**Tabla 23.** Especificaciones relativas a los contenidos (%) que debe tener una caliza para su empleo en la industria cementera

#### Fabricación de cal

La cal es muy usada en la industria de la construcción, en la manufactura de ladrillos de silicato de calcio, bloques livianos de hormigón, morteros, en el estuco de cemento y de yeso y de cal hidratada para la decoración de paredes y estabilización de superficies. La caliza, como materia prima de la cal, no se somete a especificación alguna para su elaboración, aunque sí es recomendable una cristalinidad que haga que durante la calcinación no tenga tendencia a decrepitar y son preferible aquellas calizas con un alto contenido en carbonato cálcico, pero teniendo en cuenta a su vez la presencia de más del 5% en arcillas para la obtención de cales hidráulicas.

Naturaleza de productos	Índice hidráulico	Contenido de arcilla en la caliza primitiva (%)	Tiempo fraguado	Observaciones
Cal grasa	0,0-0,1	0,0-5,3	-	Fraguan sólo en el aire
Cal débilmente hidráulica	0,1-0,16	5,3-8,2	16-30	Días
Cal medianamente hidráulica	0,16-0,31	8,2-14,8	10-15	Días
Cal propiamente hidráulica	0,31-0,42	14,8-19,1	5-9	Días
Cal eminentemente hidráulica	0,42-0,5	19,2-21,8	2-4	Días
Cal límite, cemento lento	0,5-0,65	21,8-26,7	1-12	Horas
Cemento rápido	0,65-1,20	26,7-40,0	5-15	Minutos

**Tabla 24.** Clasificación de las cales en función del índice hidráulico

La presencia de magnesio, hierro, azufre y materia orgánica influyen en la naturaleza del producto final. La composición química apta del material se rige por el índice hidráulico, que es la proporción de los compuestos de sílice, aluminio y hierro presentes en las arcillas en forma de silicatos, y el magnesio y el calcio de la caliza, expresados en porcentaje en peso de los óxidos correspondientes.

De este índice hidráulico depende fundamentalmente el tiempo de fraguado, pudiéndose clasificar las cales según se recoge en la tabla 24. Actualmente en la provincia de Jaén no hay canteras en activo que destinen su materia prima a la fabricación de cal, ya que no alcanza la calidad exigida; sí las hay abandonadas en el municipio de Quesada y La Iruela, donde su producción, en el pasado, iba destinada a la fabricación de cal.

#### Industria química

Suele utilizarse caliza triturada, siendo determinantes sus propiedades químicas. La gran mayoría de los procesos demandan cal o cal hidratada, a excepción de la producción de hierro, vidrio y desulfuración de tubos de gas, que utilizan caliza en bruto. Los procesos más importantes son:

- Industria del hierro y del acero
- Manufactura de “soda-ash”
- Refinación de azúcar
- Manufactura de vidrio
- Desulfuración de gases
- Extracción de magnesia del agua de mar
- Purificación de agua y tratamientos de efluentes

#### Papel y pulpa de papel

La caliza se emplea en la manufactura de pulpa de papel por medio del “proceso de sulfito”, en el cual el carbonato reacciona con el dióxido de azufre para obtener el bisulfito de calcio, que se utiliza como digestor de la madera. En la actualidad este método ha quedado en desuso frente al “sistema kraft”, que utiliza hidróxido de sodio y sulfito sódico para extraer la lignina de las fibras de la madera. Aun así, actualmente se produce mediante el proceso de sulfito alrededor de un 10% de la producción mundial del papel.

#### Cargas blancas

La caliza finamente pulverizada se emplea para como carga inorgánica en numerosas industrias, debiendo tener el producto un color blanco y una granulometría adecuada, con tamaño de 200µm o más. Los sectores que más utilizan las cargas blancas son en el de los insecticidas, jabón y detergentes, cubierta de suelos, pinturas y pigmentos, aislamientos de cables eléctricos, caucho, cueros, asfaltos, baldosas acústicas, tintas blancas, linóleos, gravas y aceites, papel de fumar, cosméticos, lapiceros, pasta dentífrica, papel, explosivos, pulimentos de metales, colas y alimentación, entre otros.

### Vidrio

La caliza se emplea, ya sea en crudo o calcinada, como constituyente en el baño del vidrio, actuando como fundente, pues el aporte de óxido de calcio aumenta tanto la estabilidad química como la mecánica del vidrio. La materia prima ha de ser de gran pureza y homogeneidad en su composición y sin elementos considerados como perjudiciales.

### Metalurgia

La caliza es empleada en la industria del hierro y de los metales no férricos, principalmente como fundente, aunque también puede ser utilizado por las características químicas que posee, para que participe en una reacción química específica (como el proceso Bayer para la obtención de aluminio).

### Tratamiento de azúcares

La caliza se emplea para purificar el zumo de la remolacha azucarera.

### Desulfuración de los gases de combustión

El azufre puede ser eliminado antes, durante o después de la combustión. El procedimiento más utilizado es la eliminación del azufre en los gases de salida. El proceso se puede llevar por vía seca o húmeda, en la que la caliza actúa como reactivo absorbente en forma de carburo de calcio y en mezclas y lechadas de cal o caliza.

### Calizas como correctoras de suelos en agricultura

El efecto de la adición de encalantes al suelo viene determinado por:

- El Ca o Mg que se aporta suele expresarse como: elementos (Ca, Mg), óxidos (CaO, MgO) o Carbonato de Calcio Equivalente (C.C.E.).
  - C.C.E. calcita= 100
  - C.C.E. magnesita= 118
  - C.C.E. dolomía= 108,6
- Elementos metálicos pesados que se aportan indeseadamente: Pb, Hg, Cd, Cr, etc.
- Granulometría: afecta a la rapidez de la neutralización y a la homogeneidad de su distribución sobre el terreno. CaO que tendría la misma capacidad de neutralización que 100 kg de producto considerado.
- Valor neutralizante (V.N.): número que representa la cantidad de CaO que tendría la misma capacidad de neutralización que 100 kg de producto considerado.
- Rapidez del efecto neutralizante: los productos cálcicos presentan una neutralización rápida y los magnésicos, más lenta y duradera. SE mide por la solubilidad carbónica (% de producto disuelto en una solución saturada de gas carbónico).

Como valores generales se puede tomar:

- C.C.E. > 80%
- V.N. > 45%
- Solubilidad carbónica > 45%

En España no existe una normativa al respecto, aunque se puede tomar como referencia la norma francesa (NF-U-44-001, NF-U-44-173 y NF-U-44-174).

#### Calizas en la alimentación animal

La adición de caliza en la alimentación animal, como completo composicional en piensos y forrajes, tiene como objetivo principal el engorde de la ganadería y de la avicultura, así como la potenciación de los productos obtenidos, a partir de las mismas, en calcio.

#### Refractario

Uso exclusivo de la dolomía. Se utiliza en tres formas, la dolomía cruda, calcinada o calcinada a muerte. Se exige que la dolomía contenga >20% de carbonato de magnesio, <0,05% de azufre y <2% de sílice, siempre en tamaños de 2cm.

### 3.5 Minerales de Estroncio-Celestina

El estroncio es una sustancia de color blanco plateado y brillo metálico, con buenas cualidades de maleabilidad que le hacen apto para el moldeado y mecanizado. Se trata de un elemento alcalinotérreo de carácter metálico. El estroncio es menos abundante en la litosfera que otros elementos vecinos de la Tabla Periódica; en este sentido la similitud entre radios iónicos entre estroncio, bario, potasio y plomo hace posible la frecuente sustitución de unos y otros iones dentro de las redes de cristalización del mineral (ITGE, 1990).

La celestina es un sulfato de estroncio  $Sr(SO)_4$  de origen sedimentario o hidrotermal, de color azulado, blanco o amarillo. Generalmente es transparente a translúcido con brillo vítreo nacarado en las caras de exfoliación, usualmente en cristales del sistema rómbico con hábito tabular o columnar.

El conjunto de indicios correspondientes a la toponimia de Puentetablas (a unos 4 km de Jaén siguiendo la carretera de Torrequebradilla) es de gran interés. La mineralización de celestina de Puentetablas encaja en enclaves de litologías diversas; la localización más característica se presenta cerca de la base, a veces también en el tramo medio, de unidades olistostómicas (calizas del Lías y Cretácico, materiales de triás andaluz, etc.); el sustrato local de estas unidades está constituido por margas y calizas del Mioceno superior y por Trías de facies germánica, situados en el extremo meridional de la Depresión del Guadalquivir (Jaén).

Se han considerado dos tipos de mineralización:

- Mineralización primaria, situada en materiales triásicos de facies Keuper: arcillas, areniscas y, ocasionalmente, yesos. Se presenta en forma de nódulos de dimensiones centimétricas a decimétricas de color blanco o azul, ocasionalmente en fisuras de rocas calcáreas relacionadas (Figura 22).



**Figuras 22.** Mineralización primaria de celestina rellenando fisuras y nódulos en facies triásicas del Keuper

- Mineralización secundaria o removilizada (Figuras 23 y 24), encajando en calizas y/o dolomías que por su aspecto son atribuibles a una Edad Trías terminal-Lías inferior. Suele presentarse como un relleno de brecha sinsedimentaria.



Figura 23. Mineralización encajada en caliza



Figura 24. Mineralización botroidal de celestina



Figura 25. Frente de explotación en Puentetabras (Jaén)

### 3.5.1 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Las explotaciones de celestina, hoy día abandonadas (tabla 25), fueron suministradoras históricamente de hematites, celestina y caliza simultáneamente, y en los últimos años, áridos. La explotación de estas canteras se remonta a finales del siglo XIX y termina en la década de los 50 del siglo XX, para las menas de hierro. La celestina fue explotada de manera intermitente desde 1.999 a la actualidad, con destino a colecciones. La explotación de áridos se ha realizado durante el periodo 2.004 a 2.007 para el uso de la autovía (Figura 25).

Término Municipal	Nombre de la Explotación	Empresa Explotadora	X_UTM	Y_UTM
Jaén	Cantera Minerama	Minas Minerama, C.B.	434726	4184949
Jaén	Mina Minerama	Minas Minerama, C.B.	434945	4184855

Tabla 25. Explotaciones abandonadas de celestina en la provincia de Jaén

La mineralización encaja en el contacto entre materiales margoarcillosos de facies Keuper y dolomías tableadas y laminadas de edad Triásico superior-Jurásico inferior. En este sector todo el conjunto anteriormente descrito se superpone a un potente conjunto de facies

margoyesíferas de más de 300m. La dirección de las capas en el afloramiento mayor es N40°E buzando al este.

### 3.5.2 Ensayos, especificaciones y usos

Para ser mena de Sr, la celestina debe tener como mínimo un 90% de  $\text{Sr}(\text{SO})_4$ . A continuación se recoge la composición mineral de una muestra de la cantera de Minas Minerama:

Celestina: 71-100%

Dolomita: 5-21%

Calcita: 5%

Yeso: 6%

En cuanto a los usos se caracteriza por su resistividad térmica y eléctrica, al quemar produce una flama roja brillante única, es insoluble en ácido excepto el sulfúrico caliente, en ocasiones es fluorescente a los rayos ultravioleta con coloración azulada o verdosa, etc.

Con vista a las aplicaciones industriales la mayor parte de la celestina debe ser transformada en carbonato de estroncio, compuestos químicos utilizados también como punto de partida para la obtención de otros compuestos. De todos ellos, el carbonato de estroncio es el más importante.

Tiene una amplia gama de usos entre los que cabe destacar: tubos de televisión de color, vidrio, pirotecnia, cerámica, barnices, esmaltes, pinturas y pigmentos. Otros usos minoritarios son: industria farmacéutica, del jabón y grasas, metalurgia, aleaciones, refinamiento del azúcar, fluidos de sondeos, etc. (Mollfulleda Borrel, 1999).

### 3.6 Diatomita

Se denomina diatomita a una roca sedimentaria silíceas, de origen orgánico, compuesta por acumulaciones de restos fósiles de algas diatomeas (Harben & Kuzvart, 1996). Las diatomeas son algas de formas y tamaños variados. Hay aproximadamente 5.000 especies de diatomeas, todas ellas compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa traslúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina, sustancia neutra que forma soluciones coloidales. Las diatomeas son un tipo de algas que se encuentran en prácticamente cualquier entorno acuático o semiacuático, desde un lago o un océano, hasta un arroyo, un estanque e incluso se han encontrado en el musgo y en la corteza de algunos árboles. Son organismos autótrofos que necesitan la luz del sol para producir su propio alimento (realizan la fotosíntesis), por lo que como mucho los encontraremos hasta los 200 metros de profundidad, en las zonas en las que llegue la luz.

Se caracteriza por su baja densidad aparente, color blanco y alta capacidad absorbente (absorbe cuatro veces su peso en agua). Cuando está contaminada con carbonato puede perder su capacidad absorbente, haciéndose más amarillenta.

La similitud entre trípoli y diatomita es que ambos están formados esencialmente por sílice, ambos son muy ligeros y presentan un color blanco. A diferencia de la diatomita, el trípoli es una forma de sílice no orgánica de partícula fina, resultado del lixiviado de calizas silíceas o cherts calcáreos. Mineralógicamente, ambas sustancias están formadas por ópalo A.

En la parte sur de la provincia de Jaén, en el área de Martos, Porcuna y Mengíbar, se hallan las explotaciones, hoy en día todas inactivas, y los indicios de diatomita. En la zona se conocen como “tiza”. Se encuentran entre las margas terciarias de facies marinas depositadas en las unidades Autóctonas de la Depresión del Guadalquivir, datadas como Mioceno Superior. Morfológicamente se distinguen de las margas de roca de caja por su color más blanco, forma positiva de relieve y carácter hidrogeológico permeable.

Sus calidades medias son insuficientes, por porcentajes en sílice que oscilan entre 45-65%, lo que limita su utilidad como materiales aislantes o para la fabricación de cementos. Se trata, por tanto, de diatomitas impuras para usos refractarios.

Para la extracción del material no fue necesario el uso de explosivos; la obtención de bloques y polvo se hizo mediante la pala retro-excavadora, atendiendo básicamente a la seguridad, ya que el polvo es nocivo para la salud. Para reducir el contenido de humedad, la diatomita se extendía para su secado.

#### 3.6.1 Explotaciones mineras abandonadas

Hoy día no hay ninguna explotación activa de diatomita en la provincia de Jaén. Hasta hace unos años, la última que estuvo en explotación, y de forma esporádica en sus últimos años, es la conocida como Santa Bárbara, en las proximidades de Martos. En la tabla 26 quedan recogidas las explotaciones abandonadas e indicios en la provincia de Jaén.

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Porcuna	392429	4190902		IN
Porcuna	391437	4189696	Arroyo Salado	EB
Porcuna	395283	4190707	San Félix	EB
Porcuna	388552	4189686		IN
Porcuna	401931	4192650		IN
Porcuna	391494	4189763	Virgen de la Capilla	EB
Martos	412196	4174521	Santa Bárbara	EB
Menjíbar	432903	4202900	Máquiz	EB
Menjíbar	426400	4205350		IN
Menjíbar	432300	4202400		IN
Menjíbar	430900	4201000		IN
Begíjar	445950	4203800		IN
Torredonjimeno	408661	4179333	Las Cumbreira	EB
Alcaudete	397591	4170754		IN
Higuera de Calatrava	405500	4186525		IN

**Tabla 26.** Explotaciones abandonadas e indicios de diatomitas en la provincia de Jaén

IN: Indicio; EB: Explotación abandonada

Se tomaron muestras a pie de algunas canteras para la elaboración de los siguientes análisis composicional de las diatomitas (%):

Explotaciones	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PCC
Santa Bárbara	57,57	4,64	1,739	16,192	0,236	0,761	0,716	0,234		0,070	17,83
San Félix	61,15	6,15	2,31	13,50	0,20	1,10	1,81	0,34	0,06	-	13,61
Virgen de la Capilla	56,98	6,72	2,61	13,99	0,24	1,24	2,74	0,41	0,30	-	15,31

Fuente: Archivos IGME

Composición Mineral:

- Mineral Principal: calcita, cuarzo
- Mineral Secundario: nontronita
- Mineral Accesorio: talco

### 3.6.2 Ensayos, especificaciones y usos

El procesamiento de la diatomita, conlleva una trituración primaria mediante molinos de martillos. La molienda y secado se ejecutan simultáneamente. Es muy importante que la estructura, en la que la diatomita expone sus propiedades, quede preservada. La calcinación puede ser llevada con o sin adición de fundentes. El polvo de diatomita se calienta a 900°C en unos hornos rotatorios, con posterior molido y clasificado. Gracias a la calcinación se consigue eliminar el agua e impurezas que tenga la diatomita a la vez que se contrae y endurecen las partículas de ésta.

La evaluación de la diatomita hace necesario la realización de los siguientes ensayos: análisis químico, absorción de agua, color, humedad, test de abrasividad, peso específico real y aparente, Ph, porosidad, análisis granulométrico y análisis morfológico por microscopía electrónica de barrido.

Las aplicaciones en la industria son muy diversas: elementos filtrantes, cargas funcionales y soportes de productos químicos, absorbentes, como material estructural o de aislamiento, abrasivos, fuente de sílice, blanqueador, soporte de catalizadores, análisis cromatográfico, material refractario en los hornos de escorias ácidas, como protección contra la llama directa, aditivos con capacidad puzolánica para fabricación de cementos, utilización en tratamientos medio-ambientales, etc.

Las principales propiedades físicas de las diatomitas son función de los siguientes parámetros:

- Capacidad de absorción de aceite, dependerá directamente de la granulometría y de la porosidad, cuanto mayor sea esta, mayor será la cantidad de aceite que absorben los huecos abiertos y los poros.
- Diámetro de las partículas, cuanto más uniforme sea el tamaño de las partículas y más fino el grano, tanto mayor será el espacio vacío entre las mismas.
- Color definido, que presente una coloración uniforme a las composiciones de pulimiento.

Las muestras de diatomitas analizadas son purulentas, finas y porosas, con aspecto margoso; de color blanco brillante, alta capacidad de absorción, suave capacidad abrasiva, alta resistencia a la temperatura, conductividad térmica muy baja, punto de fusión entre 1400-1750°C, peso específico 2,0 (la calcinación la incrementa) y químicamente inerte.

### 3.7 Fluorita

La fluorita, cuya fórmula es  $\text{CaF}_2$ , es un mineral que encontramos dentro del grupo de los halogenuros. Se trata de compuestos binarios que en este caso está formado por flúor y calcio. De origen hidrotermal, se presenta en todos los colores y matices con raya blanca o incolora, a veces, ligeramente teñida por las impurezas. Se puede presentar de transparente a translúcida y brillo vítreo. Cuando encontramos fluorita con una pureza máxima, este mineral es casi transparente, pero lo común es encontrarla en la naturaleza con diferentes tonalidades. Los colores en los cuales nos podemos encontrar el mineral son muy diversos. Por ejemplo, suele ser común el verde azulado y puede llegar a presentar un color violeta. Esto depende de las impurezas que tenga la fluorita en cada caso. Comúnmente se presenta en cristales del sistema cúbico, hábito cúbico u octaédrico y combinaciones.

Este mineral se usa para muchos fines como vamos a ver a continuación, a la vez que sus colores hacen que sea un mineral que tenga una elevada demanda.

#### 3.7.1 Indicios

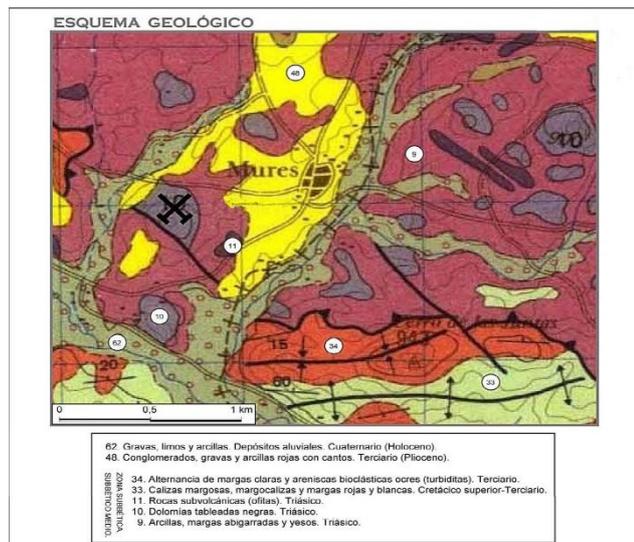
En la provincia de Jaén hay un indicio de fluorita denominado “Cristal” en el paraje de las Pedrizas de Mures (figura 26) , situado al suroeste de Alcalá la Real (tabla 27). Aparece una veta de fluorita asociada a las dolomías negras triásicas del Subbético. Esta se presenta en cristales decimétricos cúbicos de color violeta intenso debido a los contenidos apreciables en estroncio, acompañada de calcita con una buena cristalización romboédrica (figura 27).

Término Municipal	Nombre del indicio	X_UTM	Y_UTM
Mures, Alcalá la Real	Cristal	426542	4142040

Tabla 27. Indicio de fluorita en Mures, Alcalá la Real.



Figura 26. Indicio de fluorita de Mures (izquierda) y esquema geológico (derecha).





**Figura 27.** Detalles de cómo los cristales violetas de fluorita tapizan planos de rotura y rellenan fisuras y huecos a manera de cemento de brecha

La composición química de una muestra perteneciente al permiso de investigación “Cristal” es el siguiente:

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PCC
Mures-1	0,61	0,08	0,078	<0,05	66,53	<0,10	0,058	<0,065	0,007	<0,005	4,33

Fuente: Archivos IGME

### 3.7.2 Especificaciones y usos

La fluorita es poco soluble en HCl y algo en SH<sub>2</sub> concentrado y caliente; presenta propiedades físicas como la termoluminiscencia, es decir la capacidad de emitir energía lumínica a partir de un estímulo térmico – aplicación de calor -; y fluorescencia a los rayos ultravioletas. Esta capacidad le permite absorber los rayos ultravioletas, invisible al ojo, y devolver energía lumínica visible. Es mala conductora del calor y la electricidad.

La fluorita se utiliza en la industria metalúrgica, química, óptica, como fundente, en cerámica, esmaltes, vidrios, tratamiento de la bauxita, fluidificante de escorias, en aparatos de física, fabricación de ácido fluorhídrico, grabado de vidrio y ornamentación.

El principal uso de la fluorita es la obtención ácido fluorhídrico. Este ácido es utilizado en para obtener compuestos orgánicos fluorados. En la industria óptica es utilizado por su capacidad de corroer el vidrio. Otros usos del ácido fluorhídrico son el pulido de latón, titanio y acero inoxidable, la industria petroquímica lo utiliza para la acidación de los pozos petroleros, actúa como control en la fermentación de la cerveza, en la industria alimenticia.

En la industria metalúrgica se utiliza como fundente, en la elaboración del hierro y del acero. Su principal acción es ayudar a reducir el punto de fusión del acero, lo que permite un

importante ahorro energético. Por otra parte, este bajo punto de fusión permite que se puedan captar con mayor capacidad los sulfuros presentes en la escoria de acero, para luego separarlos y así obtener un acero más limpio.

El fluoruro de calcio cumple una importante labor en la industria del cemento ya que permite reducir la energía térmica, facilitando el fraguado y, además, aumenta en un 15% la resistencia a la compresión de este producto.

Otros usos no menos importantes son como refrigerante, utilizado en aires acondicionados domiciliarios e industriales y equipos para automóviles y autobuses.

En general, la industria química tiene en la fluorita un compuesto cuyos usos son innumerables, de allí su importancia.

La fluorita se comercializa en tres tipos de concentrado:

- Grado ácido (97%  $\text{CaF}_2$  mínimo)
- Grado cerámico (93-95%)
- Grado metalúrgico (60-90%)

### 3.8 Granito

El granito es una roca ígnea intrusiva compuesta fundamentalmente por cuarzo, feldespatos alcalinos y mica. Los granos minerales que la componen generalmente se suelen ser a simple vista. Según la norma UNE-EN 12670, se denomina “granito comercial” a la piedra natural y compacta, que admite pulido, utilizada en decoración y construcción y que está compuesta fundamentalmente de minerales de dureza que varía entre 5 y 7 en la escala de Mohs, tales como el cuarzo y el feldespato.

El granito que encontramos en el NO y N de la provincia pertenece al batolito de los Pedroches, considerado como uno de los principales cuerpos ígneos de la Península Ibérica. Se trata de una importante alineación ígnea considerada el límite entre la Zona Centroibérica y Ossa-Morena, dentro del Macizo Ibérico. En la actualidad, se considera integrado dentro de la Zona Centroibérica, si bien se localiza en proximidad de un extremo meridional.

Dentro de esta gran alineación es posible diferenciar varios cuerpos intrusivos más pequeños con variaciones litológicas. Así, la mayor parte está constituida por la “granodiorita de los Pedroches”, que a su vez es intruida por varias generaciones de rocas ígneas posteriores. Son muy habituales las intrusiones subvolcánicas en forma de diques de composición variada, que encajan en fracturas diversas, con un cierto predominio de fracturaciones longitudinales a la alineación general del batolito.

En la actualidad no hay explotaciones activas de granito en la provincia de Jaén, aunque existen explotaciones íntimamente relacionadas, como son las de lehm granítico (ver capítulo 3.2.) formado por la meteorización in situ de la zona superficial del cuerpo granítico.

### 3.8.1 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Las explotaciones de granito en la provincia de Jaén están todas abandonadas y se pueden ver en la tabla 28 a continuación:

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Andújar	409000	4228500		IN
Andújar	411400	4220000		EB
Andújar	417000	4217000	La Viñuela	EB
Andújar	413929	4216436		EB
Bailén	437800	4220200		IN
La Carolina	449000	4240500		IN
La Carolina	448900	4240100		IN
Linares	448600	4223800		IN
Linares	439860	4223718	San Fermín	EB
Santa Elena	448900	4241400		IN

**Tabla 28.** Explotaciones abandonadas e indicios de granito en la provincia de Jaén

IN: Indicio; EB: Explotación abandonada

Aunque en la actualidad no hay ninguna explotación con aplicabilidad como roca de construcción, se conservan algunas explotaciones abandonadas tales como “San Fermín” ubicada en Linares y otras de pequeñas dimensiones al Norte de Andújar, que sacaron granito con este fin.

Hay una serie de indicios (ver tabla 28 con indicación IN) cuyo interés es debido a que son cuerpos ígneos con alteración meteórica que, en el caso de ser ricos en filosilicatos con cuarzo y feldespatos, pueden tener aplicación en uso cerámico (Vázquez Vélchez, 2002).

### 3.8.2 Ensayos, especificaciones y usos

En cuanto a los ensayos, se realizan estudios petrográficos, análisis químicos y mineralógicos (DRX) y ensayos para conocer el peso específico aparente, la absorción de agua, y la resistencia a la compresión, flexión, al impacto, al desgaste por rozamiento, a las heladas y a los cambios térmicos.

La aplicación comercial de los granitos está condicionada por su aspecto, dureza, color, uniformidad de textura entre otras propiedades físicas. Sus aplicaciones quedan limitadas, en ocasiones, por su facilidad de disgregación ante la acción de los agentes externos.

El término comercial “granito” abarca una gran diversidad de rocas que se agrupan dependiendo de su color en:

- Granitos claros: granitos, cuarzo-monzonitas, granodioritas, adamellitas y sienitas.
- Granitos oscuros: gabros, dioritas y rocas volcánicas.

Los usos de los granitos:

- Piedras de escollera, en forma de grandes bloques
- Árido de machaqueo

- Construcción: hormigones, morteros, en distintas capas de viales de carreteras, pistas y ferrocarril, para rellenos, lechos filtrantes, etc.
- Piedra de construcción y ornamental: sillería, pavimentos, muros rústicos, revestimientos y en la obtención de muy diversos productos como bordillos, adoquines, chimeneas, esculturas, etc. Este es el uso más destacado.
- Manufacturas, en la fabricación de cilindros para moler pulpa en molinos de la industria papelera.

### 3.9 Margas

Una marga es una roca híbrida constituida por carbonato cálcico y material arcilloso en proporciones muy diversas (tabla 29), estableciéndose así la siguiente clasificación:

	Carbonatos (%)	Arcillas (%)
Caliza	100	0
Caliza margosa	95	5
Marga-Caliza	85	15
Marga calcárea	75	25
Marga	65	35
Marga	35	65
Marga arcillosa	25	75
Marga-Arcilla	15	85
Arcilla-Margosa	5	95
Arcilla	0	100

**Tabla 29.** Clasificación de las margas en función del % de carbonatos y arcillas

Esta clasificación determina que las margas están muy relacionadas con los materiales calizos y arcillosos descritos en los apartados anteriores. Constituyen uno de los materiales con mayor abundancia en la provincia, a excepción de la zona Norte. Aparecen en depósitos de edad triásica, jurásica, cretácica y miocena, generalmente junto a calizas, dolomías, arcillas, etc., tanto en la Depresión del Guadalquivir como en las Zonas Externas de la Cordillera Bética.

La aplicación de las margas de Jaén se limita a cementos y sus derivados y a la industria cerámica, donde son consideradas como arcillas margosas.

Las margas triásicas son de facies Keuper, margas abigarradas con lutitas y yesos, con escaso interés industrial. Las margas jurásicas aparecen interstratificadas con las calizas y las dolomías, presentando interés para cementos y sus derivados; al igual que las cretácicas, que aparecen en sucesiones alternantes de distintas potencias, interrumpidas en ocasiones por brechas y areniscas. En los depósitos terciarios hay una gran cantidad de margas y arcillas margosas de distintas potencias con intercalaciones areniscosas, con interés para la industria cerámica, pero se consideran como arcillas.

#### 3.9.1 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Actualmente no hay ninguna cantera en funcionamiento para la explotación de margas, por lo que la tabla 30 muestra todas las explotaciones abandonadas e indicios en la provincia de Jaén. La última cantera en cerrar fue la denominada “Alba-Torredonjimeno” donde los materiales margosos y margocalizos se explotaron para la fabricación de cementos en la fábrica “*Cementos Alba*”, situada en la localidad de Torredonjimeno. Se trata de una alternancia de caliza micrítica azulada, margocaliza y marga arcillosa, en bancos de 20 cm de espesor de edad liásica superior que pertenecen a las Unidades Intermedias del Subbético (Unidad de Jabalcuz).

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Baeza	460800	4206900		IN
Hinojares	500300	4174000		EB
Martos	416080	4175452	El Sapillo	EB
Quesada	499750	4189550		IN
Quesada	484100	4188000		IN
Torredonjimeno	418965	4177172	Alba-Torredonjimeno	EB

**Tabla 30:** Explotaciones abandonadas e indicios de margas en la provincia de Jaén  
IN: Indicio; EB: Explotación abandonada

### 3.9.2 Ensayos, especificaciones y usos

Los ensayos son semejantes a los realizados en materiales destinados al mismo uso industrial. La normativa es la misma que la citada en calizas y arcillas respecto de los usos comunes.

- Análisis químico
- Determinación de la humedad
- Porcentaje de carbonatos
- Contenido de materia orgánica

A continuación se recoge, a modo de ejemplo, el análisis químico de una muestra tomada en la cantera El Sapillo de la localidad de Martos:

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PCC
Sapillo-1	22,46	6,06	2,48	0,12	32,70	1,30	1,44	0,74	-	32,70

Fuente: Archivos IGME

Como hemos comentado anteriormente, las aplicaciones de este material en la provincia de Jaén está limitada a la fabricación de cemento y sus derivados y a la cerámica basta (ladrillos y tejas). Sin embargo, las margas también pueden ser utilizadas en la elaboración de cales hidráulicas y lanas minerales.

Para cemento los porcentajes más favorables son los que contienen 35-60% de carbonato. En margas arcillosas un contenido en caliza entre el 25-35%.

### 3.10 Óxidos de hierro-Ocres

Los óxidos de hierro naturales incluye los minerales oxidados de hierro cuyo destino no es la industria siderúrgica, sino que se utilizan como pigmentos de alta densidad para pinturas, en la fabricación de cementos, morteros, vidrio, y, en menor medida, para esmaltes y fritas cerámicas, electrodos de soldadura o en electrónica. También se incluyen óxidos de hierro cuyo destino es la industria cementera, que en los últimos años están representando el mayor porcentaje de la producción nacional. La denominación genérica “ocre” corresponde a mezclas de óxidos de hierro hidratados con arcilla; se trata de minerales terrosos compuestos por óxidos de hierro: hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), goethita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y limonita ( $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). En general, es una combinación de uno o más óxidos ferrosos o férricos con impurezas tales como manganeso, arcillas y restos de orgánicos; también se obtienen óxidos de hierro naturales mediante la calcinación de pirita o siderita.

Su hipótesis genética revela que son depósitos originales de carbonatos que posteriormente sufren una serie de procesos geológicos tales como la meteorización, alteración, piritización y oxidación; después de la meteorización hay una sustitución de la cal por el hierro, pasando los elementos ferruginosos originales a estado de ocre. Sus leyes alcanzan el 90% en hierro.

En la provincia de Jaén aparecen en masas o filones de hematites de formas y dimensiones irregulares mezclada con arcillas, asociadas a las calizas triásicas de Facies Muschelkalk. Generalmente son mineralizaciones relacionadas con los bloques decamétricos de calizas y dolomías del Triásico superior que flotan en materiales arcillosos (depósitos olistostrómicos), aunque en otras ocasiones son mineralizaciones asociadas al contacto entre calizas y margas, al ser un plano favorable a la mineralización. El uso en la provincia ha quedado siempre limitado a pigmento natural.

#### 3.10.1 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Actualmente no existen explotaciones activas de ocres de hierro en la provincia de Jaén.



**Figura 28.** Panorámica del afloramiento y detalle de los ocres en niveles intercalados en calizas (Explotación de Torrequeradilla, Grupo Minerva).

En la tabla 31 mostramos un listado de todas las explotaciones que han sido abandonadas y los indicios. La última que hasta hace poco ha estado funcionando, aunque de forma intermitente, es la de Torrequebradilla (Figura 28)

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Cambil	451445	4169200	Pepe y otras	EB
Garcíez	460484	4192516	Santa Bárbara y Alberto	EB
Garcíez	423700	4188775		IN
Jaén	445100	4192950	Carboneros	EB
Jaén	441310	4192440	Minerva, La Merced y La Fortuna	EB
Jaén	426842	4192062	Amistad	EB
Jaén	427383	4190647		EB
Jaén	438712	4189963	Sorpresa	EB
Jaén	438330	4186715		EB
Jaén	437500	4185647		EB
Jaén	438783	4184010		IN
Jaén	440888	4193595	Grupo Minerva	EB
Martos	412303	4170401	San Antonio y Pura Obsesión	EB
Martos	412750	4168650	San Miguel El Alto	EB
Peal de Becerro	485343	4197334		EB
Pozo Alcón	501900	4175200		IN
Pozo Alcón	506700	4174650		IN
Torredelcampo	419472	4191905	Las Gemelas	EB
Torredelcampo	426484	4186519	Madrigales	EB
Torrequebradilla	442630	4197050	San Gregorio	EB
Torrequebradilla	441688	4196147		EB
Úbeda	478925	4187750		IN

Tabla 31: Explotaciones abandonadas e indicios de ocre en la provincia de Jaén  
IN: Indicio; EB: Explotación abandonada

### 3.10.2 Ensayos, especificaciones y usos

Los ensayos generalmente van destinados a conocer la composición mineralógica y química de los materiales muestreados; como ejemplo, se recogen algunos de los análisis químicos de algunas explotaciones abandonadas (tabla 32) donde en su momento fueron explotados los ocre de hierro.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	PCC
Amistad	7,62	1,76	6,48	-	4,62	2,18	0,28	0,23	-	0,07	0,87	5,92
Minerva	11,86	2,97	79,65	-	-	1,02	0,31	0,64	0,02	0,05	0,23	3,21
Las Gemelas	6,08	0,20	83,42	0,03	3,06	1,45	0,04	0,02	-	0,01	0,2	5,37
Santa Bárbara	13,67	3,86	10,57	-	22,98	15,08	0,32	0,26	-	-	-	32,22
Madrigales	7,12	2,24	84,92	0,130	0,791	1,341	0,430	0,930	-	0,14	0,035	3,92

Tabla 32. Resultados químicos de algunas de las muestras tomadas en explotaciones abandonadas

Las principales características a tener en cuenta son: capacidad de absorción de aceite (influye en el consumo de aglomerantes), área superficial (depende de la forma de las partículas, porosidad, tamaño de los poros, etc.), tamaño de grano y su distribución, así como la forma de influencia sobre las propiedades ópticas del pigmento.

A modo de ejemplo, las propiedades que presentan los óxidos naturales de la explotación de Torrequebradilla son:

- Óxido no contaminado ni tóxico
- Durabilidad y estabilidad a los agentes externos
- Preserva su solidez al mezclarse con cualquier sustancia
- Alto índice de absorción y bajo contenido en sales solubles en agua, propiedades que lo hace apto para su uso en pigmentos
- Antioxidante y anticorrosivo
- Aportan cohesión y estabilidad al producto al que se aplica
- Alto poder colorante de bajo costo
- Posee un bajo índice de  $\text{SiO}_2$
- Insoluble en agua y ácidos grasos inocuos

En relación a los usos, el óxido de hierro rojo natural es utilizado en una gran variedad de aplicaciones en la industria, aunque en la provincia de Jaén, estaba limitado a pigmento natural:

- Fábricas de pinturas: antioxidante y anticorrosivo de aceros estructurales, pintura impermeabilizante industrial, pintura de automóviles, barnices, esmaltes, etc.
- Coloraciones: tejas, plásticos, terrazos, baldosas, ladrillos, ladrillos refractarios, cementos, cerámicas, cartones, papel, P.V.C., materiales de construcción, productos de hormigón, asfaltos, pistas deportivas, canchas de tenis, piscinas, plastilinas, lápices, tintes para madera, crema para calzado, mosaicos, etc.
- Industria del caucho
- Abrasivos
- Ferodos
- Endurecedor de cementos, productos de hormigón, etc. Aditivos de alta densidad
- Fábricas de vidrio: para pulimentados y coloración de cristales
- Abonos
- Alimentación de animales, granjas avícolas, piensos, etc.
- Colorantes

### 3.11 Ofita

Las ofitas o doleritas son rocas subvolcánicas de composición intermedia entre los gabros, de estructura granuda, y los basaltos, microlíticos, de ahí que se suele decir que tienen composición gabro-basáltica y de textura característica con cristales entrecruzados. Generalmente se trata de grandes cristales de piroxeno (fundamentalmente augita) que engloban pequeños microlitos de plagioclasa, dando como resultado una textura en malla. La

roca es habitualmente masiva, de grano medio-fino, compacta, densa, de elevada dureza y color verde oscuro.

Las diabasas son como se conoce a las doleritas en particular, en la literatura anglosajona. También se utiliza para designar a las doleritas alteradas y de color verde.

En la provincia de Jaén son las ofitas del Keuper las que tienen interés industrial, constituyendo afloramientos homogéneos aislados, en forma de filones capa y/o lavas almohadilladas (pillow-lavas) englobados en arcillas triásicas correspondientes a los depósitos olistostómicos y al Triásico subbético.

Existen dos tipos de afloramientos:

- Ofita muy descompuesta, cuyo uso queda limitado como arenas para base de carreteras, ya que para la construcción presenta la desventaja de su alta proporción de finos. Su aspecto es parecido al lehm granítico.
- Ofita dura en superficie, su uso va destinado a árido para la construcción, firmes para carreteras y balasto en líneas férreas. Constituyen un material resistente a la fractura y al desgaste, con escasa alterabilidad y abravidad.

### 3.11.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes)

Las canteras de ofita se localizan al sureste de la provincia y por lo general suelen estar bastante descompuestas. Los datos de las tres explotaciones existentes, se recogen en la tabla 33.

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
			El Ceillo	EA
Alcalá la Real	421500	4144100	Utrilla	EI
Cárcheles	446400	4165900	Ofircasa y Guadalbullón	EA
			Guadalbullón	
Castillo de Locubín	411614	4152855	Los Chopos	EI
			La Memoria	EA

**Tabla 33:** Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes) de ofitas en la provincia de Jaén  
EA: Explotación activa; EI: Explotación intermitente

Fundamentalmente se usan para áridos naturales y áridos de machaqueo. El método de arranque es mediante retroexcavadora y ocasionalmente voladura, posteriormente se somete a un machaqueo y selección por tamaños, proceso similares a los áridos calizos y dolomíticos anteriormente mencionados.

### 3.11.2 Explotaciones mineras abandonadas e indicios

Las canteras abandonadas e indicios de ofitas quedan recogidas en la tabla 34

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Alcalá la Real	418520	4150850	El Retamar	EB
Alcaudete y Martos	404000	4166250	Las Viboras	IN
Cambil	450500	4169780		EB
Carchelejo	446800	4163250		IN
Hinojares	495585	4175340		IN
Jaén	437995	4185957		EB
Peal de Becerro	486055	4198695		EB

**Tabla 34.** Explotaciones mineras abandonadas e indicios de ofitas en la provincia de Jaén  
IN: Indicio; EB: Explotación abandonada

### 3.11.3 Ensayos, especificaciones y usos

Los ensayos establecidos para el uso de las ofitas como rocas de construcción son las siguientes:

- Estudio petrográfico
- Loseta pulida
- Resistencia a la compresión simple
- Absorción y peso específico
- Resistencia a las heladas
- Resistencia al desgaste por rozamiento
- Resistencia al choque
- Coeficiente de dilatación lineal térmica
- Módulo elástico
- Microdureza de Knoop

Los estudios petrográficos realizados en las ofitas de la provincia de Jaén muestran, habitualmente, las siguientes características: los fenocristales de plagioclasa se presentan zonados, siendo sus términos más frecuentes andesina y oligoclasa; suelen encontrarse alterada a sericita, clorita, prehnita y epidota. La augita, con propiedades titanadas y egrínicas, presenta un estado de alteración muy variable, siendo sus productos más frecuentes anfíbol, clorita, cianita y calcita. El olivino, otro de los componentes comunes en las ofitas, casi siempre aparece alterado a clorita e iddingsita (IGME, 1992).

Cuando la ofita es utilizada como árido de machaqueo, una vez machada y clasificada es sometida a una serie de ensayos:

- Granulometría
- Sustancias reactivas
- Estabilidad al sulfato magnésico

- compuestos de azufre
- Absorción de agua y peso específico
- Ensayo los ángeles
- Coeficiente de forma
- Equivalente en arena
- Partículas blandas

Cuando el uso está destinado para áridos para aglomerantes asfálticos, la ofita ha de tener una granulometría adecuada, sometiéndola a los siguientes ensayos:

- Ensayo de los Ángeles
- Adhesividad al betún
- Pulimento acelerado
- Absorción de agua y peso específico
- Estabilidad al sulfato magnésico.

En cuanto a las propiedades y usos de las ofitas, debido a su textura compacta y a su alta densidad es una roca muy resistente a la alteración. La ausencia de cuarzo en su composición hace que no sea abrasiva para la maquinaria.

Las principales propiedades de las ofitas son:

- Densidad entre 2,8-3,1 gr/cm<sup>3</sup>
- Resistencia a la compresión: 1.800-2500 kg/cm<sup>3</sup>
- Conductividad térmica: 500-560x10<sup>5</sup>

Su uso más común se encuentra en la construcción de taludes artificiales y escolleras. Otros usos menos frecuentes son la preparación de hormigones de alta densidad, requeridos para el blindaje frente a fuentes de radiación como Rayos X y reactores nucleares y, con menor frecuencia, en piedra de sillería, restauración de edificios históricos, etc.

### 3.12 Sal sódica-Halita

La halita o sal común es un mineral transparente y translúcido muy soluble en agua, cuya coloración varía en función del contenido en impurezas, como pueden ser la materia orgánica u otros minerales (arcillas, limos, yesos, anhídrita u óxidos). Está constituido por cloruro sódico (ClNa) con un 60,7% de Cl y 39,3% de Na. Posee un sabor salado característico, densidad de 2,19g/cm<sup>3</sup>, funde a 801°C y hierve a 1.440°C. La sal es esencial en la dieta de los seres vivos, desde siempre ha formado parte de nuestra cultura y ha estado presente en todas sus manifestaciones. Fue y sigue siendo un producto de consumo habitual, no sólo para el hombre, sino también para la alimentación del ganado. Se ha utilizado para la conservación de carnes y pescados, como condimento, con fines terapéuticos, industriales, ganaderos, por lo que ha existido en torno a esta sustancia un importante comercio.

El agua de mar es el reservorio mayor de sal, con reservas prácticamente inagotables, depósitos que proceden de la precipitación en cuencas marinas confinadas o cuencas continentales salobres. Las salmueras naturales subterráneas o superficiales son otro tipo de depósitos de sal, fuente de abastecimiento industrial que encontramos en la provincia de Jaén En uno u otro caso.

La obtención de la sal es mediante la evaporación del agua salobre mediante calentamiento, principalmente del Sol. Este método ha exigido la adaptación del medio, creando estructuras destinadas a aumentar la superficie de agua sometida a insolación, conocidas como salinas tradicionales, utilizadas desde la antigüedad. Las salinas forman un sistema hidráulico por el que circula el agua, utilizando la gravedad, o procedimientos mecánicos, como el uso de norias y sistemas de bombeo activados por energía eólica, animal, humana, de vapor o eléctrica

Los depósitos de halita de la provincia de Jaén son bolsas de disuasión de aguas procedentes de manantiales que pasan por niveles salinos relacionados con los yesos del Keuper. Se destina para uso alimentario doméstico e industrial y como aditivo.

#### 3.12.1 Explotaciones abandonadas e indicios

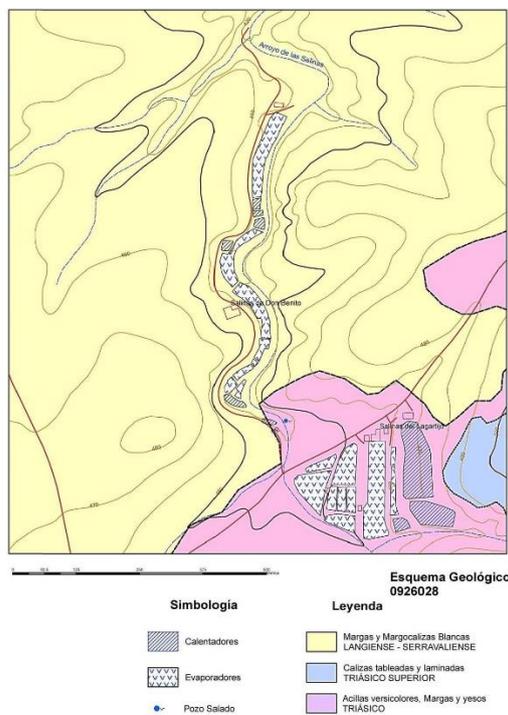
Actualmente en la provincia de Jaén no hay explotaciones activas de halita. En la tabla 35se recogen las explotaciones que hoy día se consideran abandonadas:

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Hinojares	500250	4173540	Salina la Chillar	EB
Jaén	440875	4192350	El Brujuelo	EB
Jaén	442592	4190249	Don Benito, San Luis y Santa Catalina	EI
Jaén	436296	4185890	Barranco Hondo	EB
Jaén	427200	4184800	San Luis	EB
Torrequibradilla	441299	4193579	San Carlos	EB
Hornos	484645	4194370		EB
Quesada	487600	4185200		EB

**Tabla 35:** Explotaciones mineras abandonadas de sal en la provincia de Jaén  
EI: Explotación Intermitente; EB: Explotación abandonada

Algunas de estas explotaciones funcionan de forma muy puntual, por lo que en el Registro Minero de la Junta de Andalucía no aparecen con mención de explotaciones activas.

El Alto Guadalquivir es una región que comprende básicamente la actual provincia de Jaén, en la que son muy abundantes los yacimientos salineros que han sido explotados históricamente. Las salinas más importantes y en su mayor número se encuentran en la Campiña. Un ejemplo de ellas, que merece especial mención, es la salina de Don Benito (figura 29), ubicadas en el término de Jaén, muy cerca del de Mancha Real, al pie del cerro Peñaflor, junto al castillo del mismo nombre. Estas salinas, como todas las de la zona, corresponden a surgencias de pequeño caudal y generalmente difusas en los cauces de los arroyos donde se ubican. Tres de ellas en el arroyo “Salado”, en alusión a la salinidad de sus aguas. Todas proceden de flujos subterráneos de agua a través del Trías del Complejo Caótico Subbético (olistostroma), que en contra de lo asumido tradicionalmente) constituye un acuífero de mediocre calidad hidrodinámica e hidroquímica, pero un acuífero de gran interés en relación con este tipo de manifestaciones, tales como humedales y surgencias salinas. Son de las más antiguas del Alto Guadalquivir, por lo que han estado muy vinculadas a la Historia. A mediados del siglo XIX, según la memoria elaborada por el Administrador, las salinas de Don Benito se abastecían de un manantial que proporciona sal muera en concentración de 26 grados. En esta época se le conocía como “mina”. Tenía ocho metros de profundidad, construida con muros y cubierta abovedada de mampostería por donde discurría un canal que conducía el agua, de donde salían cuatro ramales que la llevaban a los cuatro depósitos de almacenaje que tenía la salina.



**Figura 29.** Esquema geológico de los materiales asociados a las salinas de Don Benito (izquierda) e imágenes de las instalaciones (derecha)

### 3.12.2 Ensayos, Especificaciones y usos

A continuación recogemos un análisis de una muestra de la explotación de Hornos (en %).

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	PCC
HORNOS-2	0,30	0,01	0,39	<0,01	7,00	<0,5	0,19	49,74	3,88	1,20	fundido

Fuente: Archivos IGME

La sal común presenta una amplia gama de aplicaciones industriales (se mencionan hasta 16.000 usos directos e indirectos). Dentro de las principales aplicaciones cabe destacar el sector alimentario, la industria química y el deshielo de vías públicas.

- Industrias alimenticias y pesqueras (conservación), condimento para alimentación directa, conservación de alimentos frescos, elaborados para la preparación de pan, queso, productos lácteos, salazones, embutidos, etc. En los usos alimentarios humanos se aprovechan las cualidades de la sal como deshidratante, saborizante, potenciador del gusto, regulador de la fermentación, inhibidor de las enzimas, bactericida, gelificante, reforzador del color de los productos, y, obviamente, su bajo precio.
- Tratamientos de aguas, rebaja el exceso de calcio y magnesio de las “aguas duras”.
- Tintorería, concretamente el enjuague en la industria textil (separación de los contaminantes orgánicos y la regulación de la concentración del tinte mediante salmueras de ClNa concentradas.
- Productos químicos, el sector industrial de química de base absorbe del orden del 58% de la producción mundial de sal común. De este porcentaje un 36% se destina a la elaboración de compuestos cloroalcalinos (cloro, sosa caustica) y de “soda-ash” (carbonato sódico).
- Alimentación del ganado, siendo la sal el alimento directo para el ganado, comercializándose en biquetas o granulados, e interviene en la fabricación de piensos, fertilizantes, pesticidas u otros compuestos de uso agrícola.
- Deshielo de vías públicas (autopistas, carreteras, áreas urbanas, vías férreas, aeropuertos, etc.), habitual en los países de determinada latitud geográfica, supone alrededor del 13% de la producción mundial. En esta aplicación no se requiere ninguna materia prima de especial calidad, siendo aptos granulados que superen el 5% en peso de impurezas (yeso, arcilla, dolomita o cuarzo): La distribución de granos de sal sobre las superficies heladas favorece la licuación del hielo, al provocar un descenso del punto de congelación de incluso 6°C, con lo que se modifica el campo de estabilidad del agua en fase sólida a favor del agua en fase líquida.
- Cerámica.
- Vidrio.
- Refrigeración.
- Curtiembre.

La calidad del cloruro sódico se define por su “grado químico”, de alimentación u otros (ver tabla 36). Las especificaciones para la sal comercial suelen ser determinadas por las propias industrias consumidoras nacionales, de acuerdo con las necesidades del mercado internacional.

<b>Contenidos mínimos</b>	<b>95,5% en ClNa</b>
<b>Contenidos máximos</b>	<b>2,5% en humedad</b>
	<b>0,1% en Ca, Mg, K</b>
	<b>0,5% en insolubles</b>

**Tabla 36:** Especificaciones de la sal de “grado químico”

### 3.13 Pirofilita

La pirofilita es un filosilicato de aluminio, de origen hidrotermal, cuya fórmula química es  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ . Su coloración varía de incolora a blanca, amarilla o verdosa, con raya blanca y baja dureza (1-1,5), de transparente a translúcida, untuosa al tacto, con brillo vítreo, nacarado en las caras de exfoliación y presenta exfoliación perfecta, con una estructura similar a la del cuarzo. Nunca se presenta en forma de cristales separados; en general, en laminillas o en agregados foliáceos, radiados.

En la fecha en que se escribió la primera memoria, se recogía en el norte de la provincia de Jaén, concretamente en Chiclana de Segura, un indicio de pirofilita. Está asociado a las filitas paleozoicas de la Zona Centroibérica. Su formación se debe al ataque, por soluciones ácidas, que sufren estas rocas aluminosas dando lugar a este tipo de minerales de alteración. Se presenta en escamas, fibras, láminas de exfoliación flexible pero no elástica.

La información aportada por la Junta de Andalucía nos indica que aparece como concesión derivada de explotación, otorgada en 2011 (tabla 37).

Término Municipal	Explotación	Empresa Explotadora	Título del Derecho	Estado	X_UTM	Y_UTM
Chiclana de Segura	Jaén	Cerámica las Losas, S.L.	Concesión derivada de explotación	Otorgado	503141	4242099

**Tabla 37.** Concesión para la explotación de pirofilita en el término municipal de Chiclana de Segura

El interés de esta explotación es para la industria cerámica, pues su plasticidad y comportamiento fundente lo hace especialmente eficaz en la fabricación de pavimentos gresificados de pasta blanca, con baja absorción de agua. Se usa para darle a la arcilla blancura y textura.

#### 3.13.1 Propiedades y usos

Es muy blanda, ligera, perfectamente exfoliable; las laminillas son flexibles pero no elásticas; es prácticamente insoluble y se separa en hojas muy delgadas durante el calentamiento. Difícilmente se puede diferenciar del talco si no se recurre a ensayos químicos o bien a los rayos x. Presenta cierta debilidad al ataque por ácidos y es fluorescente a los rayos ultravioleta con coloración blanca amarillenta.

Se utiliza como lubricante en seco, aislante térmico y eléctrico, fabricación de papel, goma, jabones, cerámica, textiles, etc.

### 3.14 Yeso

El yeso, sulfato de calcio hidratado ( $\text{SO}_4\text{Ca}2\text{H}_4\text{O}$ ), es un mineral de origen sedimentario. Se presenta compacto o terroso, generalmente blanco, aunque su color varía dependiendo de la naturaleza de sus impurezas; tiene la propiedad de endurecerse rápidamente cuando se amasa con agua. Cuando es un sulfato de calcio anhidro, se denomina anhidrita.

La provincia de Jaén cuenta con unas importantes reservas de yeso. Las explotaciones aparecen asociadas a los afloramientos del keuper, que en la mayoría de los casos se encuentran como olistolitos de yeso de las Depresión del Guadalquivir flotando en arcillas o como paquetes de yeso del Triásico subbético.

En la provincia de Jaén se pueden distinguir tres tipos de yesos:

1. Yeso sacaroideo blanco. Es el más puro y aflora en forma de grandes masas; es el que se extrae actualmente.
2. Yeso fibroso. Muy abundante, aunque se ha dejado de explotar por su alto contenido en impurezas.
3. Yeso rojo o gris con arcilla. Presenta los mismos problemas que el fibroso.

Al ser la calidad de estas sustancias muy variable es muy necesario llevar un riguroso control de calidad para asegurarnos el material más adecuado.

Los factores que controlan la explotabilidad de los recursos son los siguientes:

- Volumen mínimo explotable: 50.000 t.
- Ratio (Relación espesor cobertera/capa explotable) $<12$
- Espesor mínimo explotable: 1 m

#### 3.14.1 Explotaciones mineras activas (continuas e intermitentes)

Las explotaciones activas en la provincia de Jaén se localizan fundamentalmente en el sur de la provincia y se resumen en la tabla 38.

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Alcaudete	406382	4164950	Fuente de la zarza	EA
Alcaudete	398986	4163352	Tumbalagraja	EA
Huesa	491050	4179950	Las Cabañas	EA
Jaén	435512	4184190	El Duende	EA
Martos	409977	4177375	Aranda	EA
Torredonjimeno	412000	4182340	Valero	EA

**Tabla 38:** Explotaciones mineras activas de yeso en la provincia de Jaén  
EA: Explotación activa

En todas las explotaciones el método de arranque se lleva a cabo por medio de voladuras convencionales y pala mecánica. A continuación, se tritura con machacadora de mandíbulas y se muele. Posteriormente se cuece en el horno y, por la acción del fuego, se deshidrata y finalmente se somete a una molienda de refino.

El uso más frecuente es como yeso, para su empleo en construcción, para el revestimiento de paredes, también es utilizado en la elaboración de prefabricados de yeso (escayolas) y en cementos.

### 3.14.2 Explotaciones abandonadas e indicios

Las explotaciones abandonadas de yesos en la provincia de Jaén son muy numerosas (tabla 39). Solían ser pequeños sacaderos cercanos a los núcleos de población. Fueron abandonados en su mayoría por su baja rentabilidad al tener un alto porcentaje de impurezas.

Término Municipal	X_UTM	Y_UTM	Nombre de la Explotación	Estado
Alcalá la Real	424900	4142100	Medianil	EB
Alcaudete	403647	4169265	Chorreras	EB
Alcaudete	399800	4165600	San Alejandro	IN
Arbuniel	451110	4165170		EB
Bélmez de la Moraleda	468650	4178000	Toriles	EB
Bélmez de la Moraleda	467630	4176895	Corral de Pedro El Cojo	EB
Cabra del Santo Cristo	479625	4181450		EB
Cambil	450670	4169239	Los Yesos	EB
Carchelejo	445510	4166240	Santo María	EB
Castellar de Santisteban	487850	4234650		EB
Cazalilla	422600	4199065		EB
Cazorla	492042	4200997		EB
Garcéz	459840	4192027	Yesera Garcéz	EB
Garcéz	461892	4191383		EB
Garcéz	461732	4191340	Los Agolares, San Matías	EB
Garcéz	462162	4191338		EB
Garcéz	462309	4191297		EB
Huelma	463695	4168230		EB
Huesa	493750	4176450		EB
Jaén	435812	4183561	Cuevas Oscuras	EB
Jaén	437560	4184090		EB
La Puerta de Segura	520150	4244600		EB
Larva	479800	4179050		EB
Mancha Real	446275	4147705	Barreras	EB
Mancha Real	448258	4189923	Las Peñuelas	EB
Martos	413450	4167300		EB
Navas de San Juan	473037	4227256		EB
Peal de Becerro	486710	4198385	San Manuel	EB
Pegalajar	442826	4174567		EB
Pegalajar	443454	4174500		EB
Pegalajar	442580	4174370		EB
Pegalajar	443200	4174335		EB
Pegalajar	443183	4174316		EB
Pozo Alcón	501540	4171975		EB
Quesada	497815	4179065		EB
Quesada	485200	4186550		EB
Torredelcampo	424854	4186194	Cartijo del Término	EB
Torredelcampo	421925	4182794	Sumidero	EB
Torredonjimeno	413208	4184289	Peñascosas	EB
Torredonjimeno	413156	4183641		EB
Torredonjimeno	403277	4180287	Piedra Cuca	EB
Torrequebradilla	444186	4197413	Cueva Raya, Cantera Vieja	EB

			y Sierrezuela	
Torrequibradilla	443105	4196442	Virgen de la Esperanza	EB
Torrequibradilla	442975	4196400	Serrezuela y Santo Domingo	EB
Villardompardo	410743	4190606		EB
Villardompardo	409100	4189400		IN

**Tabla 39.** Explotaciones mineras de yeso abandonadas e indicios

### 3.14.3 Ensayos, especificaciones y usos

Las propiedades físicas del yeso, tales como dureza, densidad, solubilidad y comportamiento térmico, están condicionadas por su composición química. El yeso, al ser calentado a una temperatura de 190-200°C pasa a la forma semihidratada y al ser hidratado de nuevo, cristaliza y se endurece fraguando, de ahí su uso industrial. El caso de la anhidrita es inerte a esas temperaturas. En la tabla 40 se muestran las características del yeso y la anhidrita

Muestra	CaO	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Dureza	Peso Específico
Yeso	32,6	46,5	20,9	2	2,32
<b>Anhidrita</b>	<b>41,2</b>	<b>58,8</b>	-	<b>3-3,5</b>	<b>2,89-2,98</b>

**Tabla 40.** Características del yeso y la anhidrita

Las composiciones químicas de algunas extracciones activas de yeso, quedan recogidas en la tabla 41

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PCC
Fuente de la Zarza*	2,90	0,58	1,30	-	30,60	0,62	ind	ind	43,66	20,28
Aranda**	5,08	0,72	0,44	-	29,45	2,83	0,16	0,07	39,68	21,57
Tumbalagraja*	0,42	-	0,06	-	32,28	0,12	-	-	46,8	20,84
Las Cabañas**	0,75	0,32	0,10	-	32,26	0,40	0,06	0,05	37,11	28,95
Valero*	5,08	0,72	0,44	-	29,45	2,83	0,16	0,07	39,68	21,57

**Tabla 41.** Análisis químicos de varios yesos de la provincia de Jaén (%)

\*Fuente: Delegación provincial de Minas, Jaén (2018)

\*\*Fuente: Registro IGME

ind.: indicios

Los ensayos a los que se someten los yesos son los siguientes:

- Análisis químico
- Ensayos de calcinación
- Difracción de R-X
- Humedad

En cuanto a las especificaciones y normativas, la Norma UNE 41-169-73 regula la clasificación y características de la piedra de yeso:

Clase	% mínimo de CaSO <sub>4</sub> (2H <sub>2</sub> O)	% mínimo de H <sub>2</sub> O cristalizada	Humedad
I Extra	95	19,88	<4%
II	90	18,83	<4%
III	80	16,74	<4%
IV	70	14,65	<4%
V	60	12,56	<4%

Tipo	Granulometría	Tolerancia
1	0-20 mm	Hasta 5%>20 mm
2	20-50 mm	Hasta 5%>50 mm
3	50-150 mm	Hasta 5%>150 mm y 20%>50 mm
4	0-150 mm	Hasta 5%>5 mm
5	0-300 mm	-

La O.M. de 31 de Mayo de 1985 (BOE nº 128, de 10 de Junio) especifica el pliego General de condiciones para la recepción de yesos y escayoles en las obras de construcción, anulando las normas UNE 102-101 y 102-011. En ella se establecen los siguientes tipos y características:

YG: Yeso grueso

YF: Yeso fino

YP: Prefabricados

E-30: Escayolas

E-35: Escayola especial

Características	YG YGGGL	YF YF/L	YP	E-30 E-30/L	E-35 E-35/L
<b>QUÍMICAS</b>					
Agua combinada (% máximo)	6	6	6	7	7
Índice de pureza (contenido teórico total de sulfato de calcio y agua) % mínimo	75	80	85	90	92
Sulfato de calcio semihidratado (SO <sub>4</sub> Ca <sub>2</sub> 1/2H <sub>2</sub> O)% mínimo	-	-	-	85	87
Ph mínimo	6	6	6	6	6
<b>FINURA DE MOLIDO</b>					
Retención en el tamiz 0,8 UNE 7,050 %máximo	-	-	-	0	0
Retención en el tamiz 0,2 UNE 7,050 %máximo	50	15	30	5	1
Resistencia mecánica a flexotracción, mínima en Kp/cm <sup>2</sup> (MPa)	20(2,0)	25(2,5)	30 (3,0)	30 (3,0)	35 (3,5)
<b>TRABAJABILIDAD</b>					
Tiempo en pasar del estado líquido al plástico, máximo en minutos	8:20	8:20	8	8:20	8:20
<b>Duración del estado plástico, mínimo en minutos</b>	<b>10:30</b>	<b>10:30</b>	<b>10</b>	<b>10:30</b>	<b>10:30</b>

Tabla 42. Características de los diferentes tipos de yeso comercial.

Los usos del yeso son diferentes en función de su estado:

#### Yeso crudo

- Ornamentación, uso del alabastro (variedad de yeso masivo de grano fino)
- Agricultura, como corrector de suelos (en fertilizantes y abonos)
- Cemento, como retardador del fraguado
- Industria química, para dar dureza permanente y para obtención del sulfato amónico
- Otros usos: enología, farmacia, papel, algodón, pinturas, minería del carbón, metalurgia, etc.

### **Yeso calcinado**

Se clasifica en dos grandes grupos: materiales para la construcción y yesos industriales donde la evolución, en referencia a su desarrollo tecnológico, es muy distinta.

Materiales para la construcción:

- Productos en polvo, de bajo valor añadido y consumo local
- Yesos tradicionales, de aplicación manual con requisitos de calidad bajos
- Yesos aligerados, al ser mezclados con perlita o vermiculita adquieren una mejor aplicación y optimizan su capacidad de aislamiento térmico y acústico
- Yesos de proyectar, una vez aplicados son los de mayor calidad, preparados con incorporación de aditivos
- Yesos para solados, producto desarrollado a base de morteros de anhidrita autonivelantes para suelos
- Pegamentos, yesos con aditivos para acabar trabajos con prefabricados
- Productos prefabricados, caso del tabique de cartón piedra, altamente demandado en la actualidad

Yesos industriales:

Producto en polvo de elevada pureza y mayor valor añadido utilizados en procesos industriales donde el método de cocción es diferente. Los sectores que consumen estos productos son:

- Cerámica, para la fabricación de moldes, modelos y matrices
- Cargas, en la industria del papel, pinturas y emplastes
- Sanitario y dental, para vendas impregnadas o moldes dentales
- Decoración, para la fabricación de molduras

La anhidrita se viene aprovechando desde hace poco tiempo en España, su principal ventaja es su buena relación calidad/precio en sus aplicaciones, aunque no se conoce el caso de producción alguna en la provincia de Jaén.

La anhidrita comercial puede ser natural o sintética, cuya diferencia radica en el tamaño de sus cristales. La natural tiene cristales grandes, por lo que es necesario molerla para que sean reactivos y, la sintética, tiene cristales muy pequeños. La anhidrita se transforma por hidratación en yeso dihidratado teniendo muchas aplicaciones similares a las del yeso, aunque su fraguado es extremadamente lento, acelerándose generalmente con un activador alcalino como la cal, el cemento Portland o el sulfato potásico.

Los productos elaborados tienen mucha aplicabilidad en el sector de la construcción. Cabe destacar la fabricación de pastas autoniveladoras para pavimentos, morteros de grava-anhidrita para bases y subbases de firmes y caminos, sallado de vertederos, estabilización de suelos contaminados, etc. Su lento fraguado se aprovecha para retardar el fraguado del Clinker.

#### 4 REFERENCIAS

**Arias, C., García Hernández, M., López Garrido, A.C., Martín Algarra, A., Martín Chiviler, J., Molina, J.M., Rivas, P., Ruiz Ortiz, P.A., Sanz de Galdeano, C. y Vilas, L. (2004):** Las Zonas Externas Béticas y el Paleomargen Sudibérico. *Geología de España* (Vera, J.A., Ed.). *SGE-IGME*, 354-361. Madrid, España.

**Bernal Dueñas, A., García Ramos, G., González García, F., Justo, A. y Pérez Rodríguez, J.L. (1977):** Arcillas cerámicas de Andalucía: 11. Yacimientos terciarios y cuaternarios de la margen derecha del Guadalquivir en la provincia de Jaén. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio* 16: 353-360

**Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción (CEPCO):** [http://www.cepco.es/Uploads/docs/Informe\\_Coyuntura\\_CEPCO\\_Enero\\_2018.pdf](http://www.cepco.es/Uploads/docs/Informe_Coyuntura_CEPCO_Enero_2018.pdf)

**Díaz Rodríguez, L.A. y Torrecillas, R. (2002):** Arcillas Cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio* 41, 459-470

**Doménech, V., Sánchez, E., Sanz, V., García, J. y Ginés, F. (1994):** Estimación de la plasticidad de masas cerámicas mediante la determinación de la fuerza de indentación. *Congreso Mundial de la Calidad del Recubrimiento Cerámico Qualicer 94*, 61-71

**Fiori, C., Fabbri, B., Donati, G. y Venturi, I. (1989):** Mineralogical composition of the clay bodies used in the Italian industry. *Appl. Clay Sci.* 4, 461-474.

**Galán, E. y Aparicio, P. (2005):** Materias primas para la industria cerámica. *Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía* 2. 31-49.

**Galán Arboledas, R.J., Merino, A. y Bueno, S. (2013):** Utilización de nuevas materias primas y residuos industriales para mejorar las posibilidades de uso de los materiales cerámicos del área de Bailén (Jaén). *Materiales de construcción* Vol. 63, 312, pp. 553-568.

**García-Cortés, A. (Ed. Ppal.) (2011):** Cartografía de recursos minerales de Andalucía. IGME-Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Madrid, 608pp (367-373)

**González, I. (1992):** Arcillas comunes. Recursos minerales de España (García Guinea, J. y Martínez Frías, J., Ed.), 82-95. Madrid, España.

**González, I. (2001):** Materias primas del área de Bailén. Impacto ambiental de explotaciones. *Materias Primas y Métodos de Producción de Materiales Cerámicos*, 67-85.

**González, I., Galán, E., Miras, A. y Aparicio, P. (1998):** "New uses for brick-making clay materials from the Bailén area (southern Spain)". *Clay Minerals*, vol. 33, nº3, pp.453-456.

**Guggenheim, S. y Martin, R.T. (1995):** Definition of clay and clay minerals: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay minerals*, vol. 43, Nº 2, pp. 255-256.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1970a).**Anteproyecto de investigación de minerales de hierro en las provincias de Córdoba y Jaén. IGME (Informe inédito 10417). Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1970a).**Inventario de explotaciones de rocas industriales. Ministerio de Industria. IGME, Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1974a).**Hoja nº 77 (Jaén). Mapa de Rocas Industriales, E. 1:200.000. Serv. Public. Min. Industria. IGME, Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1974b).**Hoja nº 78 (Baza). Mapa de Rocas Industriales, E. 1:200.000. Serv. Public. Min. Industria. IGME, Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1976a).**Hoja nº 70 (Linares). Mapa de Rocas Industriales, E. 1:200.000. Serv. Public. Min. Industria. IGME, Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1976b).**Hoja nº 71 (Villacarrillo). Mapa de Rocas Industriales, E. 1:200.000. Serv. Public. Min. Industria. IGME, Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1976):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 884 (La Carolina).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1976):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 885 (Santisteban del Puerto).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1977):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 905 (Linares).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1991):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 927 (Baeza).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1991):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 970 (Huelma).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1992):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 969 (Valdepeñas de Jaén).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1994):** *Mapa Geológico de España E:50.000. Hoja 928 (Cazorla).* Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

**IGME (2006).** Caracterización de patologías de piedras en monumentos históricos en la comarca de la Loma (Úbeda-Baeza). Centro Documental del IGME, Documento inédito. 62 pp.

**IGME (2018):** Base de datos de Recursos Minerales del IGME (BDMIN)  
<http://doc.igme.es/bdmin/>

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1981):** Reconocimiento del potencia de diatomitas en las provincias de Jaén y Almería. IGME (informe inédito 10765). Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1982a):** Investigación geológica y tecnológica de los yesos de Andalucía. IGME (informe inédito 10839). Madrid, España.

**IGME (Instituto Geológico y Minero de España, 1982b):** Prospección de granitos ornamentales en las provincias de Córdoba, Huelva, Jaén y Sevilla. IGME (informe inédito 10872). Madrid, España.

**ITGE (1989):** Manual de metodología para la elaboración de los Mapas de Rocas y Minerales Industriales Escala 1:200.000, Madrid, España, 402 pp.

**ITGE (1989):** Inventario Nacional de Recursos del Estroncio. Ministerio de Industria y Energía. Secretaría General de Energía y Recursos Minerales, 119 pp.

**ITGE (1989):** Manual de metodología para la elaboración de los Mapas de Rocas y Minerales Industriales Escala 1:200.000, Madrid, España, 402 pp.

**Junta de Andalucía (2018):** Portal andaluz de la minería.  
<http://www.juntadeandalucia.es/economiainnovacioncienciayempleo/pam/Inicio.action>

**Ministerio para la Transición Ecológica (2018):** Estadística Minera de España.  
<http://www.mincotur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/Consulta.aspx>

**Molfuleda Borrel, J. (1999):** Minerales de España. Ed. Carroggio, S.A. Barcelona, España. 319 pp

**Pérez-López, A. y Sanz de Galdeano, C. (1994):** Tectónica de los materiales triásicos en el sector central de la Zona Subbética (Cordillera Bética). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7 (1-2): 141-153.

**Ruiz Ortiz, P.A. (1981):** Sedimentación turbidítica en el Cretácico de las Unidades Intermedias. Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. *Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG) 2*: 261-279.

**Vázquez, M. (2004):** Posibilidades de uso cerámico de los minerales y rocas industriales de la provincia de Jaén. Tesis doctoral. Universidad de Jaén. 242 pp.

**Vázquez, M. y Jiménez-Millán, J. (2004):** “Materias primas ricas en arcilla de las Capas Rojas Triásicas (Norte de Jaén, España) para fabricar materiales cerámicos de construcción”, pp.5-20.; vol. 54, nº273

**Vázquez, M., Jiménez-Millán, J. Sánchez-Jiménez, C. y Parras, J. (2003):** “Composición y propiedades cerámicas de pizarras de la Zona Centro Ibérica del Macizo Ibérico (norte de Jaén, España)”, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*, vol. 42, nº4, pp.215-221.

**Vázquez, M. y Jiménez-Millán, J. (2009):** “Aplicabilidad de las margas de la Cordillera Bética (sur de la provincia de Jaén) para la fabricación de baldosas cerámicas prensadas”, *Mater. Construcc.*, vol. 59, nº 294, pp. 97-112.

**Vázquez Vílchez, M. (2002):** Posibilidades de uso cerámico de los minerales y rocas industriales de la provincia de Jaén. Tesis Doctoral. Univ. de Jaén, 242 pp. Jaén, España.

**Vera, J. A. (Editor) (2004):** Cordillera Bética y Baleares. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 346-464.

**Viseras, C., Soria, J.M. y Fernández, J. (2004):** Cuencas Neógenas Postorogénicas de la Cordillera Bética. *Geología de España* (Vera, J.A., Ed.). *SGE-IGME*, 576-581. Madrid, España.