

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA



ESTUDIO GEOECONÓMICO DE FORMACIONES YESÍFERAS DE LA
ESPAÑA PENINSULAR CON POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN MINERA
PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

TESIS DOCTORAL DE:

JOSÉ IGNACIO ESCAVY FERNÁNDEZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

**MARÍA JOSEFA HERRERO FERNÁNDEZ
MANUEL BUSTILLO REVUELTA**

Madrid, 2013

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

Departamento de Petrología y Geoquímica



TESIS DOCTORAL

**Estudio geoeconómico de formaciones yesíferas de
la España peninsular con potencial de explotación
minera para aplicaciones industriales**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

José Ignacio Escavy Fernández

Directores

María Josefa Herrero Fernández

Manuel Bustillo Revuelta

Madrid, 2013



Departamento de Petrología y Geoquímica

Facultad de Ciencias Geológicas

Universidad Complutense de Madrid

TESIS DOCTORAL

**Estudio geoeconómico de formaciones yesíferas de
la España peninsular con potencial de explotación
minera para aplicaciones industriales**

José Ignacio Escavy Fernández

Madrid, Septiembre de 2013



Departamento de Petrología y Geoquímica

Facultad de Ciencias Geológicas

Universidad Complutense de Madrid

Estudio geoeconómico de formaciones yesíferas de la España peninsular con potencial de explotación minera para aplicaciones industriales

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Geología por

José Ignacio Escavy Fernández

Madrid, septiembre de 2013

Esta Tesis Doctoral ha sido realizada en el Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección de los profesores María Josefa Herrero Fernández y Manuel Bustillo Revuelta

VºBº

Dra. María Josefa Herrero Fernández

VºBº

José Ignacio Escavy Fernández

Dr. Manuel Bustillo Revuelta

AGRADECIMIENTOS

A mi mujer y a mi hija por todo el tiempo robado, por las mañanas de fin de semana acompañándome en la Facultad, por los rollos aguantados sobre el apasionante mundo de los yesos, por los kilómetros recorridos para ir a ver yesos ocultos en lugares remotos, etc. Sin ellas, este trabajo no habría salido adelante. Al resto de mi familia por su apoyo y ejemplo continuo (María Dolores, Luisa, Isabel, Alfonso, Conrado, Fran, José Antonio, Juan Carlos, Sergio, Laura, etc.).

A mis directores de Tesis, Pepa Herrero y Manuel Bustillo, por transmitirme sus conocimientos y por sus oportunos consejos, su guía, su apoyo, sus críticas siempre constructivas y las correcciones siempre necesarias. Gracias.

A José Andrés y María Eugenia por todo lo que me han enseñado, por su apoyo y su ayuda (científica y emocional), acompañándome desde el principio en este apasionante viaje que me ha permitido aprender y desarrollarme humana y científicamente. A Fale por toda su ayuda logística y todo su ánimo y apoyo. Thanks to Robbie R. Gries for all the help and support.

A todos los maestros de los que he aprendido, desde el colegio hasta la universidad, pero sobre todo a aquellos que han querido que aprendiera. En la cultura india, la casta superior y más respetada es la de los brahmanes, formada por los maestros, académicos y sacerdotes. En segundo lugar está la casta de los chatrias, formada por los políticos y militares. Mi más sincero agradecimiento a todos los buenos maestros con los que he tenido la suerte de coincidir.

Al Departamento de Petrología y Geoquímica y a la Universidad Complutense de Madrid por acogerme y darme acceso a todos los recursos que he necesitado para la realización de este trabajo. Especial reconocimiento a Beatriz, Isabel y Miguel Ángel, por su ayuda administrativa y logística durante estos casi cuatro años y al personal del laboratorio, Carmen, Marian y Pedro, porque aún son capaces de hacer su trabajo con ilusión y cariño y eso se refleja en el resultado. Con su imaginación hemos sido capaces de superar retos casi imposibles.

Al Instituto Geológico y Minero de España, por la voluntad y el esfuerzo para ofrecer públicamente la información de que dispone y en particular a Carmen Marchán, sin duda una de las personas que más sabe de la minería de España, por su desinteresado apoyo desde el comienzo de esta investigación.

A Lafarge Cementos, como empresa, por proveer el necesario maná que ha hecho posible desarrollar este trabajo, y a sus geólogos y ex geólogos directamente implicados en este proyecto: Laura Martín, Pilar Gegundez, Raúl Pérez y Manuel Sánchez.

A una infinidad de empresas por compartir generosamente información y dejarme visitar sus instalaciones (Yesos Albi, Saint-Gobain Placo, Algiss, Aminsá, etc.). A la gente de SAMCA, capitaneada por Francisco Gonzalo, por estar siempre al otro lado del teléfono y estar dispuestos a ayudarme a entender los sistemas evaporíticos de la Península Ibérica.

A mis primigenios maestros de las Rocas Salinas en la carrera, José Andrés de la Peña, Salvador Ordoñez y José Pedro Calvo, por intentar transmitirme su conocimiento, aunque sólo fuera capaz de asimilar una mínima parte. Gracias también al resto de profesores que participaron en mi formación en aquella extinta

especialidad de Petrología Exógena por su generosidad a la hora de transmitir sus conocimientos: Rafaela Marfil, María Eugenia Arribas, José Arribas, María José Pellicer, etc. A Carlos Rossi, por su ayuda con los temas relacionados con la preparación de las muestras (“cacharreo” *sensu lato*).

A la Universidad de la Lorena (Université de Lorraine) y en particular al Laboratorio G2R (Géologie et gestion des Ressources Minérales et Energétiques) por acogerme para la realización de una estancia de investigación, y en particular al Proff. Luis Martínez y al director del centro Proff. Jacques Pironon por ayudarme a hacer la estancia lo más productiva posible. Un saludo a mis compañeros del Barrio Latino del Laboratorio G2R Francisco de la O, Josué Enciso y Silvia. Merci beaucoup!

A todas las instituciones públicas y privadas españolas que han alimentado con datos esta Tesis con sus informes y bases de datos abiertas: Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (Oficemen), Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY), Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA), Instituto Nacional de Estadística, Ministerio de Fomento, Ministerio de Industria Energía y Turismo, Ministerio de Economía y Competitividad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y el Banco de España. De la misma forma agradecer al United States Geological Survey (USGS), World Bank y a la Comisión Europea todos los datos que ofrecen libremente, indispensables para poder realizar un trabajo como este.

Especial mención para D. Juan Pedro Luna, Jefe de Área de Minas e Instalaciones de Seguridad de la Comunidad de Madrid, D. José Benito Solar Menéndez, Jefe del Servicio de Promoción y Desarrollo Minero de la Dirección General de Minería y Energía (Consejería de Economía y Empleo del Principado de Asturias) y D^a. M^a del Mar Trapote Redondo del Servicio de Energía, Minas y Seguridad Industrial (Dirección General de Industria, Empresa e Innovación del Gobierno de Navarra),

por el tiempo que me han dedicado y por toda la información sobre derechos mineros de yeso en sus respectivas Comunidades Autónomas.

A todas esas personas con las que me he cruzado durante la realización de este trabajo y que me han ayudado sin pensarlo dos veces (Jesús del taller de Geodinámica, Conchi e Inma del IGME, etc.).

A mis compañeros doctorandos de despacho (por orden de aparición, que no de desaparición) Vera, Verónica, Javier, M^a Carmen, Richard, Ángela, Ainara y Álvaro. Gracias también a los doctorandos del despacho de enfrente (por orden de antigüedad, que no de edad) Rebeca, Alicia, Emilio, Kike y Silvia. A todos ellos, agradecerles su acogida, pese a lo atípico de su compañero. Un hueco especial en mi corazón para aquellos con los que he compartido horas y horas (algunas de trabajo y otras no) que son por orden alfabético: Alicia, Cristina, Kike, M^a Carmen y Silvia.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
ÍNDICE	5
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos y justificación de la investigación	14
1 INTRODUCTION AND OBJECTIVES	17
1.1 Introduction	17
1.2 Research objectives	21
2 METODOLOGÍA	23
2.1 Localización del yeso en España	23
2.2 Estudio económico del mercado del yeso	24
2.3 Estudio geoeconómico del mercado del yeso	26
2 METHODOLOGY	29
2.1 Delineation of gypsum outcrops in Spain	29
2.2 Economic analysis of the gypsum and plaster markets	30
2.3 Geoeconomical analysis of the gypsum and plaster markets	32
3 ANTECEDENTES	35
3.1 El yeso	35
3.2 El uso del yeso en la historia	36
3.3 Proceso de fabricación del yeso	41
3.4 Exploración del yeso	42
4. LOS RECURSOS DE YESO DE ESPAÑA	43
4.1 Introducción	43
4.2 Los derechos mineros de yeso en España	48
4.3 Escavy, J.I., Herrero, M.J. and Arribas, M.E. (2012). Gypsum resources of Spain: Temporal and spatial distribution. Ore Geology Reviews (49): 72-84	53
4.4 Resultados parciales	67
5. EL MERCADO DEL YESO EN LA ESPAÑA PENINSULAR	69
5.1 Introducción	69
5.2 Herrero, M.J., Escavy, J.I. and Bustillo, M. (2013). The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry Production (1998-2012). Resources Policy (38): 123-129	72
5.3 Actualización de los resultados	80
5.4 Resultados parciales	83

6. ESTUDIO GEOECONÓMICO DEL MERCADO DEL YESO DE LA ESPAÑA PENINSULAR	85
6.1 Introducción	85
6.2 Escavy, J.I. and Herrero, M.J. (2013). The use of location-allocation techniques for exploration targeting of high place-value industrial minerals: A market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources. <i>Ore Geology Reviews</i> (53):504-516	88
6.3 Resultados parciales	102
7. CONCLUSIONES	105
7.1 Relevancia de los resultados	109
7.2 Futuras líneas de investigación	110
7. CONCLUSIONS	111
7.1 Relevance of the results	115
7.2 Proposed future research lines	116
8. BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS/ANNEXES	
A.1.- Fábricas de yeso y escayola en España	139
A.2.- Fábricas de placa de yeso en España	171
A.3.- Listado de derechos mineros en España para el recurso “yeso”	177
A.4.- Resumen en inglés (ART. 10.2, Normativa de desarrollo del Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, que regula los estudios de Doctorado en la Universidad Complutense de Madrid)	193

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1.- Listado de las Regiones GEODE (IGME)	45
Tabla 4.2.- Número de unidades geológicas en cada región GEODE y número de unidades que contienen evaporitas junto a su rango de edades	47
Tabla 4.3.- Superficie (ha) de los derechos mineros de yeso en España	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1.- Afloramientos de las unidades yesíferas y límite de la España yesosa (Riba y Macau, 1962)	44
Figura 5.1.- Correlación entre la población de los municipios de España (censo 2009) y el número de inmuebles por municipio	70
Figura 5.2.- Producción de yeso en cantera 1987-2011	81
Figura 5.3.- Número de canteras cerradas y abiertas entre 2006 y 2011	82
Figura 6.1.- Zonas de alto interés de exploración (Principado de Asturias)	102
Figura 6.2.- Zonas de alto interés de exploración en el noreste de España	103

LISTA DE ARTÍCULOS INCLUIDOS

* Escavy, J.I., Herrero, M.J. y Arribas, M.E. (2012). Gypsum resources of Spain: Temporal and spatial distribution. <i>Ore Geology Reviews</i> (49): 72-84	53
* Herrero, M.J., Escavy, J.I. and Bustillo, M. (2013). The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry production (1998-2012). <i>Resources Policy</i> (38): 123-129	72
* Escavy, J.I. and Herrero, M.J. (2013). The use of location-allocation Techniques for exploration targeting of high place-value industrial Minerals: A market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources. <i>Ore Geology Reviews</i> (53): 504-516	88

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1.- Introducción

Una empresa industrial es aquella que extrae o adquiere materias primas para, mediante su transformación, obtener un producto final demandado por la sociedad. Estas empresas se clasifican generalmente en extractivas o manufactureras. Las primeras explotan los recursos naturales y las segundas transforman las materias primas en productos terminados.

La competencia espacial entre empresas industriales, tanto extractivas como manufactureras, es uno de los temas de investigación principales, tanto en el área de la Organización Industrial, como en la de la Ciencia Regional (Serra, 1996). En general, estos modelos se centran en las decisiones de localización, de fijación de precios y de niveles de producción que tienen que realizar una o varias empresas que quieren entrar o están operando en un mercado geográfico determinado. El objetivo principal de estas empresas es la maximización de sus beneficios siendo más competitivas en precios y en localización que las otras empresas que operan en el mercado. Por tanto, una de las decisiones que recurrentemente aparecen en el día a día de una empresa industrial, es si se debe aumentar la producción y, de ser así, cómo realizar ese aumento: incremento de la producción de las fábricas ya existentes, construcción de nuevas fábricas, adquisición de competidores, etc. En el caso de querer realizar el aumento de producción vía la construcción de nuevas fábricas, la pregunta que automáticamente surge es en qué áreas geográficas emplazar dicha instalación o instalaciones.

Esta decisión es de gran importancia, ya que, para aquellos productos de bajo precio y grandes volúmenes de producción, la localización de las instalaciones va a definir la rentabilidad futura de las mismas, controlada principalmente por su posición relativa con respecto a las materias primas y a los mercados. El emplazamiento de una o más instalaciones en la localización óptima, con su correspondiente asignación de clientes, no sólo mejora los flujos de materias o

servicios ofrecidos por la instalación, sino que además optimiza el uso de las instalaciones propias evitando duplicidades entre ellas (Sule, 2001). Si la instalación a construir fuera dependiente del suministro de materias primas naturales que pierdan parte de su peso durante la transformación, como es el caso de la fabricación del cemento, yeso, cerámica, etc., la posición óptima de la instalación se ve condicionada por la existencia de dicho recurso mineral en la zona, siendo necesario, en dicho caso, el análisis desde diferentes disciplinas para encontrar el emplazamiento óptimo: geología, economía, investigación operativa, marketing, etc.

Desde un punto de vista minero, la selección del área a explorar es el paso indispensable para la realización de cualquier proyecto de exploración (Lord et al., 2001). Los estudios de prospectividad son una herramienta de gran utilidad para la selección y priorización de áreas a investigar. Carranza (2009) define prospectividad como la posibilidad o probabilidad de que determinados depósitos minerales del tipo buscado estén presentes en un área determinada. Normalmente esta probabilidad se calcula mediante la modelización de la prospectividad, que busca, a través de la realización de mapas predictivos, delimitar las áreas con mayor potencial de alojar las zonas mineralizadas (Schmitt, 2010). Esta herramienta permite reducir costes y minimizar los riesgos, tanto técnicos como financieros, asociados a la toma de decisiones en la industria minera (Porwal y Kreuzer, 2010), aplicándose generalmente en la priorización de las áreas a explorar, tanto a escala regional, como local.

Los estudios de prospectividad mineral definen las áreas más favorables en función de parámetros de exploración como son la geología, geoquímica, geofísica, uso del suelo, etc., mediante el uso de determinadas técnicas matemáticas de análisis de datos (lógica difusa, WoE *-weights-of-evidence-*, regresión logística, etc.). Esta metodología se ha aplicado con éxito para yacimientos de minerales con alto valor económico, como son el oro, uranio, níquel, cobre, plomo-zinc, etc.

El presente trabajo realiza un estudio de prospectividad de una roca industrial como es el yeso. La definición más aceptada de minerales y rocas

industriales es “cualquier roca, mineral o sustancia natural que tenga valor económico, excepto minerales metálicos, combustibles minerales y gemas” (Jeffrey, 2006). Los minerales y rocas industriales se utilizan, aunque inconscientemente para la mayor parte de la sociedad, en la mayor parte de las actividades de los seres humanos. Alrededor de 60 materias primas son consideradas minerales y rocas industriales. El rango de productos es enorme y va del extremo de los áridos utilizados para la construcción, con bajo valor unitario y grandes volúmenes producidos, a los fosfatos, boratos y tierras raras, productos de alto valor unitario y menor tonelaje explotado (Jeffrey, 2006).

De las rocas y minerales industriales de bajo valor unitario, de las que además se suelen consumir grandes cantidades, se dice que tienen un alto valor de localización (*high place-value*) debido al gran impacto del coste de transporte en el precio final del producto (Bates, 1960). La mayor parte de su valor económico deriva de la proximidad a los mercados. El estar situado cerca de los mercados les confiere una gran ventaja competitiva al poder minimizar el precio final repercutido al cliente. Los minerales con alto valor de localización son, además de los áridos, las arcillas para la fabricación de cerámica de bajo precio (ladrillos, tejas, etc.), la caliza para la fabricación de cemento, el yeso, etc. Estas rocas industriales conforman el grupo denominado por Barker y McLemore (2004) como de “muy alta importancia del coste de transporte”. Debido a este alto impacto del coste de transporte en el precio final, la mayor parte de estos productos se consumen en los mismos países donde se producen o, a lo sumo, en sus vecinos más próximos. Los minerales industriales que se encuentran en el extremo contrario, los de alto precio unitario (y en general volumen de producción relativamente bajo), están menos afectados por la distancia a los mercados que los del primer grupo, ya que la proporción que supone el coste del transporte en el coste final es muy inferior. La mayor parte de estos productos se comercian internacionalmente.

En el caso de rocas y minerales industriales de bajo valor unitario y grandes volúmenes de producción (de alto valor de localización), Barker y McLemore (2004) afirmaron que la verdadera exploración de estos productos comienza con el estudio de mercado. Sin embargo, los escasos ejemplos de estudios de prospectividad de

estos productos (Robinson et al., 2004; Robinson y Larkins, 2007; Kendall et al., 2008) obvian el factor mercado, centrándose tan solo en la información geológica y en algunos parámetros limitantes a la explotación, como son el espesor de la cobertera, la densidad de población o la distancia a las redes de comunicación más próximas. Estos estudios ignoran completamente el impacto de los parámetros de mercado (localización relativa de los yacimientos a los mercados potenciales, la presencia o ausencia y la localización de competidores, etc.), elementos clave para definir el interés económico o no de estos yacimientos.

Una de las rocas industriales que pertenece a la categoría de “alto valor de localización” es el yeso. El sulfato de calcio, y en particular su fase hidratada, el yeso, es uno de los minerales evaporíticos más frecuentes en la naturaleza y el más abundante en afloramiento, debido principalmente a su menor solubilidad relativa en comparación con el resto de minerales evaporíticos (cloruros, resto de sulfatos, etc.) y a que, aunque en profundidad la fase estable de sulfato de calcio es la anhidrita, en la mayor parte de las condiciones climáticas actuales de la superficie terrestre la fase anhidra no es estable, transformándose en yeso en, o cerca, de la superficie (Schreiber y El Tabakh, 2000).

El yeso es uno de los productos naturales más utilizados por el ser humano. En el año 2011 este mineral fue, por volumen, la séptima sustancia mineral más explotada en el mundo, con 148 millones de toneladas, siendo tan sólo superada por los áridos, el mineral de hierro, la caliza, la sal, la bauxita y los fosfatos (Salazar y McNutt, 2012). En España, el yeso es una de las litologías sedimentarias más abundantes en afloramiento, encontrándose sobre todo en la mitad este del país. El Instituto Geológico y Minero de España cuantificó, mediante el Plan Nacional de Yesos, unas reservas superiores a los 60.000 millones de toneladas (Regueiro y Calvo, 1997). La abundancia y alta calidad de los yesos de España hacen de este país el principal productor Europeo de esta roca industrial y uno de los principales productores mundiales, siendo en 2010, con aproximadamente 7 millones de toneladas explotadas en cantera, el quinto país productor de yeso del planeta, tan sólo detrás de China, Irán, Estados Unidos y Tailandia (Salazar y McNutt, 2012).

El yeso se utiliza principalmente por la industria de la construcción como yeso cocido, placa de yeso o como yeso crudo añadido al cemento. Otros usos menos importantes en volumen son la agricultura, la industria química o incluso la industria farmacéutica. A título de ejemplo, en 2011 el 95% del yeso consumido en Estados Unidos fue empleado por la industria de la construcción (Salazar y McNutt, 2012). En el año 2011, en España, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Minetur, 2013), el 45,7% del yeso explotado en cantera se exportó, mientras que el 54,3% restante fue utilizado casi en su totalidad por la industria de la construcción.

A nivel de delimitación y cuantificación de la superficie de los afloramientos de las unidades yesíferas de España, el trabajo de referencia es el de Riba y Macau (1962). Dichos autores realizaron un mapa de la España yesífera en el que representaron todos los afloramientos y calcularon la superficie que ocupaban, dando como resultado que un 7,2% de la superficie de España estaba ocupada por afloramientos de rocas yesíferas. Este trabajo tiene más de 50 años de antigüedad y, desde entonces, ha ido apareciendo una gran cantidad de información detallada sobre la geología de España, y en particular sobre las zonas yesíferas, incluido el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, que sintetiza la geología de España con un gran nivel de detalle. Esta nueva información disponible, unida a las herramientas de gestión de datos geográficos, que también han ido apareciendo recientemente (Sistemas de Información Geográfica y ordenadores cada vez más potentes), ha permitido recalcularse en este trabajo de investigación, la superficie que ocupan los afloramientos de las unidades yesíferas en España, pudiendo clasificarlos fácilmente por edad, calidad desde el punto de vista industrial, región geológica en la que se engloban, etc.

El presente trabajo pretende desarrollar una metodología de modelización de la prospectividad para rocas y minerales industriales con alto valor de localización, que, además de la geología, tenga en cuenta los parámetros de mercado a la hora de priorizar las zonas a explorar. Para ello se ha aplicado la técnica denominada “localización-asignación” (*location-allocation* en inglés), desarrollada por la Investigación Operativa, una de las disciplinas de las ciencias

matemáticas. El modelo de localización-asignación básico consiste generalmente en la selección del emplazamiento de un número dado de instalaciones a partir de un determinado número de posiciones determinadas o localizaciones posibles. El objetivo no es sólo encontrar la mejor posición para el establecimiento de la instalación, sino también asignar los clientes a estas instalaciones de una forma óptima. La resolución de este problema se realiza mediante una matriz de coste en la que se calcula, para cada emplazamiento posible, el coste para cada cliente (en tiempo o dinero) y se multiplica la demanda por el coste de transporte obtenido previamente. La opción elegida será la posición en la que el coste total es mínimo, denominado modelo *minisum* (Sule, 2001).

Para el desarrollo de la metodología se ha estudiado el yeso en la España continental. Se ha elegido esta roca por numerosas razones, como son su bajo coste, su gran volumen de producción, la dispersión y abundancia del recurso en España, la importancia relativa del yeso en la minería española, el alto número (pero gestionable) de operadores e instalaciones en el mercado, etc.

1.2.- Objetivos y justificación de la investigación

El objetivo principal de este trabajo, tal como se ha comentado anteriormente, es desarrollar una metodología que permita priorizar zonas de exploración para las rocas y minerales industriales de bajo valor unitario teniendo en cuenta, además de la geología, factores de mercado. En particular, como caso de estudio, se ha elegido el yeso en España, definiendo las zonas en las que podría ser interesante instalar una fábrica de yeso, teniendo en cuenta la disponibilidad del recurso y su situación estratégica con respecto al mercado (cuota de mercado potencial capturada). Para conseguir el citado objetivo se han definido los siguientes objetivos parciales:

1.- Localizar los afloramientos de yeso disponibles en España para su uso en la fabricación de yeso y cemento.

2.- Analizar el mercado del yeso en la España peninsular desde el punto de vista de:

a.- La demanda: localización y magnitud relativa (tanto para su uso en edificación como para su añadido al cemento).

b.- La oferta: localización de las fábricas existentes de yeso y placa.

3.- Modelizar, desde el punto de vista económico, el mercado del yeso en España, integrando la información sobre demanda, oferta y mercado exterior e identificando el mejor indicador adelantado para el cálculo de la demanda aparente de yeso de cantera en España.

4.- Modelizar, desde el punto de vista geográfico, el mercado del yeso en la España peninsular, mediante un Sistema de Información Geográfica, identificando las posibles ineficiencias del mercado:

a.- Zonas donde podría instalarse un dispositivo industrial para la fabricación de yeso que capturara una parte significativa del mercado.

b.- Zonas de “alto grado de competencia” en las que la cuota de mercado es baja y en las que, por tanto, la rentabilidad y posibilidad de supervivencia de las instalaciones existentes sea relativamente baja. Estas zonas, además de no presentar atractivo para la construcción de nuevas instalaciones industriales, tienen unas condiciones de mercado desfavorables para las instalaciones ya existentes.

El resultado final de este estudio es la identificación, mediante la metodología desarrollada, de la ubicación de las mejores zonas en España donde sea interesante la instalación de una fábrica de yeso, delimitando espacialmente la zona y cuantificando la bondad de la misma en términos de captura de cuota de mercado potencial. De la misma manera, se han identificado aquellas zonas en las que, con el dispositivo industrial actual, la cuota de mercado de las instalaciones en funcionamiento es menor, lo que significa unas condiciones de mercado más duras (menor margen de maniobra sobre los precios, menor rentabilidad potencial, mayor riesgo de quiebra en épocas de crisis económica, etc.).

1.- INTRODUCTION AND OBJECTIVES

1.1.- Introduction

An industrial company is one that obtains a final product that is demanded by the society by the transformation of raw materials. These companies are generally classified as extractive or manufacturing. The first exploits natural resources and the second transforms raw materials into finished products.

The spatial competition between industrial companies, both extractive and manufacturing, is one of the major research topics in both Industrial Organization and Regional Science (Serra, 1996). In general, the spatial competition models focus on location decisions, pricing and production levels, etc. that one or more companies have to perform when they want to enter or are operating in a given geographic market. The main objective of these companies is to maximize profits by being more competitive on price and location than other companies operating in the market. Therefore, one of the decisions that recurrently appear in the daily life of an industrial company is whether to increase production and, if so, how to reach such an increase: rising production of existing plants, building new factories, acquiring competitors, etc. If the chosen option is to increase production via the construction of new factories, automatically a question arises: where are the best geographical areas to locate the new facility or facilities?.

This is a very important decision because the location of the facilities will define, in many cases, their profitability, which is primarily controlled by its relative location with respect to raw materials, clients and competitors. The location of one or more facilities in the optimal location, with a corresponding allocation of customers, not only improves the flow of materials or services offered by the facility, but also optimizes the use of the facilities, avoiding duplication between them (Sule , 2001). If the facility to be built is dependent on natural raw materials that lose a relevant portion of their weight during processing, such in the manufacture of cement, plaster, ceramic, etc. the optimal location of the system is

affected by the existence of such mineral resource in the area. In such a case, it is required the combined analysis from different disciplines to obtain the optimum locations: geology, economics, operations research, marketing, etc.

From a mining perspective, the selection of the area to explore is the essential step to carry out at any exploration project (Lord et al., 2001). Prospectivity studies are a useful tool for the selection and prioritization of areas to investigate. Carranza (2009) defines prospectivity as the possibility or probability of certain mineral deposits of the desired type to be present in a given area. Normally, this probability is calculated by modeling the prospectivity, which seeks, through the implementation of predictive maps, to outline the areas with the greatest potential to host the mineralized zones (Schmitt, 2010). The use of this tool helps to reduce costs and minimize risks, both technical and financial, associated with decision making in the mining industry (Porwal and Kreuzer, 2010). This technique is usually applied in prioritizing the areas to explore, both at regional and local scales.

The mineral's prospectivity studies define the most favorable areas in terms of parameters such as geology, geochemistry, geophysics, land use, etc., by using certain mathematical techniques for data analysis (fuzzy logic, WoE -weights-of-evidence-, logistic regression, etc.). This methodology has been applied successfully to mineral deposits with high economic value such as gold, uranium, nickel, copper, lead-zinc, etc.

This study develops a prospectivity study of gypsum, an industrial rock mainly used by the building industry. The most accepted definition of minerals and industrial rocks is "any rock or mineral that has economic value except metal ores, mineral fuels and gems" (Jeffrey, 2006). Industrial minerals and rocks are used, although for most of the society unconsciously, in most human activities. About 60 commodities are considered industrial minerals and rocks. There is a wide range of products, ranging from the aggregates, used for construction, with low unit value and large volumes production, to phosphates, borates and rare earths, with high unit value and lower tonnage mined (Jeffrey, 2006).

The industrial minerals of high bulk and low unit value are said to have "a high place-value", due to the high impact of transportation costs on the final price of the product (Bates, 1960). Most of their economic value derives from its proximity to markets. Being located close to markets gives them a competitive advantage, being able to minimize the final price paid by the client. High place-value minerals are, in addition to gypsum, aggregates, clays to manufacture ceramic (bricks, tiles, etc.), limestone for cement manufacture, etc. These industrial minerals make up the group called by Barker and McLemore (2004) as "very high importance of transport costs." Because of this high transport cost impact on the final price, most of these products are consumed in the same countries where they are extracted. Industrial minerals found at the opposite end, the high unit prices (and usually relatively low production volumes), are less affected by the distance to the markets, since the proportion represented by the cost of the transport in the final cost is much lower. Most of these products are traded internationally.

In the case of high place-value industrial minerals, Barker and McLemore (2004) stated that true exploration of these products begins with the market analysis. However, the few existing examples of prospectivity studies for these products (Robinson et al., 2004, Robinson and Larkins, 2007; Kendall et al., 2008) obviate the market parameters, focusing only on the geological and in some limiting parameters such as the thickness of the overburden, the population density or the distance to the nearest communication networks. These studies ignore completely the impact of market parameters (relative location of the deposits to potential markets, the presence or absence and the location of competitors, etc.), which are key elements to define the economic interest of an area.

As previously said, gypsum is one of the industrial rocks belonging to the category of "high place-value". Calcium sulfate, and in particular gypsum, the hydrated phase, is one of the most frequent evaporite minerals in nature and the most abundant in outcrop. This is mainly due to gypsum's lower relative solubility compared with other evaporite minerals (chlorides, other sulfates, etc.) because, although the stable phase of calcium sulfate at depth is anhydrite, in most of the

current weather conditions of the Earth's surface anhydrite is not stable on, or near, surface (Schreiber and El Tabakh, 2000).

Gypsum is one of the most used natural products by humans. In 2011, this mineral was, by volume, the seventh most exploited mineral in the world, with 148 million tons, only surpassed by aggregates, iron ore, limestone, salt, bauxite and phosphates (Salazar and McNutt, 2012). In Spain, gypsum is one of the most abundant sedimentary lithologies outcropping, frequently in the eastern half of the country. The Spanish National Plan for Gypsum Exploration, made by the Spanish Geological Survey (IGME), concluded that reserves of Spain are over 60,000 million tonnes (Regueiro and Calvo, 1997). The abundance and high quality of Spanish gypsum make this country the leading European producer of this industrial rock, with approximately 7 million tons mined, ranking fifth in the world, only beaten by China, Iran, the U.S.A., and Thailand (Salazar and McNutt, 2012).

Gypsum is mainly used by the construction industry as plaster, plasterboard or added to the cement. Minor uses include agriculture and chemical or pharmaceutical industrial applications. As an example, in 2011, 95% of the gypsum consumed in the U.S. was used by the construction industry (Salazar and McNutt, 2012). In 2011 in Spain, according to the Ministry of Industry, Energy and Tourism (Minetur, 2013), 45.7% of mined gypsum was exported, while the remaining 54.3% was used almost entirely by the construction industry.

The most recent work trying to delineate and quantify the gypsum outcrops of Spain was made by Riba and Macau (1962). These authors performed, more than fifty years ago, a map that showed the gypsiferous rocks that outcrop in Spain. Based on this map, these authors calculated that 7.2% of the country's surface was occupied by gypsiferous outcrops. Since the publication of this work, abundant detailed information on the geology of Spain has been delivered, including the Geological Map of Spain (1:50,000 scale) that synthesizes the geology of Spain with a great level of detail. All this new information, together with the Geographic Information Systems tools, has allowed us to plot and recalculate the area occupied

by the gypsum outcrops in Spain, classifying them by age, quality from the industrial point of view, geological region, their genesis, etc.

The present work develops a methodology of prospectivity modeling for high place-value industrial minerals, which, in order to prioritize the areas to explore, considers the market parameters in addition to geology. We have applied the technique called "location-allocation", developed by Operations Research, one of the disciplines of mathematical sciences. The location-allocation modeling consists on the selection of the location for a given number of facilities from a number of possible locations. The goal is not only to find the best location for facilities, but also to assign optimally customers to these facilities. The model builds a cost matrix where, for every possible location, the cost for each customer (in time or money) is calculated. Demand is then multiplied by the cost of transport previously obtained. The model will choose the location of the factory with the minimum total cost. This type of models is called minisum models (Sule, 2001).

The case study for our research is the gypsum on mainland Spain. This high place-value industrial rock has been chosen for many reasons, such as the abundance of the resource, the economic importance of the gypsum mining activity in Spain, the high number of facilities and market actors, etc.

1.2.- Research objectives

The main objective of this work is to develop a methodology to prioritize areas for exploration of low unit value industrial minerals, by taking into account not only geology but also market parameters. In particular, as a case study, we have chosen gypsum in mainland Spain, defining the areas where it might be interesting to install a plaster facility taking into account the availability of the resource and its strategic location relative to the market (potential market share). To achieve this objective we have defined the following partial objectives:

1. Delineate the outcrops of the gypsum-bearing geological units of Spain.
2. Analyze the plaster market in mainland Spain from different points of view:

- a. Demand: location and magnitude (both for building and cement addition).
 - b. Offer: identification and location of existing plaster and plasterboard facilities.
3. Modelling, from an economic point of view, the plaster market in Spain, by integrating information about demand, supply and international trading, and identifying the best advanced indicator to calculate the future gypsum apparent demand in Spain.
4. Modelling, from a geographical point of view, the plaster market in mainland Spain, using a Geographic Information System, trying to identify possible market inefficiencies:
 - a. Areas where, if a new plaster production facility is located, it would capture a significant portion of the market.
 - b. Areas of "high degree of competition" in which the market share of the facilities is low and profitability and survivability of the existing facilities is, a priori, relatively low. The location of a new facility in one of these "high degree of competition" areas may have no economic sense.

The final result of this study is the identification of the best areas in Spain where it would be interesting to build a plaster factory, delimiting the area and quantifying the goodness in terms of potential capture of market share, by the use of the developed methodology. Similarly, we have identify those areas in which, with the current industrial deploy, the market share of operating facilities is lower, which means tougher market conditions (less room for maneuver on prices, lower potential return, a greater risk of failure during crisis, etc.).

2.- METODOLOGÍA

El proceso seguido para obtener y procesar la información necesaria para la consecución de los objetivos propuestos ha sido secuencial, comenzando por la localización de los afloramientos de materiales yesíferos en España, continuando con el análisis del mercado del yeso y sus productos, y la identificación y georreferenciación de todas las instalaciones de fabricación de yeso y placa de yeso, para terminar con el análisis geoeconómico del mercado del yeso en la España peninsular.

2.1.- Localización del yeso en España

Para el estudio de la localización y la determinación de la superficie ocupada por los afloramientos yesíferos, se ha empleado el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS[®] (versión 10.0). La información geológica de base para el estudio es el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, disponible en formato digital en la hoja web del Instituto Geológico y Minero de España (www.igme.es). En total, hay publicadas 1048 hojas de las 1065 en las que se divide España. La mayor parte de la información geológica del país (86%) se ha incorporado al Plan cartografía geológica continua (GEODE). La información geológica del plan GEODE puede ser descargada tanto en formato raster (PNG) como vectorial (SHP). Para el presente estudio se han descargado en formato vectorial todas las hojas del Mapa Geológico de España disponibles en el plan GEODE y en formato raster las no incluidas aún en el plan GEODE.

Se ha revisado la leyenda de cada una de las regiones GEODE para localizar aquellas unidades formadas por, o que contengan, rocas evaporíticas. Por el momento, a falta de que el Instituto Geológico y Minero concluya el plan GEODE, se han identificado 201 diferentes unidades geológicas aflorantes que contienen evaporitas.

Una vez descargada cada hoja geológica del Plan GEODE, se han seleccionado los polígonos que delimitan las formaciones geológicas con yeso y se han incorporado a un nuevo fichero que contiene todos los afloramientos yesíferos de España. Cada uno de estos polígonos tiene asignado diferentes campos, como son en qué región geológica se engloba, a qué unidad geológica pertenece, edad, descripción litológica, etc.

Las hojas del Mapa Geológico de España que no se han incluido aún en el sistema de geología continua (aproximadamente un 14% de la superficie de España), o aquellas en las que sólo una parte de la hoja está realizada en el Plan GEODE (por ejemplo por estar dicha hoja entre dos Regiones GEODE diferentes, una incorporada y la otra no), se han descargado en formato raster, identificándose, a través de la memoria de cada hoja y de los descriptores de la leyenda, aquellas unidades con evaporitas.

Los contornos de dichas unidades se han digitalizado manualmente con el programa ArcMAP[®] 10.0. A cada polígono digitalizado se le ha atribuido manualmente la información complementaria (edad, formación geológica, etc.) antes de ser incluido en el fichero general de afloramientos evaporíticos de España. La información geológica digital ofrecida por el IGME tiene como sistema geográfico de coordenadas el GCS European 1950, y las zonas 29, 30 y 31 de la proyección ED_1950.

2.2.- Estudio económico del Mercado del yeso

Con el fin de conocer el mercado del mineral de yeso en España se ha realizado un estudio documental, recopilando toda la información disponible de distintos organismos públicos y privados sobre producciones, exportación, importación, consumo, etc., del yeso y sus productos derivados.

La producción histórica de yeso en cantera, el número de explotaciones en funcionamiento y la segmentación de la producción de yeso por destino se ha obtenido de la estadística minera publicada por el Ministerio de Industria, Turismo y

Comercio (MINETUR, 2013). Los datos, que de forma anual, ofrece el Ministerio, se generan compilando los formularios que obligatoriamente han de presentar todas las canteras (con periodicidad anual en el caso del yeso) a la Dirección General de Política Energética y Minas de la Secretaría General de Energía.

Los datos de comercio exterior, tanto importaciones como exportaciones del yeso de cantera y sus productos derivados (yeso cocido, placa de yeso, etc.), se han obtenido de las Estadísticas de Comercio Exterior (DATACOMEX) ofrecidas por la Secretaría de Estado de Comercio, perteneciente al Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO, 2013). Los datos se presentan mensualizados y anualizados, pudiendo seleccionar cada producto según la codificación numérica CUCI (Clasificación Uniforme para el Comercio Internacional de las Naciones Unidas). Los códigos CUCI de los distintos productos del yeso son (Ovalle, 2004):

- 27323 – Yeso y anhidrita (mineral de cantera sin tratamiento térmico).
- 27324 – Yesos (yeso calcinado o sulfato calcinado), coloreados o no, tengan o no pequeñas cantidades de sustancias aceleradoras o retardantes (se refiere al yeso cocido, independientemente del grado de cocción).
- 66331 – Artículos de yeso o de composiciones basadas en yeso (en este apartado se incluyen todos los productos fabricados con yeso cocido incluido las placas de yeso).

La producción de yeso cocido y de placa de yeso en España se ha obtenido de la Encuesta Industrial de Productos de la Industria, INEbase, del Instituto Nacional de Estadística de España (INE, 2013). La categoría de productos a la que pertenece el yeso y sus productos derivados es la 49 (Fabricación de cemento, cal y yeso y fabricación de elementos de hormigón, yeso y cemento), en la que aparecen detalladas, de forma anual, las producciones de yeso cocido (en toneladas) y de placa de yeso (en miles de m²) (INE, 2013).

Para el cálculo de la demanda futura se ha estudiado la correlación de la demanda interna de mineral de yeso con diferentes parámetros, habiéndose desechado el uso de indicadores macroeconómicos para el cálculo de la demanda futura, ya que el escenario ha cambiado notablemente al aprobarse en septiembre

de 2011 una reforma de la Constitución Española para incluir el principio de estabilidad económica. Históricamente, la licitación pública, tanto en obra pública como en edificación, financiada generalmente con deuda pública, ha sido una herramienta económica anticíclica, utilizándose para reducir el impacto de las crisis económicas. Con la modificación de la Constitución esta herramienta ya no puede ser empleada, por lo que los datos macroeconómicos de España de antes y después de septiembre de 2011 se van a correlacionar de forma diferente con la demanda de mineral de yeso.

Sin embargo, sí que existen indicadores adelantados que pueden ayudar a estimar la demanda futura a corto plazo (doce meses o menos) basándose en datos actuales. Se ha estudiado la bondad de la correlación de distintos parámetros del sector de la construcción (licitación de obra pública, visados de edificación de los Colegios de Arquitectos y Aparejadores, etc.), comparando la demanda interna de mineral de yeso de cada año con cada uno de los parámetros seleccionados. Para el cálculo del tiempo de adelanto de cada indicador, se han desplazado las series temporales de los parámetros constructivos 1, 2 y 3 años hacia atrás, calculando la bondad de la correlación entre dichas series y la demanda de yeso mediante el coeficiente de determinación (R^2). Los datos anualizados de los parámetros del sector de la construcción se han obtenido del apartado “Información Estadística de la Construcción” de la hoja web del Ministerio de Fomento (Fomento, 2013). Los indicadores utilizados han sido la Licitación Oficial por Tipo de Obra (Ingeniería Civil y Edificación) en miles de Euros y los Visados de Dirección de Obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos (número de edificios, superficie a construir en m^2 , etc). La herramienta utilizada para el estudio de regresión lineal ha sido MS Excel[®], y para el estudio de regresión múltiple, el software estadístico Matlab[®].

2.3.- Estudio geoeconómico del mercado del yeso

Para definir la geografía del mercado, ha sido necesario identificar tanto la localización de los puntos de oferta (fábricas de yeso cocido y de placa de yeso),

como de los de demanda de yeso (poblaciones y fábricas de cemento) y la magnitud de cada uno de ellos.

La posición de las fábricas de yeso, escayola y placa de yeso se ha obtenido de la página web de la Asociación Técnica y Empresarial de Yeso (ATEDY) y del Directorio de Empresas de Fabricación de Yeso de Einforma (www.einforma.com). Las empresas fabricantes de yeso declaradas en concurso de acreedores (antigua quiebra) se han identificado gracias a la hoja web de Einforma. La localización (incluidos los valores de latitud y longitud) de cada una de las empresas fabricantes ha sido determinada gracias a las imágenes vía satélite de Google Earth[®]. Un total de 57 fábricas de yeso y escayola (54 activas) y 6 de placa de yeso (4 activas) han sido localizadas y georreferenciadas (Anexo I).

La demanda de yeso se realiza principalmente por la edificación, que suele realizarse en áreas habitadas (ciudades y pueblos), en forma de yeso cocido o productos derivados del yeso cocido como la placa de yeso. En el caso del yeso crudo para ser añadido al cemento como retardador de fraguado, la demanda se realiza en las fábricas de cemento (con y sin horno de clínker), con una magnitud de la demanda que depende de la producción de cada fábrica.

La localización de las zonas urbanas de España se ha obtenido de la hoja web del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2012) y la población de cada una de las poblaciones del Censo de Población y Viviendas del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012). Ambas informaciones han sido combinadas para obtener un mapa de las ciudades de España con su población.

El listado de fábricas de cemento (con o sin horno de clínker) se ha obtenido de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (Oficemen, 2012). La localización de aquellas empresas fabricantes de cemento que no pertenecen a la asociación se ha realizado gracias a la comunicación personal del Departamento Comercial de Lafarge Cementos. De la misma forma que para las fábricas de yeso, las imágenes de satélite de Google Earth[®] han permitido confirmar la presencia y obtener las coordenadas de cada una de las instalaciones de fabricación de cemento. Se ha realizado un mapa en el que, además de las coordenadas, empresa

propietaria, etc., aparece el dato de capacidad de producción de cemento, clave para conocer la demanda relativa de yeso de cada una de ellas.

Debido a la fuerte caída de la demanda de cemento por la crisis de la construcción durante la realización de este estudio, varias instalaciones de fabricación de cemento han cerrado sus puertas. En la mayor parte de los casos, se ha abandonado la producción de clinker, aunque no la producción de cemento, lo que no afecta al consumo de yeso, como es el caso de la fábrica de Yeles, propiedad de Holcim, mientras que en otros casos, como la fábrica de Lorca, también de Holcim, el cierre de la instalación es total, no habiendo más demanda de yeso desde dicha instalación.

Se han repasado las diferentes herramientas de ArcGIS® para la realización del estudio geo-económico del yeso en España y, en especial, los módulos para trabajar con raster del *3D Analyst Tools*, las utilidades del *Geostatistical Analyst Tools*, *Spatial Statistics Tools*, y del *Network Analyst Tools*. De todos ellos, se ha decidido trabajar con el módulo *Network Analyst Tools* por dos razones principales: i) las distancias entre centros de producción y consumo, clave para calcular costes, se miden a través de vías de comunicación y no en línea recta, dando valores más reales, y ii) su módulo de localización-asignación (*Location-Allocation*) permite, no sólo identificar las mejores posiciones para establecer las fábricas, sino que, asignando demanda a dicha instalación, calcula la cuota de mercado capturada. Con el fin de conseguir la cuota de mercado para cada posición posible (zona con afloramiento de yeso) y poder realizar el mapa de cuotas de mercado, se ha tenido que programar una macroinstrucción (macro o secuencia de instrucciones programadas) para que, de forma iterativa, calcule la cuota de mercado obtenida con cada posible posición de una fábrica, ya que no existe ninguna instrucción para realizar mapas de cuota de mercado directamente en ArcGIS®. La macro se ha realizado con la función de creación de modelos (*Model Builder*) de ArcMAP® 10.0.

2.- METHODOLOGY

A sequential methodology has been followed to obtain and process the necessary information for the achievement of the objectives, starting with the location of the outcrops of gypsiferous rocks in Spain, continuing with the plaster and plaster-made products, market analysis, and identifying and georeferencing of the facilities for plaster and plasterboard production, and finishing by the geo-economic analysis of the gypsum market in mainland Spain.

2.1.- Delineation of gypsum outcrops in Spain

Determination of the location and the area occupied by the gypsum outcrops was done by using the geographic information system ArcGIS[®]. The main geological information for the study was obtained from the Geological Map of Spain at 1:50,000 scale, available in digital format in the web site of the Spanish Geological Survey (www.igme.es). From the total 1065 geological sheets that cover Spain's territory, 1048 have been published. Most of the country's geological information (86%) has been incorporated into the Continuous Geological Mapping Plan (GEODE). The information produced by the GEODE plan can be freely downloaded both in raster (PNG) and vector (SHP) formats. For those geological maps already released in the GEODE Plan, vector format has been used. For the part of Spain not done or not released in the GEODE Plan, the raster information of the 1:50,000 Geological Map has been used.

The continuous geologic information (GEODE Plan) has been made by the Spanish Geological Survey within the main geologic regions of Spain. A common legend has been produced for all the geologic maps covering each geologic region. The legend of each of the GEODE regions has been reviewed in order to identify the geological units containing evaporites. A total of 201 different outcropping geological units with evaporitic rocks have been identified.

Once each geological sheet of the GEODE Plan was downloaded, we identified and selected the polygons containing evaporitic geological units, and a

new file containing all the gypsum outcrops of Spain has been created. Each of these polygons has different fields that contain relevant information such as the geological region, age, lithology description, etc.

The sheets of the Geological Map of Spain that are not released in the Continuous Geological Mapping Plan (approximately 14% of the area of Spain), or those only partially released, were downloaded into raster format. Geological units with evaporites have been identified based on the legend descriptors of each geologic map. The contours of these units have been digitized manually with the program ArcMAP[®]. Each digitized polygon has been given the relevant additional information (age, geological formation, etc.), before being merged with the rest of evaporitic outcrops of Spain. The digital geological information provided by the IGME has the European GCS 1950 geographic coordinates system, and the areas 29, 30 and 31 of ED_1950 projection.

2.2.- Economic analysis of the gypsum and plaster markets

In order to analyze the gypsum and plaster markets in Spain, a bibliographical study has been made by compiling all available information on production, exports, imports, domestic consumption, etc. of gypsum, plaster, and plaster-made products, from different public and private agencies.

Historical production of gypsum, the number of quarries in operation and the segmentation of production by destination, was obtained from mining statistics published by the Ministry of Industry, Tourism and Trade (MINETUR, 2013). The annual data, provided by the Ministry, is generated by compiling the application forms that all quarries must submit mandatorily to the General Directorate for Energy Policy and Mines.

The international trade data of gypsum, plaster, plasterboard, etc., were obtained from the Foreign Trade Statistics (DATACOMEX) released by the Secretary of State for Trade (Spanish Ministry of Science and Innovation) (MINECO, 2013). Data are presented in a monthly basis and products are classified following the SITC

code (Standard International Trade Classification of the United Nations International). SITC codes for gypsum and plaster products are the following (Ovalle, 2004):

- 27323 - Gypsum and anhydrite.
- 27324 - Plasters (of calcined gypsum) whether or not colored, with or without small quantities of accelerators or retarders substances (including plasters specially prepared for use in dentistry).
- 66331 - Articles of plaster or plaster-based composition.

Production of gypsum, plaster and plaster products in Spain has been obtained from the Survey of Industrial Products of the National Statistics Institute of Spain (INE, 2013). The product category to which plaster belongs is nº 49 (Manufacture of cement, lime and gypsum and manufacture of articles of concrete, plaster and cement). Data presented is the yearly production of plaster (in tonnes) and plasterboard (in thousands of m²) (INE, 2013).

For the future domestic demand calculation, the correlation between gypsum domestic demand and different parameters has been studied. The use of macroeconomic indicators to calculate future demand has been rejected. The reason for this is that the scenario has changed significantly with the adoption in September 2011 of a reform of the Spanish Constitution in order to include the principle of economic stability. Historically, public tendering for infrastructures and building has generally been used to reduce the impact of economic crises as a countercyclical economic tool. With the amendment of the Constitution this tool cannot longer be used, and data of gypsum demand with Spanish macroeconomic data correlate differently before and after September 2011.

However, there are advanced indicators that can help us estimating future demand in the short term (twelve months or less) based on current data. We have studied the correlation goodness of various parameters of the construction sector (public works tenders, building permits, etc.), comparing domestic gypsum demand of each year with the selected parameters. To calculate the advancement for each indicator, temporal series of construction variables have been moved 1, 2 and 3

years back, calculating the goodness of the correlation between these series and the demand for gypsum by the coefficient of determination (R^2). The annualized construction data were obtained from the Construction Statistical Information of the Ministry of Infrastructures website (FOMENTO, 2013). The used indicators are the official tendering by Type of Work (Civil Engineering and Building) in thousands of Euros, and building permits (number of buildings to be built, surface to be built in m^2 , etc.). The linear regression analysis was performed using MS Excel[®] and the multiple regression analysis using statistical software Matlab[®].

2.3.- Geoeconomical analysis of the gypsum and plaster market

In order to analyze geographically the gypsum and plaster markets, it has been necessary to identify both the location of supply points (plaster factories) and demand points for gypsum-based products (urban areas and cement production facilities), obtaining their magnitudes.

The geographical location of plaster and plasterboard facilities has been obtained from the Plaster Producers Association (ATEDY) website, and from Einforma's Gypsum Manufacturers Directory (www.einforma.com). The location (including latitude and longitude) of each of the manufacturers has been confirmed by the analysis of satellite imagery from Google Earth[®]. A total of 57 plaster factories (54 active) and 6 plasterboard facilities (4 active) have been located.

Plaster and plasterboard demand, derived from the building activity, is located in urban areas. In the case of gypsum used for cement addition (as setting retarder), demand is located in the cement factories (with and without clinker kiln) with a magnitude of demand proportional to the cement production of each factory.

The location of the urban areas of Spain has been obtained from the Spanish Geographic Institute website (IGN, 2012), and the population of each of the urban areas from the Population and Housing Census of the Spanish Statistics Institute

website (INE, 2012). Both datasets have been combined in order to obtain a map of the Spanish urban areas with their associated population.

The list of cement factories of Spain was obtained from the Spanish Cement Manufacturers Association (Oficemen, 2012). The location of the facilities not belonging to the association has been obtained from the personal communication of Lafarge's Commercial Department. In the same way as used for gypsum factories, we have used Google Earth[®] satellite imagery to confirm the presence, and to obtain the coordinates, of each of the cement manufacturing facilities. A map has been done with the location of all cement facilities and their associated production capacity, plaster demand, etc.

Due to the sharp drop in cement demand resultant of the construction downturn during the course of this study, several cement manufacture facilities have stopped production. In most cases they have shut down the clinker kiln but not the cement production, which does not affect the consumption of gypsum (i.e. Holcim's Yeles factory). In other cases, the closure of the facility is complete, like Holcim's Lorca factory, from which no longer gypsum demand is possible.

From the various tools available in ArcGIS to perform the geo-economic study of the gypsum in Spain (3D Analyst Tools, Geostatistical Analyst, Spatial Statistics, and the Network Analyst), it was decided to work with the Network Analyst module for two main reasons: i) the distance between production and consumption points, key factor to calculate transport costs, are measured on communication networks and not in straight lines, giving real distance values, and ii) the location-allocation module, included in the Network Analyst, that allows, not only to identify the best locations to set up factories, but assign demand to such facility, estimating market share capture. In order to get the market share captured for each possible location (gypsum outcrop zone) and be able to build a market share contours map, we had to develop a macro that iteratively calculates the market share obtained at each possible location of a factory taking into account the existing facilities and the demand points. The macro has been built with the Model Builder module of ArcMAP[®] (10.0).

3.- ANTECEDENTES

3.1.- El Yeso

En castellano, el termino yeso designa tanto al mineral de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como al resultado industrial de tratarlo térmicamente ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), denominándose a este último también como basanita, yeso de París o yeso cocido. Desde el punto de vista etimológico, el término yeso proviene probablemente del término griego *gypsos*, que describía un mineral ignífugo, aunque otros autores fijan el origen etimológico en el término árabe *jibs* o el mesopotámico *yasser* (Kuntze, 2009).

El yeso natural, compuesto principalmente por sulfato de calcio dihidrato, es, junto con la anhidrita, su equivalente deshidratado, el sulfato más común en la naturaleza. El yeso es el mineral evaporítico más abundante en superficie, aunque en profundidad desaparece rápidamente en favor de la anhidrita. Tiene un sistema de exfoliación perfecto según la orientación (010) y exfoliaciones distintivas según (100) y (101), y se distingue fácilmente de la anhidrita (CaSO_4) por presentar distintos sistemas cristalinos (monoclínico vs ortorrómbico), menor dureza Mohs (2 vs 3,5) y menor densidad ($2,24 \text{ g/cm}^3$ frente a $2,97 \text{ g/cm}^3$) (Sharpe y Cork, 2006). El color del yeso es generalmente blanco, aunque puede aparecer coloreado (amarillo, rojo, etc.) o con distintos grados de transparencia en función de sus características cristalográficas y/o contenido en impurezas. Es un mineral que frecuentemente presenta maclas (100) y, aunque es uno de los minerales evaporíticos menos solubles, tiene una solubilidad relativamente alta ($0,2 \text{ g/100g H}_2\text{O}$). Desde el punto de vista genético, el yeso natural puede dividirse en primario y secundario. El yeso primario es principalmente fruto de la precipitación a partir de una salmuera (marina o continental) que se concentra por efecto de la evaporación solar, presentando distintas texturas según las condiciones y el ambiente en el que precipita. Sin embargo, es muy abundante también el yeso secundario, por ejemplo el yeso alabastrino, fruto de la transformación de otros minerales previos como pueden ser la anhidrita o la glauberita.

El yeso cocido tiene infinidad de propiedades que le hacen interesante para su uso en la construcción, entre ellas: su abundancia, su bajo coste, su facilidad de uso, la aplicabilidad sobre distintas superficies, resistencia al fuego, capacidad de regulación higrométrica, capacidad de aislamiento térmico y acústico, etc. (Bustillo y Calvo, 2005).

3.2.- El uso del yeso en la historia

Desde el punto de vista decorativo, el yeso se ha venido empleando desde la antigüedad. En el norte de Europa y Francia se han encontrado vasos cerámicos de época prehistórica donde aparecen incisiones rellenas de yeso mezclado, en ocasiones, con polvo de huesos calcinados y arcilla (Gaspar, 1995). Además de los fines decorativos, el yeso es, junto con la cal y la arcilla, uno de los más antiguos conglomerantes fabricados por el hombre. Aunque no hay una fecha determinada para el momento de inicio de la utilización del yeso como conglomerante, sí que se puede determinar el Neolítico Pre-Cerámico de Oriente Próximo como la primera época de difusión de su uso (Kuntze, 2009). Ejemplos de éste se encuentran en los emplazamientos arqueológicos de Abu-Huyera (en la actual Siria) y Ali-Kosh (en la actual Irán) (Kingery, Vandivier y Prickett, 1988). En restos arqueológicos del milenio IX a.C., en Çatal Hüyük (Turquía), se han encontrado frescos pintados sobre guarnecidos de yeso y cal (Matthews, 1999), y en elementos constructivos en suelos y techados (Garate, 1999). En varios asentamientos neolíticos en Galilea, incluido Jericó, se cita la “Cultura de los suelos de yeso” o “Pueblos de los suelos pulimentados” (6900 a.C.). Algo más tarde, en Asiria, se han encontrado revestimientos realizados mediante mezclas de yeso y tierra (Gaspar, 1993), y hay numerosos restos en el área de Mesopotamia, de edades comprendidas entre el 5000 a.C. y el 4000 a.C., de revocos y enlucidos, como por ejemplo en Matarrah, Baghuz, Siyalk o Uruk (Davey, 1961).

En Egipto, su uso fue generalizado, tanto como conglomerante, como con una función decorativa u ornamental, desde la XVIII Dinastía en el periodo ptolemaico (Mora y Philippot, 1984). La mayor parte de los morteros de esta época

están realizados con yeso cocido (Vozil, 1985). En ocasiones, como en el caso del busto de Nefertiti o en numerosos sarcófagos, el yeso se utilizaba como base para aplicar posteriormente la pintura (Davey, 1961). En la pirámide de Keops, realizada aproximadamente en el 2.600 a.C., se emplearon morteros de yeso hemihidrato para unir bloques, siendo los egipcios los primeros en utilizar este material como mortero de juntas (Rubio, 2010), además de como estucos satinados (Sharpe y Cork, 2006). Se ha identificado su uso como pasta de junta, entre bloques y sillares, en el Templo de Amon en Karknak de Khufu (finales del siglo XX a.C.) y en la Esfinge de Gizé (Gárate, 1999). Algunos autores han descrito el uso por parte de los egipcios de la anhidrita como lubricante para facilitar la colocación correcta de los pesados bloques (Gaspar, 1995).

Ya en nuestro país, dentro de la cultura íbera, las Damas de Baza, Elche y el Cerro de los Santos (siglo IV a.C.) tienen yeso como base de las policromías (Cabrera, 1991). En el yacimiento, también íbero, de El Cabezo de la Cruz de la Muela (Zaragoza) se han encontrado morteros de junta y revocos con base de yeso (Alloza y Marzo, 2005). Los yacimientos funerarios de Montemayor (Córdoba) y de Tutugi-Galera (Granada), de los siglos VII a.C. y IV a.C., respectivamente, contienen revestimientos realizados con yeso (Parras-Guijarro et al., 2006).

Los griegos, etruscos y romanos emplearon profusamente el yeso, principalmente con función decorativa en estucados, enlucidos y moldeados, y, eventualmente, como componente de morteros (Gárate, 1999). Según el tratado de Ciencias Naturales de Plinio el Viejo (23-79 a.C.), los romanos aprendieron el procesado y usos del yeso de los babilonios y los griegos. Los romanos fueron los primeros en discernir la diferencia entre los morteros de cal y de yeso, reconociendo las limitaciones de este último, empleándolo sólo en aplicaciones de interior y no estructurales. Además, desarrollaron un mortero de yeso multicapa en el que el tamaño de la partícula de arena descendía progresivamente de la capa interior a la exterior. De esta forma, se reducía el riesgo de formación de grietas de retracción, importante ventaja cuando el mortero iba a ser empleado como base para pinturas (Kuntze, 2009).

Especial mención tiene el uso del yeso en el Imperio romano como cierre de paramentos. Placas de yeso de alta transparencia (*lapis specularis* o yeso espejillo) cumplían la función del cristal, dejando pasar la luz al interior de los edificios, a la vez que protegía su interior de las inclemencias meteorológicas. Las mejores minas de este material se encontraban en España, superando en calidad a las de Sicilia (Sanz, 2009). Se han encontrado hasta ahora vestigios arqueológicos de una veintena de grupos mineros dedicados a la explotación del *lapis specularis* en la provincia de Cuenca, en los yesos terciarios de la cuenca de Loranca. La minería se desarrolló principalmente durante los siglos I y II, mediante el método de cámaras y pilares, extrayendo planchas de yeso de gran tamaño y alta transparencia para su uso como cierres arquitectónicos a modo de cristal de ventana para vanos y ventanales (Bernárdez y Guisado, 2003). La explotación comenzó a declinar al ser sustituido el yeso por el vidrio fabricado a partir de sílice fundida. El vidrio para cerramiento de vanos comenzó a usarse en el Imperio Romano progresivamente a partir del siglo I, aunque inicialmente, debido a su alto coste, no pudo competir con el *lapis specularis* para esa aplicación (Cortés, 2001).

Durante el Imperio persa, y en particular en la dinastía sasánida (entre los siglos III y VII), se desarrolla el empleo del yeso y su tecnología de producción, teniendo una gran influencia en el posterior arte hispano-musulmán (Almagro, 1984). El uso del yeso en esta época unía dos tradiciones distintas: la greco-romana, en la que el uso es principalmente decorativo como estuco, y la mesopotámica, en la que el yeso, además de en ornamentación, se empleaba como elemento de albañilería, principalmente como material de juntas y revestimiento (Davey, 1961).

La construcción con yeso se extiende por la Península Ibérica gracias a los árabes, especialmente en Andalucía, Levante y Aragón, regiones con mayor riqueza en dicho recurso, utilizándose tanto con funciones ornamentales, como en fábricas resistentes (Sanz, 2009). El desarrollo de las artes constructivas con yeso se perfeccionó de tal forma que en el tiempo de los almorávides numerosos artesanos de Al-Andalus se desplazaron al norte de África llevando las técnicas decorativas en yeso, participando en la construcción de las mezquitas de Fez, Marrakesh, Argel, Trecemen, etc. (Sanz, 2009). Tanto los almohades, con capital en Sevilla, como

posteriormente los nazaríes, con capital en Granada, emplearon el yeso en las construcciones simbólicas de cada una de las épocas, como por ejemplo el Patio del Yeso del Alcázar de Sevilla o los mocárabes de la Alhambra de Granada (Sanz, 2009).

En la España medieval cristiana se encuentran ejemplos de uso de yeso en el exterior, como los encontrados en las murallas de Moya, en Cuenca (Villanueva et al., 2005), o en las iglesias mudéjares de San Gil y De Santa María Magdalena de Zaragoza, la iglesia de San Martín (Teruel), la ermita de Frescano (Zaragoza) o en el Castillo de Ayllón de Uncastillo, en Zaragoza (Alloza y Marzo, 2005).

En el Renacimiento, en Italia, se produce un desarrollo del uso del estuco, tanto para edificios civiles como religiosos (Sanz, 2009), aunque en España, debido a las importantes entradas de maderas finas y metales nobles, no se extendió demasiado, siendo la iglesia de Santa Clara de Sevilla uno de los pocos ejemplos.

El Barroco sí que supuso la generalización del uso del estuco en España para decoración de interiores, con numerosos ejemplos como la iglesia de la Encarnación de Madrid, la Catedral de Salamanca o la sacristía de la Cartuja de Granada (Sanz, 2009). Posteriormente, durante los siglos XVII y XVIII, el empleo del yeso en bóvedas tabicadas es frecuente (Villanueva, 2005).

A nivel ornamental, merece la pena destacar el uso del alabastro en el arte religioso y funerario en España y en particular en Aragón, región con yacimientos de una gran calidad. Inicialmente empleado en capiteles y relieves de la Aljafería de Zaragoza, el alabastro se convertiría en material preferido a partir de la escultura gótica. Obras tan sobresalientes como el sepulcro del arzobispo Lope Fernández de Luna, en La Seo de Zaragoza (Pedro Moragues, 1381-82) y el retablo mayor de la misma catedral (Pere Johan y H. de Suabia, s. XV) fueron tallados en esta piedra. Por su parte, la mejor escultura del Renacimiento aragonés se hizo asimismo en alabastro, encontrándose buenos ejemplos en la portada de la iglesia de Santa Engracia, de Zaragoza y en los retablos del monasterio de Montearagón, del Pilar de Zaragoza y de las catedrales de Jaca y Huesca (GEA, 2000).

Los incendios de Basilea (1457) y de Londres (1212 y 1666) le dieron relevancia a las propiedades ignífugas del yeso, hasta el punto de que el rey Luis XIV, en 1667, decretó que todas las estructuras de madera de los edificios, tanto internas como externas, debían estar recubiertas de mortero de yeso para resistir la acción del fuego (Kuntze, 2009).

Durante el siglo XVIII, el estuco convive con las decoraciones con mármoles, encontrando buenos ejemplos en la iglesia de San Miguel y el Palacio de Linares, en Madrid, o la portada del Palacio del Marqués de Dos Aguas, en Valencia, de alabastro y estuco en el exterior (Sanz, 2009). Una particularidad decorativa de esta época fue la combinación del estuco mármol con decoraciones de escayola, principalmente en las regiones de Baviera (Alemania) y Emilia Romana (Italia), aunque en los países de la cuenca Mediterránea no tuvo el mismo desarrollo por la abundancia y calidad de mármoles naturales (Sanz, 2009).

La ciencia moderna del yeso comienza con los trabajos de Antoine Lavoisier (1743-1794) presentados a la Academia Francesa de Ciencias en los años 1765 y 1766, en los que describía el proceso de deshidratación del yeso al tratarlo térmicamente y el proceso de rehidratación al añadirle agua a la fase anhidra (Kuntze, 2009). Lavoisier también observó que era bastante más fácil de retirar las primeras tres cuartas partes del agua de cristalización que el último cuarto.

Desde mediados del siglo XVIII, con la invención del cemento pórtland y el desarrollo de su tecnología, comienza una revolución en la construcción. Además, la piedra artificial sustituye a los estucos y los cementos, y las cales hidráulicas desplazan a las cales aéreas y a los yesos en los revestimientos exteriores. Salvo en Alemania, la antigua Unión Soviética y Estados Unidos, el uso del yeso en pavimentos también se abandona. En estos países se empleaba con este fin el yeso hidráulico, con adición de alumbre o productos similares, previo a la calcinación hasta deshidratación completa, y molienda fina, como el patentado cemento Keene (Sanz, 2009). Otros cementos con base de sulfato de calcio se fabrican con adiciones de borax (cemento Parian), carbonatos de potasio de sodio (cemento Martin), sal de glauber o sulfato de potasio calcinados (cemento Mack), etc. (Eckel, 1922).

En la actualidad, se han perdido casi totalmente los usos en el exterior del yeso, empleándose, además de como añadido al cemento, para elementos interiores prefabricados, como la placa de yeso laminado, o en acabados a base de yeso en polvo (Sanz, 2009). Según Villanueva (2005), el yeso se encuentra en la etapa postindustrial, en la que las características finales del mismo vienen definidas por aditivos de tipo sintético, que son añadidos durante su proceso de fabricación y modifican las propiedades naturales del mismo.

3.3.- Proceso de fabricación del yeso

La producción de los diferentes productos de yeso comienza en la cantera. Los yacimientos de yeso natural, independientemente del origen o textura del mismo, se caracterizan por su contenido en sulfato cálcico hidratado, que varía entre el 80% y el 95% en función del producto a fabricar (Cerulla, 1997) y por el contenido en impurezas (generalmente arcillas y carbonatos) y elementos perjudiciales para el proceso de fabricación o para la calidad del producto (cloruros, sulfatos de sodio o magnesio, etc.).

Una vez explotado y machacado en cantera hasta una granulometría que haga su transporte a fábrica eficiente, el material es triturado y cribado, conservando aquella fracción con granulometría óptima para el proceso, que suele estar entre 16 mm y 20 mm (Bustillo y Calvo, 2005). El objetivo último del proceso es hacer perder el agua de cristalización, convirtiéndolo en hemihidrato (cuando pierde tres cuartas partes de su agua) o anhidrita (cuando pierde la totalidad de la misma).

La deshidratación, total o parcial, del yeso se realiza mediante el calentamiento en hornos, existiendo una gran variedad en función de si el proceso es en vía seca o húmeda, de si los gases de combustión tienen contacto con el material, o si es un proceso continuo o en lotes. Dependiendo de la temperatura y la presión ejercida durante el proceso, se obtienen los diferentes productos que se desee fabricar. Por ejemplo, para fabricar el yeso común (semihidrato - β), el horno

funciona a presión atmosférica y una temperatura entre 125° C y 180° C. Al salir del horno, el yeso es enfriado y molido junto a los aditivos, para pasar a los silos, de donde es expedido a granel o bien ensacado para su uso en obra. También puede ser utilizado para la fabricación de diferentes elementos (prefabricados de yeso) como la placa de yeso laminado (cartón-yeso), paneles para tabiques o placas de escayola para techos (Kuntze, 2009).

3.4.- Exploración del yeso

La mayor parte de la producción mundial de yeso se obtiene mediante minería de superficie (Sharpe y Cork, 2006), con una pequeña proporción explotada por minería de interior. En España, prácticamente el 100% de la producción actual se obtiene a partir de canteras a cielo abierto, distribuidas en su mayor parte en la mitad oriental del país. Aunque históricamente ha existido desde los romanos una actividad minera de interior, en la actualidad tan sólo queda en España una mina de yeso de interior en funcionamiento (Yesos Maté, Palencia).

La exploración del yeso suele comenzar con un estudio bibliográfico a través de la innumerable documentación disponible (Sharpe y Cork, 2006). El potencial de existencia de minerales evaporíticos puede ser determinado mediante el estudio de la estratigrafía de las regiones donde aparecen rocas sedimentarias. Si se piensa que las rocas evaporíticas se encuentran aflorando o a poca profundidad, se hace necesario un estudio de los afloramientos, mientras que si se piensa que pueden estar a cierta profundidad, se realiza el estudio con sondeos o datos de estudios geofísicos de la zona (Sharpe y Cork, 2006).

La evaluación de los yacimientos se realiza de la misma forma que para el resto de recursos, con sondeos, muestreo, análisis y modelización del yacimiento mediante programas de modelización geológica (Sharpe y Cork, 2006).

4.- LOS RECURSOS DE YESO EN ESPAÑA

4.1.- Introducción

El yeso es una de las rocas que más aflora en la superficie de España. Riba y Macau (1962) estudiaron la localización y extensión de los afloramientos de yeso de España, desde el punto de vista de la ingeniería civil, por su impacto en las obras públicas, debido a su solubilidad y por su agresividad química sobre los elementos constructivos. Estos autores establecieron que 35.487 km², el 7,2 % de la superficie española, estaban ocupados por yeso o materiales con un contenido significativo de yeso. Además, establecieron un área que denominaron “la España yesosa”, que ocupaba el 58,5 % de la superficie de España, la mayor parte localizada en la mitad oriental del país, además de Asturias, Valladolid, Palencia, Cádiz, Málaga, Sevilla y Córdoba (Fig. 4.1) y que englobaba la zona de España donde era posible encontrar afloramientos de materiales yesíferos.

Desde el punto de vista minero, Rios (1963) enumeró y describió las unidades salinas de España, incluyendo, además del yeso, la halita, sales potásicas y otras sales, pero sin cuantificar la superficie que ocupaban las mismas. Más recientemente, y a partir de los datos del Plan Nacional de Yesos (1968-1989), Reguerio y Calvo (1997) calcularon que las reservas posibles de yeso de España ascendían a unos 60.000 millones de toneladas, de las cuales casi la mitad están situadas en la región de Aragón.

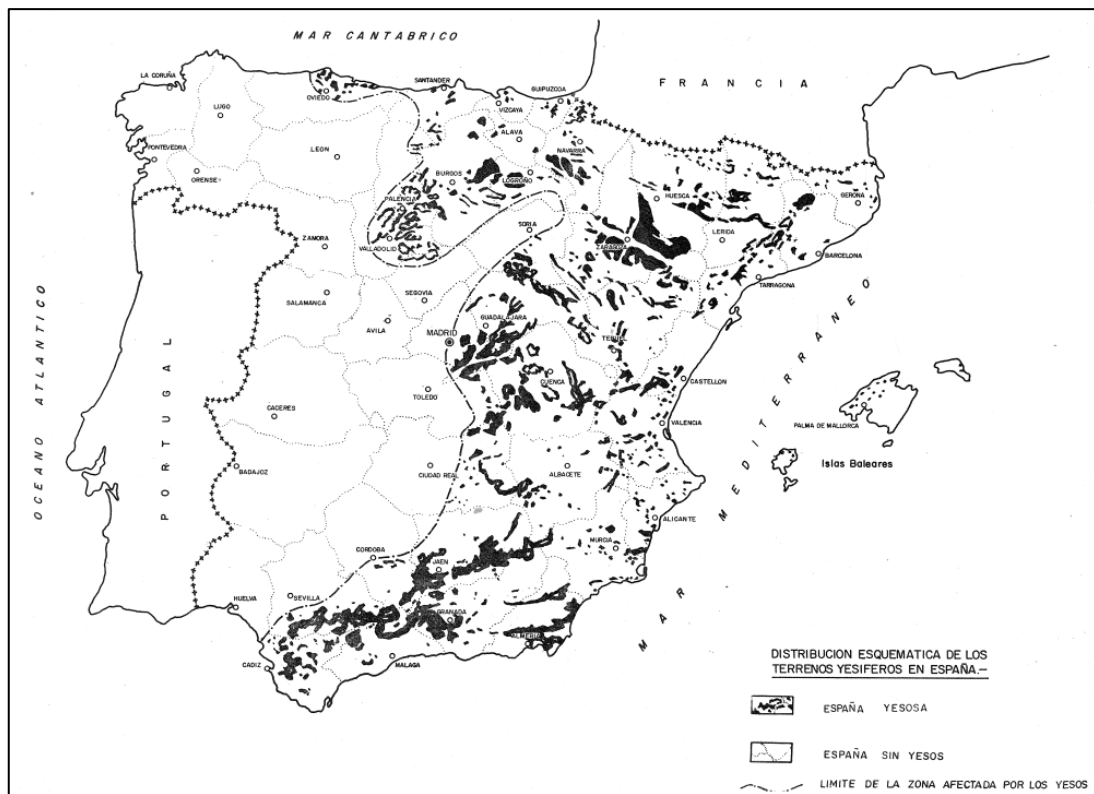


Figura 4.1.- Afloramientos de las unidades yesíferas y límite de la España yesosa (Riba y Macau, 1962).

En el presente estudio, para cuantificar la superficie yesífera de España, se ha recopilado la información geológica a escala 1:50.000 accesible a través de la hoja web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). La base de la información es el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 en el cual está representada la geología de cada una de las hojas 1:50.000 de la superficie de España. La realización de la cartografía geológica de España ha durado varias décadas, por lo que los criterios de asignación de cada afloramiento a las distintas unidades geológicas, el nivel de detalle, la continuidad en los bordes de hojas y la codificación y simbología no coinciden en hojas contiguas en numerosas ocasiones.

Con el fin de remediar estos inconvenientes, desde el año 2004, el IGME viene realizando el denominado Plan GEODE de Cartografía Geológica Continua. Este Plan ha dividido España en 28 regiones geológicas, denominadas regiones GEODE, siguiendo los grandes dominios geológicos (Tabla 4.1). Cada región GEODE

tiene su propia leyenda en la que aparecen todas las unidades geológicas presentes en esa región, su edad, una somera descripción y un código numérico que se emplea para identificar a cada una de las unidades en todas las hojas geológicas en las que cada región GEODE aflora.

1	Cantábrica	15	Cuenca del Tajo-Mancha
2	Asturoccidental-Leonesa	16	Centroibérica, D. Obejo-Valsequillo
3	Galicia Tras-os-Montes	17	Cuenca del Guadalquivir, Sudbética
4	Centroibérica, D. Del Olo de Sapo	18	Cuenca del Ebro
5	Centroibérica, D. Esquisto-grauváquico	19	Cuenca subsidente Valenciana
6	Ossa Morena	20	Canarias- Lanzarote
7	Pirineos- Vascocantábrica	21	Canarias- Fuerteventura
8	Ibérica	22	Canarias- Gran Canaria
9	Prebético	23	Canarias- Tenerife
10	Béticas Internas	24	Canarias- La Gomera
11	Baleares- Mallorca-Cabrera	25	Canarias- La Palma
12	Baleares- Ibiza-Formentera	26	Canarias- El Hierro
13	Baleares- Menorca	27	Catalánides
14	Cuenca del Duero-Almazán	28	Sudportuguesa

Tabla 4.1.- Listado de las Regiones GEODE (IGME).

La información del Plan GEODE es accesible públicamente y se puede descargar en la hoja web del IGME a través del Sistema de Información de Cartografía Geológica Continua (SIGECO). Aunque la información geológica es continua y con criterios homogéneos, en cada una de las 28 regiones GEODE, la forma de descargar la información es por hojas individuales 1:50.000. La información que se descarga es en formato vectorial con proyecciones ED_1950_UTM (zonas 29, 30 y 31 N) y el sistema de referencia geodésico GCS_European_1950 (ED 50).

En la cartografía geológica a escala 1:50.000 (MAGNA), el país está dividido en 1065 hojas geológicas, de las que 17 aún no han sido publicadas. De las 1048 restantes, 863 están completamente terminadas en el Plan GEODE y son accesibles vía internet, 91 hojas están parcialmente terminadas (sólo parte de su superficie está actualizada según el Plan GEODE) y 94 no están realizadas (o no son públicamente disponibles). Aquellas hojas geológicas no disponibles en GEODE si lo están en formato raster (imagen) georreferenciadas.

Se han descargado todas las hojas geológicas disponibles en SIGECO (aquellas actualizadas al Plan GEODE) y se ha revisado la leyenda de cada región GEODE para identificar aquellas unidades con contenido en yeso. Por este procedimiento, se han localizado, en las regiones GEODE ya disponibles, un total de 204 unidades geológicas con yeso. En el caso de existir unidades evaporíticas en una hoja geológica, los polígonos que las delimitan han sido extraídos de cada hoja y combinados con el resto de afloramientos de esa unidad geológica presente en otras de hojas de esa misma región GEODE. Se ha comprobado que en ninguna de las regiones GEODE que comprenden las Islas Canarias aparecen afloramientos de unidades geológicas evaporíticas a la escala de trabajo. No hay información de las regiones GEODE Cataluña y Zona Centroibérica-Dominio Esquisto-grauváquico. El número de unidades geológicas de cada región GEODE y el número de las mismas que contienen rocas evaporíticas se presenta en la tabla 4.2.

Zona GEODE	Total unidades geológicas	Unidades geológicas con evaporitas	Rango de edad de las evaporitas
Cantábrica	203	5	Triásico-Jurásico
Pirineos-Vascocantábrica	512	4	Triásico-Paleógeno
Cordillera Ibérica	470	30	Triásico-Neógeno
Prebético	405	27	Triásico-Neógeno
Béticas Internas	237	10	Paleozoico-Neógeno
Baleares: Mallorca y Cabrera	59	2	Triásico-Neógeno
Baleares: Ibiza y Formentera	59	2	Triásico-Neógeno
Baleares: Menorca	51	1	Triásico
Cuenca del Duero-Almazán	278	13	Paleógeno-Neógeno
Cuenca del Tajo - Mancha	293	44	Triásico-Plioceno
Cuenca del Guadalquivir	193	12	Triásico-Neógeno
Cuenca del Ebro	240	50	Paleógeno-Neógeno
Cuenca Subs. Valenciana	118	4	Triásico-Neógeno

Tabla 4.2.- Número de unidades geológicas en cada región GEODE y número de unidades que contienen evaporitas junto a su rango de edades.

En el caso de aquellas hojas geológicas no disponibles en GEODE (o sólo realizadas parcialmente), el procedimiento seguido ha sido el de descargar de la hoja web del IGME cada una de las hojas en formato raster georreferenciado, y comprobar en su leyenda si contiene alguna unidad evaporítica. En caso afirmativo, los perímetros de los afloramientos evaporíticos se han digitalizado, atribuyéndole a cada unidad la edad correspondiente según la leyenda del MAGNA. Con el fin de identificar y digitalizar los afloramientos de rocas evaporíticas, se han estudiado un total de 185 hojas geológicas, de las cuales, en un total de 42 hojas se encuentran rocas evaporíticas.

Para la zona ocupada por las 17 hojas geológicas aún no publicadas en el MAGNA, se ha utilizado la cartografía geológica escala 1:200.000 del IGME, digitalizando las unidades geológicas con contenido en evaporitas e incorporándolas al fichero con las unidades evaporíticas de España.

El apartado siguiente (4.2) analiza la cantidad y extensión de los derechos mineros para la exploración y explotación del yeso de la España peninsular. El apartado 4.3 presenta, en forma de artículo, los resultados obtenidos tras integrar y analizar la información digital sobre los afloramientos yesíferos de España.

4.2.- Los derechos mineros de yeso en España

Los derechos mineros son aquellas concesiones públicas que otorgan derechos sobre los recursos geológicos del país, permitiendo explorar, investigar y, en su caso, explotar los recursos minerales de España, estando regulados por el Real Decreto 2857/1978 que desarrolla la Ley de Minas (Ley 22/1973). La actividad minera está además regida por un gran número de otras normas, unas específicas mineras del Gobierno Español, como los Reales Decretos 107/1995, 975/2009 y el Real Decreto Legislativo 1303/1986, normas mineras autonómicas, como por ejemplo la Ley de Minas de Galicia (Ley 3/2008), y otras muchas normas, tanto nacionales como autonómicas y locales no específicamente mineras, sobre medio ambiente, patrimonio, aguas, carreteras, cañadas y vías pecuarias, conservación del patrimonio histórico-artístico, conservación del patrimonio paleontológico, usos del suelo, etc.

La norma principal que regula la actividad es la Ley de Minas (22/1973), la cual clasifica los recursos geológicos en cuatro categorías denominadas secciones, clasificadas según su naturaleza, volumen de producción y necesidad de transformación posterior. Los recursos de la Sección A son los áridos, estando permitido tan sólo acciones de arranque, machaqueo y clasificación granulométrica. La Sección B incluye las aguas minero-medicinales, minero-industriales y las aguas termales, las estructuras subterráneas (que puedan retener en profundidad cualquier producto o residuo), y los yacimientos de origen no natural (por ejemplo las escombreras de antiguas explotaciones mineras). La Sección D está formada por los recursos energéticos (carbón, minerales radioactivos, recursos geotérmicos, etc.), estando excluidos los hidrocarburos por disponer de una legislación propia (Ley 34/1998 de Hidrocarburos). En la Sección C tienen acogida todos los

yacimientos minerales y recursos geológicos que no están clasificados en las demás secciones y que puedan ser objeto de explotación o aprovechamiento conforme a la Ley de Minas. Según esta clasificación, el yeso es un recurso de la Sección C, aunque hay algunos derechos mineros relacionados con la explotación del yeso que pertenecen a la Sección A.

Los recursos de la Sección A sólo son concedidos sobre la superficie que ocupa el terreno que controla el demandante, sea en propiedad o en alquiler, por lo que la forma de los derechos mineros coincidirá con el perímetro de las parcelas controladas. En el caso de los recursos de la Sección C, en los que no es necesario controlar el suelo sobre el que se asienta el derecho, la unidad de medida son las cuadrículas mineras, definidas en la Ley de Minas como el “volumen de profundidad indefinida cuya base superficial queda comprendida entre dos paralelos y dos meridianos, cuya separación sea de veinte segundos sexagesimales, que deberán coincidir con grados y minutos enteros y, en su caso, con un número de segundos que necesariamente habrá de ser veinte o cuarenta”. España está, por tanto, dividida en una malla de cuadrículas, indivisibles, cuya situación solamente puede ser: a) Ocupada (con algún derecho minero vivo sobre ella); b) Libre (denominada como Franca y Registrable en la Ley de Minas) o c) Caducada (que ha estado ocupada y está a la espera de ser liberada). La extensión de una cuadrícula minera varía según la latitud, oscilando en España de las 27 ha del norte peninsular hasta las casi 28,5 ha en el sur.

Siguiendo una secuencia minera lógica, los derechos posibles que se pueden solicitar sobre los recursos mineros de la sección C son permisos de exploración, permisos de investigación y concesiones de explotación. Los permisos de exploración, de duración anual, permiten realizar exploraciones a nivel regional sobre grandes superficies (entre 300 y 3000 cuadrículas mineras), sin poder utilizar técnicas que alteren la naturaleza del terreno. En general, este tipo de derechos no suelen ser otorgados en España ya que ocupan grandes extensiones y, en general, se considera que la geología de España está suficientemente conocida como para poder precisar y demandar directamente permisos de investigación.

Los permisos de investigación, de menor extensión (entre 1 y 300 cuadrículas mineras), de duración trianual renovable hasta un máximo de 9 años, permiten realizar todas las tareas necesarias para poder encontrar y evaluar los potenciales yacimientos, incluidos sondeos, prospección geofísica, trincheras, etc.

Las concesiones de explotación dan derecho a explotar un recurso mineral, siendo concedidas por periodos de 30 años renovables hasta un máximo de 90 años. El que exista un derecho minero para explotar una sustancia determinada no implica de forma automática que tenga que existir una cantera en funcionamiento, ya que se puede retrasar la apertura de una explotación o se puede solicitar lo que se denomina en la Ley de Minas una “paralización temporal de actividades”, pudiendo justificarse por diversos motivos, incluido motivos económicos, técnicos, etc.

En España hay en total 451 derechos mineros para yeso, de los cuales 231 están autorizados y 75 en trámite de autorización. Los que ya no están activos se dividen en: 95 derechos mineros caducados y 50 cancelados. De los 231 autorizados hay 37 de la Sección A y 194 de la Sección C.

Por tipología, hay 37 autorizaciones de aprovechamiento (Sección A), 160 concesiones de explotación (Sección C) y 34 permisos de investigación (Sección C). En la actualidad, no hay otorgado en España ningún permiso de exploración para yeso. La superficie total ocupada por las autorizaciones de aprovechamiento (Sección A) de yeso es de 672 hectáreas. Hay un total de 1606 cuadrículas mineras otorgadas como concesión de explotación sobre yeso que ocupan aproximadamente unas 44.555 ha. El total de superficie autorizada para explotar yeso (Secciones A y C sumadas) es de aproximadamente 45.227 hectáreas o, lo que es lo mismo, 452 km². La superficie otorgada como permiso de investigación para investigar yacimientos de yeso es mayor aún que la ya otorgada para explotarlo, ascendiendo a 1.673 cuadrículas mineras que ocupan aproximadamente unos 464 km². El total de superficie ocupada en España por derechos mineros activos para yeso es de unos 916 km², lo que supone el 4,35% del total de la superficie yesífera del país (21.077 Km²).

Hay además 75 derechos mineros que han sido solicitados y que se encuentran en tramitación: 9.003 hectáreas de autorizaciones de aprovechamiento (Sec. A) y concesiones de explotación (Sec. C) y otras 48.939 hectáreas de permisos de investigación (Sec. C). En total hay 57.942 hectáreas (2.088 cuadrículas mineras) en tramitación para la obtención de un derecho minero con el fin de realizar investigación o explotación de yacimientos de yeso, aunque, muy probablemente, ni todos los derechos, ni toda la superficie demandada, serán finalmente otorgados.

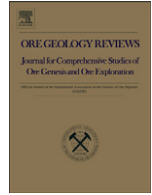
Por provincias, Almería es la que mayor superficie tiene autorizada para explotar yesos (Tabla 4.3), con un total de 10.727 hectáreas, la mayor parte pertenecientes a las empresas Explotaciones Río de Aguas (2.622 ha), Placo Saint-Gobain (1.948 ha) y Knauff (1.187 ha). La siguiente provincia por extensión de superficie autorizada es Zaragoza, con un total de 7.409 ha, siendo las empresas con mayor superficie Yesos Ibéricos–Algiss (4.051 ha), Comunidad de Bienes Monte Torrero (antigua Hormigones Pamplona) con 1.138 ha, y Placo Saint-Gobain (1.054 ha), Asturias con 6.244 ha y Toledo con 4.460 ha. El caso de Asturias debe ser analizado aparte, ya que la totalidad de superficie concedida pertenece a los derechos mineros de Mina La Camocha (otorgados a principios del siglo XX para carbón, dolomía y yeso), explotación que cerró sus puertas en agosto de 2008. En términos de investigación, la provincia con más superficie afectada es Alicante, con 16.705 ha en 4 Permisos de investigación de Saint-Gobain Placo y 1 de la Compañía General Yesera, actualmente Algiss, de 4.939 ha. En segundo lugar se encuentra Zaragoza, con 8.047 ha, seguida por Castellón con 4.024 ha y Burgos con 3.408 ha.

Provincia	Recursos de la Sección C		Recursos de la Sección A		
	Otorgadas		En Trámite	Autorizadas	En Trámite
CE	PI				
Albacete	1332.0		110.0		
Alicante	11.0	16705.5		40.0	9.3
Almería	10726.8		10905.8		
Asturias	6244.0	194.3	55.5		
Baleares	27.8			59.0	
Barcelona	111.0	1193.3	1498.5		
Burgos	1775.6	3408.0	2606.4		
Cantabria	83.3		138.8		
Castellón	2064.3	4023.8		6.2	2.9
Córdoba	111.0				
Cuenca	527.3	943.5	2969.3	6.8	
Gerona	528.2	1359.8	166.5		
Granada	166.5				
Guadalajara	1193.3		173.1		
La Rioja	2684.0	622.0	226.0		
Lérida	777.0	610.5	2886.0		
Madrid	2636.3	1415.3	13875.0	400.1	
Murcia	166.5	2442.0	7492.5	43.9	
Navarra	222.0		27.8		
Palencia	539.0		168.3		
Segovia					24.8
Tarragona		249.8	277.5		
Teruel	471.8	3385.5	582.8	1.0	5.4
Toledo	4392.8	666.0		66.8	
Valencia	227.4	1165.5	915.8	48.3	3.8
Zaragoza	7409.3	8047.5	12820.5		
Total	44555.0	46432.0	57895.8	672.1	46.1

Tabla 4.3.- Superficie (ha) de los derechos mineros de yeso en España por provincia y tipología.

4.3.- Artículo 1

**Escavy, J.I., Herrero, M.J. y Arribas, M.E. (2012). Gypsum resources of Spain:
Temporal and spatial distribution. Ore Geology Reviews (49): 72-84**



Review

Gypsum resources of Spain: Temporal and spatial distribution

J.I. Escavy*, M.J. Herrero, M.E. Arribas

Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais, 2, 28040 Madrid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 June 2012

Received in revised form 2 September 2012

Accepted 6 September 2012

Available online 12 September 2012

Keywords:

Gypsum resources

GIS

Surface evaluation

Depositional factors

ABSTRACT

Spain is one of the main gypsum producers in the world. Spanish gypsum reserves are large and a good knowledge of the location of the ore reserves permits to establish better exploitation strategies. Plotting the Spanish major gypsum outcrops, using a GIS base, helps to classify them by age, establish the main depositional character and determine the factors controlling their origin.

Evaporitic deposits from Cambrian to Quaternary are preserved throughout Spain. The evaporites are formed by chemical precipitation of natural brines, either of marine or continental origin. The oldest evaporite vestiges in the Spanish geological record have been described in carbonate materials, as gypsum and anhydrite pseudomorphs, in Cambrian deposits of the Cantabro–Iberian basin (northern Spain). The first properly identified evaporite formation in Spain is located in the Triassic deposits that characterize central and northern Europe. In Spain, evaporites of this age appear well represented in 4394.5 km² of outcrop area in the eastern part of the Iberian Peninsula. The Lower Jurassic (covering 1068 km² of outcrop area) and the Cretaceous (covering 706.9 km² of outcrop area) are periods of intense evaporitic sedimentation, and outcrops appear concentrated towards central and eastern parts of the Peninsula. More recently, in the Cenozoic, numerous continental and marine basins resulted from the tectonic activity produced by the Alpine Orogeny. Here, a combination of different factors produced thick and wide evaporite accumulations (outcrop surface is 13592.7 km²). In the Quaternary, evaporitic conditions are common in Spain, including various saline lakes (covering 1092.1 km² of outcrop area) mainly in the Ebro basin and La Mancha zone. In addition, there are many artificial marine salinas.

The evaporitic conditions in a basin strongly depend on factors such as climate, tectonics and brine composition. A study of the spatial distribution and age of the gypsum-bearing units in Spain suggests a wide variation in factors controlling the origin of gypsum deposits. The Spanish evaporite precipitation from Permian to Jurassic times was controlled by global conditions such as climate. They were formed during a global warming period. On the other hand, evaporites formed from late Cretaceous to Neogene were more influenced by regional factors that were related to the tectonic activity produced by the Alpine Orogeny. At present evaporite precipitation occurs due to the endorheic character of lakes in some parts of Spain.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1.	Introduction	73
2.	Materials and methods	73
3.	Results	73
3.1.	Permo-Triassic evaporites	74
3.2.	Mesozoic evaporite-bearing units	74
3.2.1.	Triassic	75
3.2.2.	Jurassic	77
3.2.3.	Cretaceous	77
3.3.	Cenozoic gypsum-bearing units	78
3.3.1.	Paleogene and Neogene	78
3.3.2.	Quaternary	78

* Corresponding author. Tel.: +34 913944906; fax: +34 91 544 2535.

E-mail addresses: jiescavy@geo.ucm.es (J.I. Escavy), mjherrer@pdi.ucm.es (M.J. Herrero), earribas@geo.ucm.es (M.E. Arribas).

4.	Discussion	79
4.1.	Controls on evaporitic deposition in the geological record of Spain	79
4.2.	Time and space evaporites distribution in Spain	81
5.	Conclusions	83
	Acknowledgements	83
	References	83

1. Introduction

Gypsum is one of the most common evaporitic mineral in the geological record and the most frequent in outcrop due to its lower solubility compared with other evaporites such as halite, glauberite, etc. Even though halite is the main precipitation phase from the sea water, it is rapidly altered and, therefore, it is poorly or not preserved in outcrop (Schreiber and El Tabakh, 2000).

Gypsum was the seventh largest natural mineral commodity mined in the world in 2009 after aggregates, iron ore, lime, salt, bauxite and phosphate rocks (Salazar and McNutt, 2011). According to these authors, world production of gypsum for that year was estimated at 148 million tonnes. Spain, with a production of 11.5 million tonnes, was the leading European producer and ranked third in the world, after China and Iran. Spanish gypsum production was obtained from 118 quarries and most of the production was exported mainly to UK, Nigeria, Venezuela and the United States (Escayv et al., 2011). All gypsum mined in Spain is by opencast methods, therefore, a better understanding of the character, quality, quantity and location of gypsum outcrops would permit to establish future mining development strategies.

The main objective of our work is to establish a detailed surface quantification of the different gypsum-bearing units present in the geological record of the Iberian Peninsula, where gypsum is one of the major outcropping industrial minerals. Riba and Macau (1962) have previously analyzed the Spanish gypsum occurrences and their geographical distribution. This study has been extensively used and their results of surface calculations are still cited in various works (Alberto and Navas, 1986; Gutiérrez et al., 2008; Laya et al., 1993; Porta et al., 2003; Sanz, 2009). The currently available digital technologies, such as Geographic Information Systems (GIS), allow integrating and analyzing an enormous amount of geographical and geological information. In addition, public databases offered by different institutions, provide the basic information such as topography, geology, urban areas, infrastructures and protected areas to be used by GIS software. In this study, the analysis and evaluation of the outcrops of evaporite-bearing geological units have been accomplished using ArcGIS®. The main raw data was obtained from digital and paper collection of the Spanish Geological Map, scale 1:50000.

2. Materials and methods

Pursuing the principal objective of this work, we have applied a methodology that allowed us to integrate, compare and update previous works (Riba and Macau, 1962). In addition, this study adds new qualitative and quantitative data on evaporite outcrops and their distribution in Spain. One of the most used GIS software in mineral resources exploration is ArcGIS®, being a standard for most of this type of study. We have done this work with ArcMap 10.0 and ArcCatalog 10.0 modules of the ArcGIS® software. The raw data used for this study is based on the Spanish National Geological Map (MAGNA), scale 1:50000, published by the Spanish Geological Survey ("Instituto Geológico y Minero de España - IGME"). This cartographical series divides Spain into 1065 geological sheets. A total of 1048 geological sheets have been analyzed for this study, whereas 17 unpublished sheets have not been used. The Canary Islands are not

included in this work because of the lack of geological gypsum-bearing units at the work scale of this study (1:50000).

About 86% of the geology of Spain has been already incorporated into GEODE, which is an IGME's working plan that transforms the individual geological sheets of the 1:50000 scale MAGNA's geological cartography into a continuous geological map. This freely accessible information is the main material used for this study (IGME, 2012). The downloaded material is in vector format, with a GCS_European_1950 geographic coordinate reference, and ED_1950_UTM Zone_29N, Zone 30 N and Zone 31 N projections. The geological data are grouped into 28 regions, called GEODE Zones (Fig. 1), corresponding approximately to the main geological domains.

In our study, individual sheets of the same GEODE Zone have been merged together. In each GEODE Zone, the geological units that contain evaporitic materials are selected and extracted as individual ArcGIS® features. From this analysis, a total of 201 geological units containing evaporites have been obtained. In order to simplify and accelerate further calculations, all the evaporite polygons for each geological unit and each GEODE Zone have been merged to get one single feature.

The evaporitic units present in the original printed format have been analyzed in places where GEODE is not complete, which is about 14% of Spain's surface. For all missing sheets where evaporites are present, they have been digitized with ArcGIS® software. The base geological maps for digitizing the features have been downloaded from the IGME's site in a georeferenced raster format.

3. Results

A database has been created integrating the data obtained by merging the evaporite-bearing units from different time periods of the geological record in the Iberian Peninsula. From the GIS data processing, the total area of Spain occupied by gypsiferous materials is 4.2%. This result has been obtained by the areal measurement of all the gypsum-bearing outcrops, and is significantly different to the 7.2% obtained previously by Riba and Macau (1962). This is mainly due to the fact that more detailed mapping information is currently available, with additional information produced in the last 50 years by many authors, using more accurate constrain in ages and characterization of the different gypsum-bearing geological units.

To accurately evaluate the gypsum resources it would be necessary to take into account the vertical thicknesses of the deposits. From a mining perspective, Regueiro and Calvo (1997) estimated the possible resources of gypsum in Spain as 60000 million tonnes (based on the IGME's National Plan of Gypsum Exploration, 1968–1989). These resources are vast compared with the average Spanish production of 11 million tonnes per year during the time period 2000–2011.

Due to diagenetic and post-depositional transformations, gypsum is the principal evaporite mineral outcropping in all geologic time intervals, with few anhydrite and halite occurrences such as those of Cardona Salt Mountain (Paleogene, Ebro basin), and De la Rosa and Pinoso diapirs (Triassic, Prebetic Zone). The total outcrop area of evaporite units in Spain is 21077.1 km² (Table 1). This surface represents 4.2% of the total area of the country, and it is concentrated in the central and eastern parts of the territory (Fig. 2). About 1% of the gypsiferous area corresponds to Permo-Triassic materials, 29.3% to

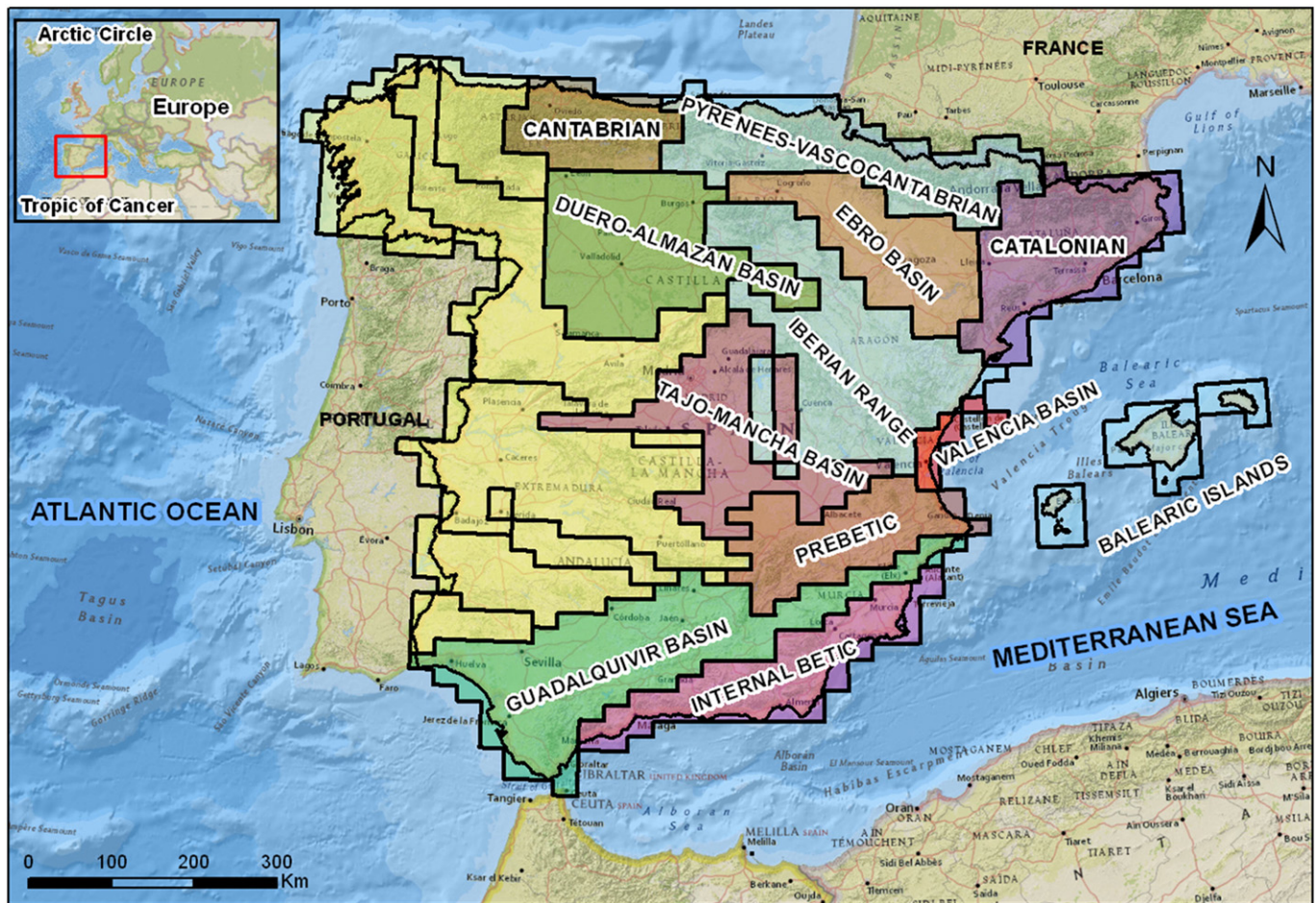


Fig. 1. Distribution of the GEODE Zones in Spain (IGME, 2012). Labels appear only on the Zones containing evaporites-bearing units.

Mesozoic units, mainly Upper Triassic deposits, and 69.7% to Cenozoic materials, most of them of Neogene age (Table 1).

First evidence of evaporite sedimentation in the geological history of Spain appears in lower Cambrian rocks, where evaporitic conditions were highlighted by *Álvaro et al. (2000)* in the Jalón, Ribota and Huérmeda Formations of the Cantabro-Iberian basin. In these sequences, evaporitic conditions are interpreted based on the appearance of evaporitic mineral pseudomorphs that have been replaced by quartz and dolomite.

Table 1
Outcrop area of the gypsum-bearing units in km² classified by age.

	Outcrop area (km ²)	%
Permo-Triassic	213.1	1.0
Mesozoic		
Middle Triassic	197.2	
Upper Triassic	4197.3	
Jurassic	1068.0	
Cretaceous	706.9	
Total Mesozoic	6169.3	29.3
Cenozoic		
Paleogene	2208.1	
Neogene	11384.6	
Quaternary	1092.1	
Total Cenozoic	14684.9	69.7
Age not stated	9.8	0.0
Total	21077.1	100.0

3.1. Permo-Triassic evaporites

In the early Permian of the Sierra de Aragoncillo (Iberian Range), a dolomitic with pseudomorphs of gypsum, anhydrite and halite appear in the upper part of the Autunian sequence (*Marfil et al., 1984*) reflecting evaporitic conditions at that time. Nevertheless, no evaporite deposits are found.

In the Internal Betic Zone there are gypsum-bearing Permo-Triassic rock types, occupying 213.1 km² in the provinces of Almería, Murcia and Malaga (Fig. 2, Table 1). These rock types have been described as irregular and tectonized gypsum masses with a chaotic structure (*Aldaya et al., 1979; Egeler et al., 1974; Espinosa et al., 1974a; Espinosa et al., 1974b*). Calcium sulfate appears well crystallized and occurs both as gypsum and anhydrite. No other evaporitic minerals have been described in these units. The gypsum occurs associated with shale and subvolcanic bodies in the Conglomeratic Marble Unit, on top of the Nevadofilábride nappe Complex. The age of this sequence is controversial, due to the fact that recent studies date the intercalated subvolcanic bodies as Paleocene-Eocene in age (*Puga et al., 1996*). Thickness is very variable and can attain several tens of meters. Lateral extension from western Sierra Nevada to Cartagena exceeds 250 km.

3.2. Mesozoic evaporite-bearing units

Mesozoic gypsum outcrops cover a total surface of 6169.3 km², representing 29.3% of the total Spanish gypsiferous territory. About 71.2% is Triassic in age, mostly Upper Triassic (Keuper facies), 17.3% is Jurassic in age and 11.5% are Cretaceous rocks (Table 1).

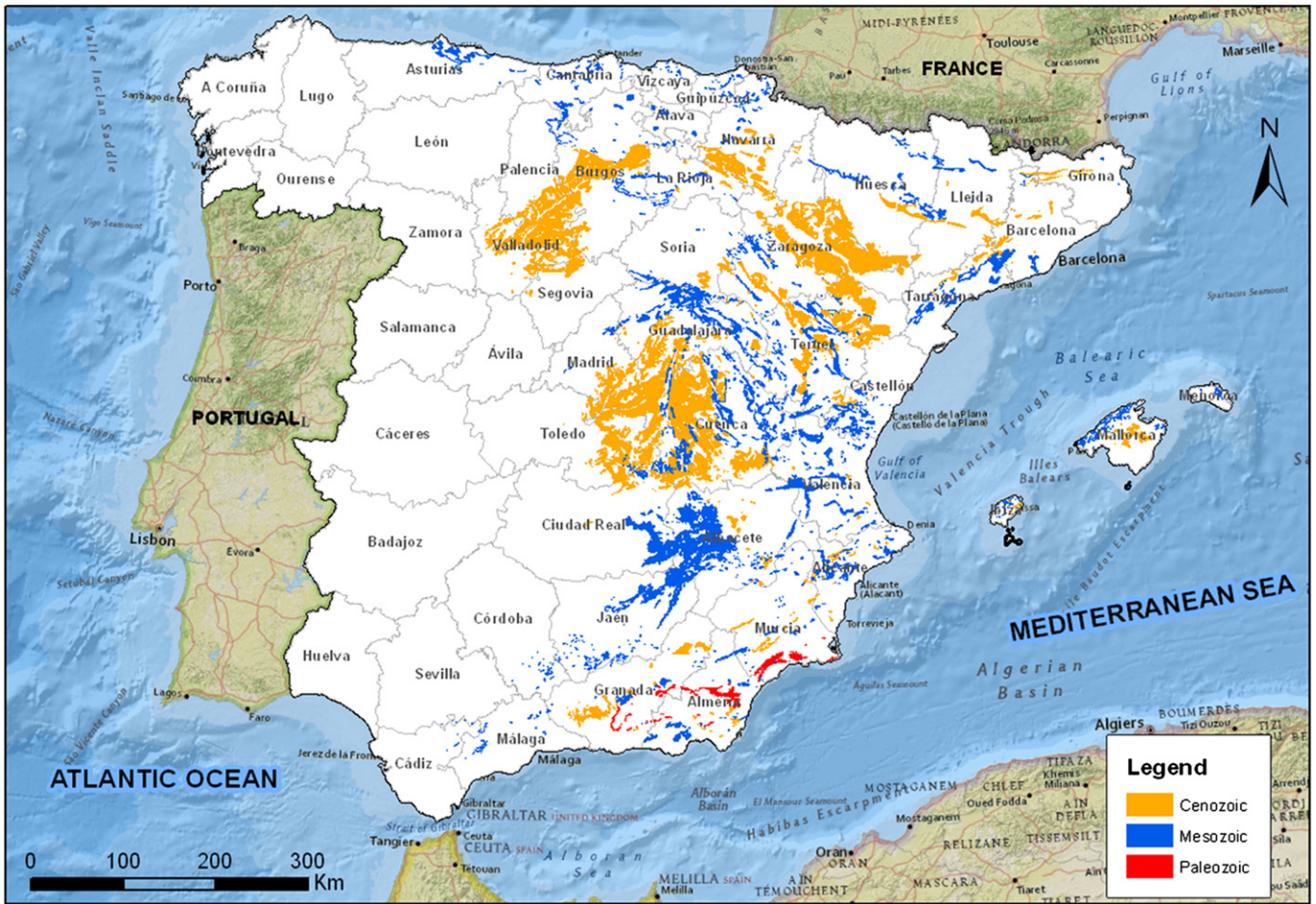


Fig. 2. Location of gypsum-bearing units outcrops in Spain classified by age.

3.2.1. Triassic

Triassic evaporites are the most abundant in the Spanish subsurface and rank second in terms of outcrop surface, after Neogene evaporites (Table 1). They have played a key role in the tectonic evolution during Alpine Orogeny, outcropping in all the Mesozoic mountain belts. All Triassic evaporites are marine in origin, according to the bromine content of the halite and the anhydrite isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) (Ortí et al., 1996).

3.2.1.1. Lower Triassic (*Buntsandstein facies*). The first relevant report of Mesozoic evaporites occurrence in Spain is the uppermost part of the Buntsandstein facies of the Catalanian Coastal Range (Virgili, 1958). Calcium sulfate occurs both as gypsum and anhydrite in centimeter thick units interbedded with red marls and scarce thin limestone layers (Bartrina and Hernández, 1990; Ortí et al., 1996). In the Aragonese branch of the Iberian Range, Arribas (1986a) described the Trasobares Clays and Marls Unit, at the top of the Buntsandstein, as centimeter thick layers of secondary gypsum interbedded with clays. Sandstone bodies are heavily cemented by gypsum. They have been primarily deposited in ponds of an intertidal and supratidal coastal zone with arid climate conditions. Due to the abundance of interbedded waste materials, this unit lacks any economic interest.

3.2.1.2. Middle Triassic (*Muschelkalk facies*). In the geology of Spain, the complete Middle Triassic sequence is composed of two carbonate units of Anisian–Ladinian ages (M1 and M3) separated by a mudstone-evaporite bed (Detrital-Evaporitic Intercalation named M2) and represents two transgressive–regressive cycles. These sequences appear

complete in the eastern part of the country but the lower units disappear progressively westwards (López-Gómez et al., 2002).

Muschelkalk evaporite facies appear in various GEODE Zones distributed in Cantabrian, Iberian Range, Prebetic, Internal Betic, Valencia Subsiding basin and Catalonia (Figs. 1 and 3). These materials occur in the Detrital-Evaporitic Intercalation of the Germanic Trias, defined by Garrido-Megías and Villena (1977), and is the equivalent level to the Intermediate Red Layer (M2) of the Catalanian Coastal Ranges (Virgili, 1955) and the Dolostones and Upper Marls Unit of the Aragonese branch of the Iberian Range (Arribas, 1986a). The mineralogy of Middle Triassic evaporites is dominated by gypsum and anhydrite. These sulfate-rich rocks have undergone lateral facies changes into halite-rich sediments formed in zones of higher subsidence rates. Halite in Middle Triassic reaches its maximum thickness in the Maestrat basin, where sodium chloride attains thicknesses of several hundred meters. The total surface area of these outcrops is around 197.2 km² (Table 1).

3.2.1.2.1. *Cantabrian Zone*. In this GEODE Zone the occurrence of evaporite deposits of Middle Triassic is included in the Fuentes Formation (Gervilla et al., 1973), although more recently, palynological analyses dated this materials as Upper Triassic (Martínez-García et al., 1998). These authors describe this unit as a succession of 200 m of red to greenish marls and silts interbedded with thin layers of sandstone. It is overlain by a 60 m thick unit of black and red marls, dolomites and gypsum. Rocks found in this area by García-Mondejar et al. (1986) were limited to those with mouldic porosity and breccias formed by evaporites dissolution in the Muschelkalk facies. Robles and Pujalte (2004) defined the Muschelkalk facies of the Cantabrian Chain as composed of two carbonate units, a lower partially dolomitized and a

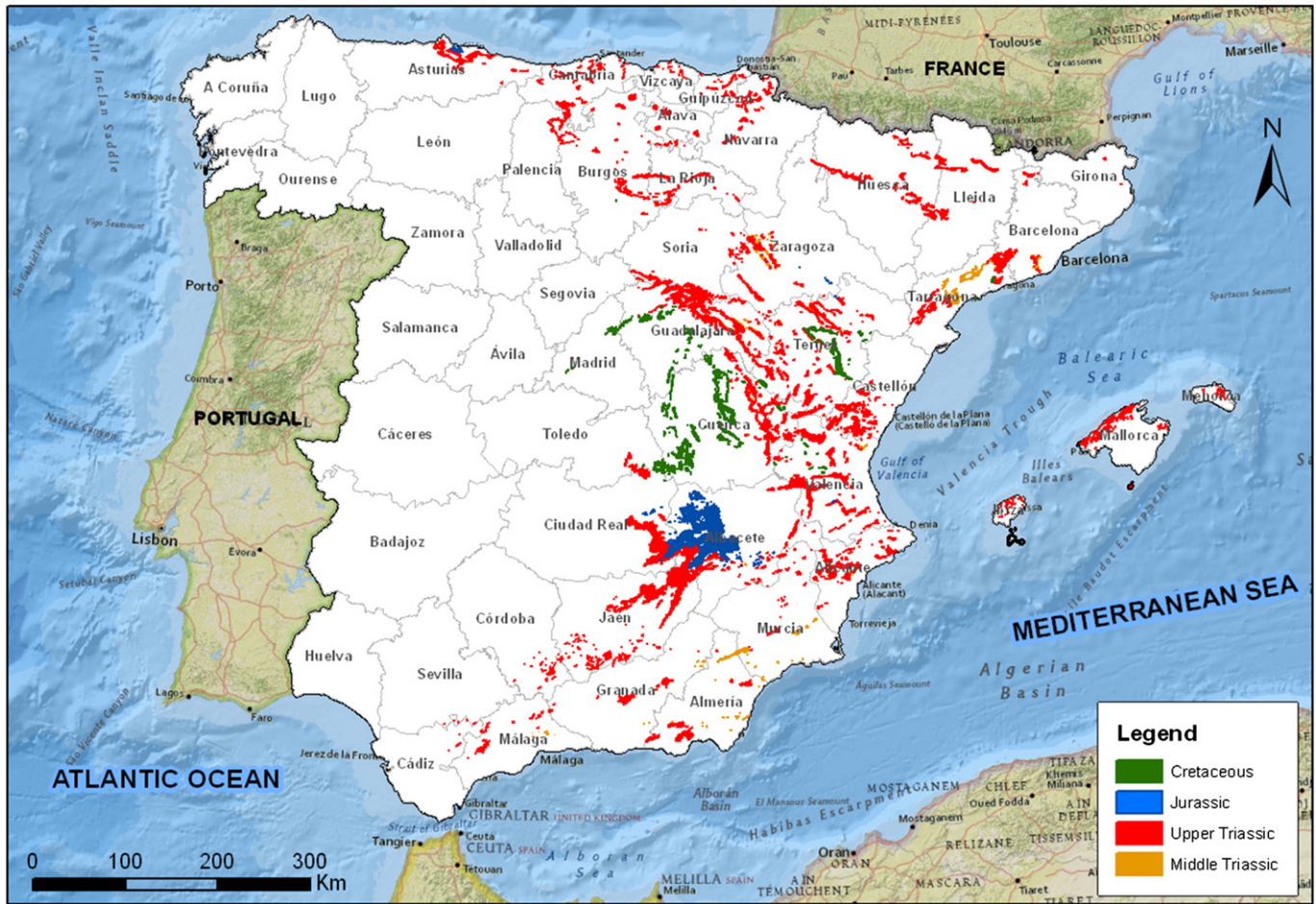


Fig. 3. Location of Mesozoic evaporite-bearing units outcrops.

completely dolomitized upper one. Towards the eastern GEODE Zones, the two carbonate units appear separated by the M2 (Garrido-Megías and Villena, 1977). Although GEODE evaporitic units are described for this age in the Cantabrian Zone, there is no clear evidence of their existence and these materials are not taken into account for further calculations.

3.2.1.2.2. Iberian Range Zone. This zone is divided into the northern or Aragonese branch, and the Meridional or Castilian branch, separated by the Cenozoic Calatayud and Teruel basins. In the Castilian branch, the three Middle Triassic members (M1, M2 and M3) appear complete in well-logs descriptions (López-Gómez et al., 2002) but the Detrital-Evaporitic Intercalation (M2) outcrops are not representative because these materials have acted as detachment levels and, in addition, evaporites have been dissolved at the surface. In outcrop, pseudomorphs of halite up to 3 cm width are found. These salts crystallized in the sediments of an inter-supratidal coastal zone (Ramos, 1979). In the Aragonese branch there is abundant mouldic porosity (Fig. 4A) and scattered carbonate and siliceous pseudomorphs after evaporitic minerals in the M2, some with anhydrite inclusions. This sequence is named the Dolostones and Upper Marls Unit (Arribas, 1986a), and the evaporites precipitated in supratidal sediments with indications of long periods of subaerial exposure.

3.2.1.2.3. Catalanian Zone. The Catalanian Coastal Range is the area where the Muschelkalk's Detrital-Evaporitic Intercalation (M2) outcrops have the wider lateral continuity (Virgili, 1958). These deposits range in thickness from 45 to 105 m and are composed of red clays and marls with gypsum, anhydrite, halite and minor carbonate layers. Gypsum and anhydrite are the most significant evaporitic components found in these lithologic units (Morad et al., 1995; Salvany, 1990).

3.2.1.2.4. Betic Zones. It is subdivided into the Internal and External Zones. The External Zone is included in the Guadalquivir Basin GEODE Zone and there are a few outcrops containing red and grey mudstones with thin layers of gypsum, assigned either to the upper part of the Buntsandstein or to the M2 (López-Gómez et al., 2002). Middle Triassic sequences of the Internal Zones are mainly carbonate with some non evaporitic units.

3.2.1.3. Upper Triassic (Keuper facies). The total Keuper facies surface in Spain is approximately 4197.3 km² (Table 1). In the Iberian Range and the Prebetic GEODE Zones, the Keuper deposits represent almost 70% of the total Iberian Keuper outcrops. The remaining 30% is broadly distributed throughout the Spanish territory (Catalonia, Pyrenees–Vasocantabrian Range, Internal Betic Zones, Valencia, Guadalquivir, and Tajo–Mancha Basins and the Balearic Islands) (Fig. 3).

3.2.1.3.1. Iberian Range Zone. In the Castilian branch this unit has been described as a succession of mudstones, marls and gypsum (Fig. 4B), with highly variable thickness due to changes produced by deformations related to the Alpine tectonic phase (López-Gómez et al., 2002). Authigenic quartz and aragonites (Fig. 4C) with anhydrite relicts are very common in these facies (Marfil, 1970). Evaporites occur as macrocrystalline gypsum crystals scattered or forming at various levels in the Los Gavilanes Clays and Gypsum Unit (Sopeña, 1979). In the Aragonese branch, Keuper deposits are widespread, with very poor quality outcrops. Del Olmo et al. (1983) described this unit as red, green and gray clays with nodules of secondary gypsum. According to those authors, these deposits were formed in a coastal flat, where successive sea transgression–regression cycles led to precipitation of evaporites in ephemeral lakes.

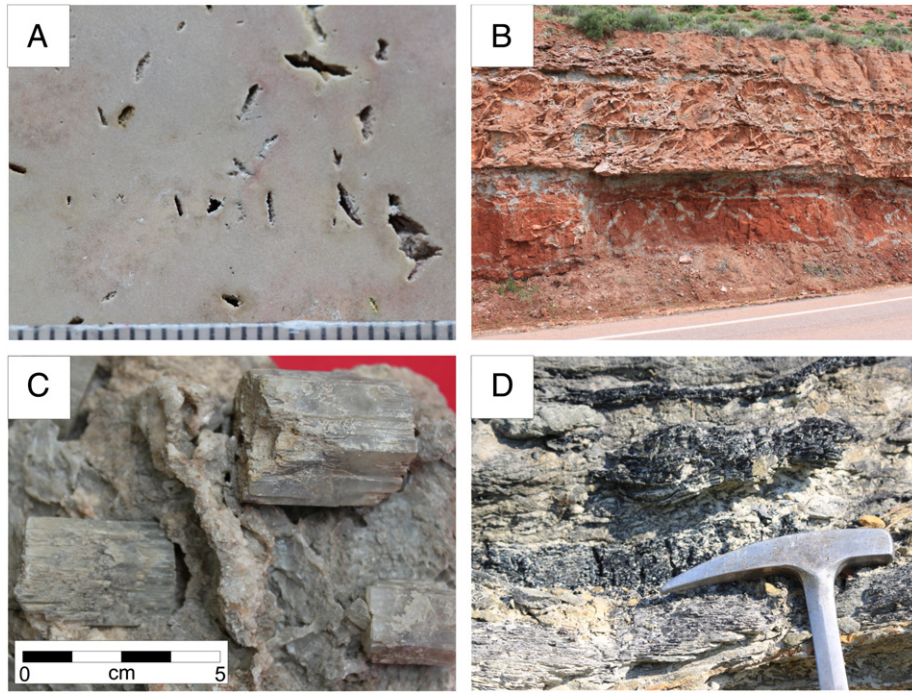


Fig. 4. Mesozoic evaporite examples from sedimentary sequences located in the Iberian Range GEODE Zone: (A) Mouldic porosity (anhydrite and gypsum pseudomorphs) in dolomiticrites, Aragonese Branch of the Iberian Range, Middle Triassic (Muschelkalk). Scale bar in millimeters; (B) Red clays interbedded with gypsum layers, Castilian Branch of the Iberian Range, Upper Triassic (Keuper); (C) Gypsum with aragonite crystals, typical authigenic mineral of Keuper facies; (D) Marls, lignite and gypsum crystals in the Cretaceous of Montalrubio–Utrillas area (Aptian–Albian).

3.2.1.3.2. Prebetic Zone. Keuper deposits of this zone have been described as clays, marls and sandstones with fossiliferous limestones and evaporites that belong to the Hornos–Siles Formation (López-Garrido et al., 1975). Later, Gil et al. (1987) subdivided this Formation into a lower unit that belongs to Muschelkalk facies (Middle Triassic), which is mainly detrital with few evaporites, and an upper carbonate and detrital–evaporitic unit that correlates with the Keuper units (K1–K5) described by Ortí (1974) in eastern Spain. This subdivision does not appear in the GEODE data and, therefore, we have been obliged to include this Formation into the Keuper deposits because most of the evaporitic materials appear in the upper part of the sequence (Keuper facies).

3.2.1.3.3. Catalanian Zone. The Keuper facies range from 50 to 150 m of gypsum, clays and carbonates, and is composed of three formations: from bottom to top, Miravet Gypsum Formation, El Molar Clays and Gypsum Formation and the Gallicant Clays and Carbonates Formation (Salvany and Ortí, 1987). The two lowermost formations are rich in gypsum layers interbedded with gray and red clays.

3.2.1.3.4. Balearic Islands Zone. The Keuper facies crops out in the three main islands, Mallorca, Menorca and Ibiza. The thicker deposits (almost 300 m) are located in northern Mallorca. These deposits are made of multicolored clays with interbedded volcanic materials capped by a thick evaporite bed of several meters (Rodríguez-Perea et al., 1987).

3.2.2. Jurassic

Jurassic outcrops of Ca-sulfates (Fig. 3) occur in the Cantabrian Range, Iberian Range, Prebetic and Ebro Basin GEODE Zones (Fig. 1). Most of them correspond to the “Anhydrite Member” of the Lower Jurassic (Hettangian age) (Ortí, 1987).

3.2.2.1. Cantabrian Zone. Hettangian outcrops are represented by the Gijón Formation, composed of evaporites and dolomites, reaching a thickness of 150 m (Julivert et al., 1973). In the Basque–Cantabrian basin subsoil, Hettangian evaporitic deposits are represented by the

Puerto Palombrera Formation, with more than 250 m of dolostones and limestones interbedded with anhydrite beds. The evaporite beds have been washed out of the surface and only carbonates are exposed (Aurell et al., 2002).

3.2.2.2. Iberian Range Zone. Evaporites have been found in the western part of this area (Aurell et al., 2002). Towards the east, an Hettangian evaporite sequence (up to 150 m thick) interbedded with dolomites (Léзера Formation) is exposed (Gómez and Goy, 1998). Gypsum content is higher in the upper part of this Formation, and presents two main facies, one massive and another laminated, that appear to be interbedded with dolostones. Thickness has been calculated from geophysical analysis and drillholes, and it reaches up to 700 m in the south-eastern part of the Iberian Range Zone (Gómez and Goy, 1998). These rocks pass laterally and vertically to the Cortes de Tajuña Formation, composed of brecciated carbonates.

3.2.2.3. Prebetic Zone. evaporites in this zone are Liassic in age and occur in a 40 to 60 m thick unit, where gypsum is interbedded with clays, marls and limestone layers (Alvaro-López et al., 1977). In Oxfordian–Kimmeridgian facies scarce evaporites appear associated with marls and sandy limestones (Lorente Formation) in the Tobarra area, Albacete (Elizaga et al., 1984).

3.2.3. Cretaceous

According to GEODE data, gypsiferous rocks of Cretaceous age outcrop in the Iberian Range, north-east of the Tajo–Mancha basin and Catalonia Zones (Fig. 3).

3.2.3.1. Iberian Range Zone. Cretaceous deposition of evaporites begins in the upper part of the Berriasian (Valdeprado Formation), towards the eastern part of the Cameros sub-basin, where an evaporitic playa-lake system developed (Martín-Chivelet et al., 2002). Later on, during the Aptian–Albian, appears to have formed black clays, lignites and gypsum crystals (Fig. 4D) in Montalrubio–Utrillas area (Martín et

al., 1979). These gypsum crystals have formed due to oxidative weathering of preexisting pyrite (Rodríguez-López et al., 2012) but the quantities formed have not been sufficient to be of economic interest.

3.2.3.2. Tajo-Mancha Basin Zone. this is a thick evaporite unit overlying the last carbonate marine platforms and underlying the Paleogene Unit (Arribas, 1986b) in the north-east of the Tajo basin. Here, the sequence is composed of white, black and reddish massive to fibrous gypsum interbedded with marls and clays (Adell et al., 1981). The lack of fossil remains in this unit makes it difficult to carry out precise age dating, but it may be considered late Cretaceous-early Paleogene in age. In the Cogolludo area, late Cretaceous-early Paleogene rocks attain thicknesses ranging between 800 and 1200 m (Portero et al., 1990). Gypsum beds are up to 90 m thick, with laminar, nodular and massive facies that represent a playa-lake environment. Such a playa-lake environment persisted in this area until Paleogene times. This gypsum is being extracted from a number of quarries mainly for plaster manufacture. In the La Mancha area, mouldic porosity of evaporites is found in dolomiticrites of the Cenomanian, formed originally in an intertidal marine setting (Fernández-Calvo, 1981). This author also described mixed evaporitic-carbonate sedimentation in the Senonian, characterized by pseudomorphs of evaporitic minerals. Associated intense brecciation is also found, interpreted as the result of the dissolution of evaporite layers.

3.2.3.3. Catalanian Zone. evaporites in this zone, mainly gypsum, are Albian in age. They appear related to sand, red clays and lignites. The main outcrop is located in Tarragona province, where scarce red gypsum and lignite layers are interbedded within yellow-brown marls and clays (Benzaquen et al., 1973).

3.2.3.4. Prebetic Zone. evaporites are limited to the Rambla de los Gavilanes and Cerrillares Formations, where sedimentation occurred in Campanian and Maastrichtian coastal lakes and tidal flats (Vera et al., 2002). However, there is no mention of evaporite deposits in the literature reviewed for these two units (Arias et al., 1981; García-Vélez and Soubrier, 1981; García-Vélez et al., 1981; Martín-Chivelet, 1994). Therefore, these lithologic units are not taken into account for calculations.

3.3. Cenozoic gypsum-bearing units

3.3.1. Paleogene and Neogene

Sediments have been accumulated in several Paleogene and Neogene basins during and after the Alpine Orogeny in Spain. Most of these basins have undergone periods of intense evaporation during these Epochs, with the exception of the Guadalquivir basin, which was connected to the Atlantic Ocean during most of this period (Fig. 5).

3.3.1.1. Iberian Range Zone. sedimentation of evaporites during the Cenozoic in the GEODE Zone corresponds mainly to the Calatayud and Teruel basins (Fig. 5). These basins separate the Aragonian and Castilian branches of the Iberian Range. Both of them were formed by extensional tectonics during Miocene, and were filled with up to 1500 m of detrital alluvial fan deposits that change distally into palustrine and lacustrine deposits (Anadón et al., 1997; Ortí and Rosell, 2000). Evaporites occupy the central areas of these systems.

3.3.1.2. Tajo-Mancha Basin Zone. Paleogene and Neogene evaporitic units of this Zone outcrop extensively (more than 4700 km²). This basin is divided in two sub-basins: the Madrid sub-basin to the west and the Loranca sub-basin to the east separated by the Altomira Range. Madrid sub-basin evaporites appear both in the Paleogene (Fig. 6A) and the Neogene sequences, but most predominant in the

lacustrine deposits of the Miocene's Lower and Intermediate Units (Fig. 5), where thick deposits of sulfates (mainly gypsum, glauberite and thenardite) and halite precipitated (Calvo et al., 1996). Despite the wide variety of evaporite minerals formed during this time interval, only gypsum is exposed. In the Loranca sub-basin, evaporitic sedimentation occurs from late Oligocene to Miocene ages (Arribas and Díaz-Molina, 1996; Díaz-Molina, 1974).

3.3.1.3. Ebro Basin Zone. this is one of the most prolific Cenozoic basins containing evaporites of Spain. There are nearly 4700 km² of outcropping Paleogene and Neogene gypsum-bearing units (Table 2). Most of them are continental in origin, except for two sequences, Beuda Gypsum Formation (Fig. 6B) and the South-Pyrenees potash basin that represent two transgressive events of Lutetian and Priabonian ages with important economic resources. Continental evaporites were formed from the Eocene (Barbastro, Puente la Reina and Copons gypsum) to the upper Miocene (Cerezo gypsum, Fig. 6C) with evaporitic sedimentation taking place during all Cenozoic Epochs (Ortí, 1990).

3.3.1.4. Duero-Almazán Basin Zone. in the Almazán sub-basin gypsiferous materials beds are exposed in the Bordalba-Deza area, at the top of a Paleocene sequence of marly limestones and clays (Lendínez et al., 1991b). A Middle Miocene deposit composed of sand, clay and marls with interbedded carbonates and gypsum layers appears towards the south (Lendínez et al., 1991a). Another Paleogene evaporitic unit is the Santibáñez del Val Formation, but in sedimentological studies of the area no evaporites have been described (Alonso et al., 1991; Quintero et al., 1982; Suárez-Rodríguez et al., 2008). Therefore, the Santibáñez del Val Formation is not taken into account for further calculations. In the Duero sub-basin, evaporites are located in Miocene deposits (Ramblian to Vallesian), where these are found in several units interpreted as lacustrine-palustrine systems that formed the central areas of an endorheic basin (Armenteros et al., 2002). Most of the evaporitic materials appear as gypsum facies in the northern, eastern and central parts of the Duero Basin (Villatoro and Cuestas Units), where selenite gypsum crystals are common (Fig. 6D).

3.3.1.5. Internal Betic Zone. several Neogene basins occur in this area (outer basins) and in the contact area between the Internal and the External Betic Zones (inner basins). Both areas have similar environmental evolution up to late Tortonian times (Braga et al., 2002). From this moment, the inner basins became isolated from the Mediterranean area by uplifted blocks and aridity became dominant. These climate conditions resulted in the genesis of hundreds of meters-thick evaporite sequences containing mainly gypsum. Sedimentation of evaporites in the inner basins occurred from late Tortonian to early Messinian times. Meanwhile, the outer basins remained connected to the sea, except for short periods of time, mainly during the late Messinian, when the basins were isolated from the sea (i.e. Caños Formation in the Sorbas basin). Evaporites contain primary gypsum, which appears as characteristic selenite crystals (Fig. 6E and F). In some cases halite has been described from areas such as Lorca basin (Playá et al., 2000). The Sorbas basin is the main source area for gypsum that is exported from Spain (nearly 3 million tonnes in 2009). The enormous reserves of very high quality Sorbas gypsum, together with the proximity to port facilities, make this area an important international trading centre for this commodity.

3.3.2. Quaternary

There are about 1092.1 km² of Quaternary sulfate rich sediments outcropping all over Spanish territory (Fig. 5). They formed from lower Pleistocene to Holocene. In continental environments, there are currently active endorheic evaporitic areas like those of the Tajo-Mancha Basin Zone (De la Peña and Marfil, 1986; Ordóñez et al., 1994; Pueyo and de la Peña, 1981; Schreiber et al., 2001) (Fig. 7A, B and C), Duero-Almazán Basin Zone (Santisteban et al.,

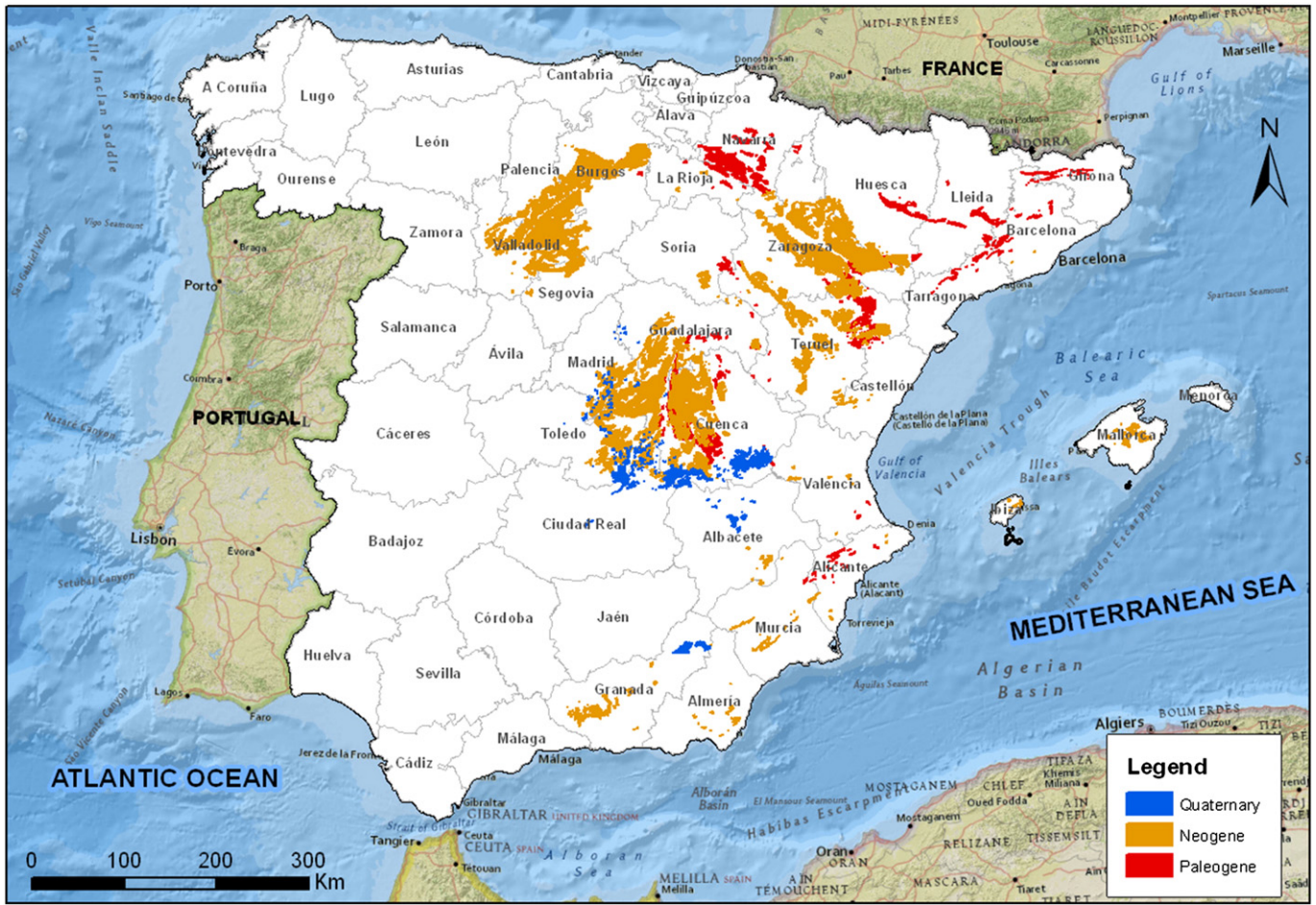


Fig. 5. Location of Cenozoic gypsum-bearing units outcrops in Spain.

2003), Iberian Range Zone (Pérez et al., 2002) and Ebro Basin Zone (De la Peña and Marfil, 1986; Mees et al., 2011; Mingarro et al., 1981; Pueyo, 1978/79; Pueyo and de la Peña, 1981). In these areas, playa-lakes are common with complex mineralogical associations (gypsum, epsomite, thenardite, glauberite, halite and bittern salts).

Coastal and inland salt exploitations have not been taken into account for this study even though they play an important economic and scientific role. From the total 22 million tonnes of salt produced in Spain in 2010, 19.6 million tons were exploited from coastal salinas (Fig. 7D), and 92000 tonnes from inland Salinas. The remaining 2.4 million tonnes were obtained from Barcelona and Navarra salt mines (DGPEM, 2010). In addition to their economic interest, salinas are a field laboratory to study evaporite crystallization sequences, brine chemistry evolution and early diagenetic processes in saline environments (Pueyo, 1981).

4. Discussion

The position of the Spanish major gypsum outcrops on geological maps enables to classify them by age and to establish their other important characteristics. Comparing these results with the main gypsum deposits in the world allows understanding the main factors that have controlled their origin.

4.1. Controls on evaporitic deposition in the geological record of Spain

The precipitation of salts as evaporites in restricted basins occurs under extreme climatic conditions, where the water loss exceeds

inflow in a brine. The evaporation increases salt concentration due to progressive reaching of the saturation levels of the dissolved species (Warren, 2006). According to Warren (2006), the existence and characteristics of the evaporitic deposits are controlled primarily by three factors, tectonics, climate and chemistry of the brine, and their interactions (Fig. 8).

The chemistry of the brine, the degree of concentration (controlled by climate and tectonics) and the method of concentration (evaporation or freezing) control the primary mineralogy of the saline deposits (Rouchy and Blanc-Valleron, 2009). The chemistry of the brine is a key factor for continental and mixed marine-continental settings (Warren, 2006). In pure marine environments, the degree of concentration of the brine is the main factor for the initial mineralogy of the deposit. Hydrothermal and volcanic activity can provide brines and ions that would impact in the mineralogy of the deposit. Nevertheless, the final mineralogy depends on the initial mineralogy as well as the diagenetic history of the rock (Schreiber and El Tabakh, 2000).

The volume of the evaporite deposits is controlled both by tectonic activity, which produces the space to be filled, and climate, which feeds the system with extra brines. Tectonic activity can also produce low humidity areas due to triggering of topographical barriers (rain shadows beyond mountain belts) or by increasing distance to the sea (continental climate in the interior of merged supercontinents). Climate controls the water input to the system, primarily by the rainfall, which is progressively enriched in ions from pre-existing minerals. Materials arrangement and cyclical nature of the deposits can be due to climatic cycles (diurnal, seasonal, icehouse-greenhouse, etc.) that modify temperature, air humidity, precipitation, wind intensity and direction, etc.

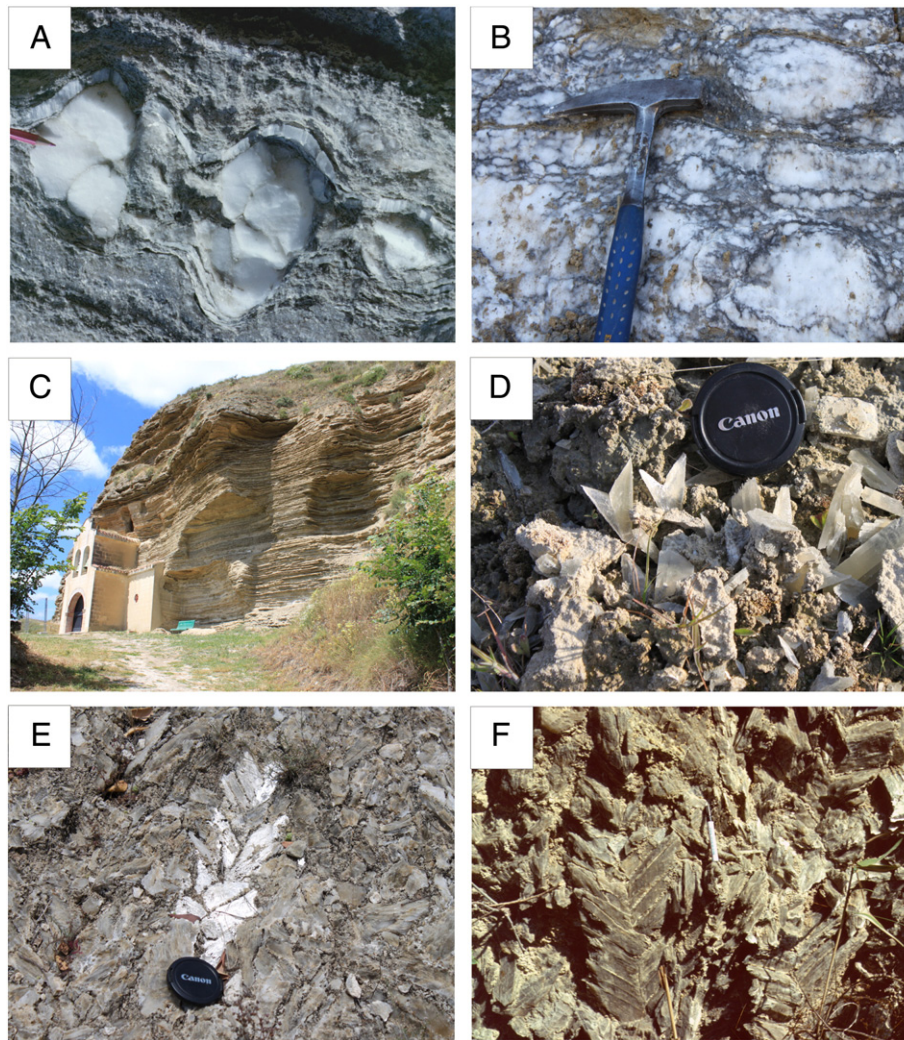


Fig. 6. Paleogene and Neogene evaporites outcrops: (A) White nodules in alabastrine grey gypsum (Paleogene), Tajo-Mancha Basin GEODE Zone; (B) Nodular and chicken-wire gypsum, Beuda Gypsum Formation (Paleogene), Ebro Basin GEODE Zone; (C) Laminar gypsum facies (Neogene), Ebro Basin GEODE Zone; (D) Selenite gypsum crystals in marls (Neogene), Duero Basin GEODE Zone; (E) Selenite gypsum crystals, Caños Formation (Neogene, Messinian), Sorbas basin (Internal Betic GEODE Zone); (F) Selenite gypsum crystals (Neogene, Messinian), San Miguel de Salinas (Internal Betic GEODE Zone).

Tectonic pulses can produce cyclic features in the deposits by successive modification of the basin geometry and the change in the materials arriving at the basin center (i.e. terrigenous materials). Plate motion impacts directly in the local climate through variation of the latitude.

There are many studies dealing with the relationship between the main evaporite depositional periods of the Earth history and the factors and their implications involved in evaporite deposition (Fig. 9).

Fischer (1982) pointed out that generation of evaporites follows an oscillation pattern in the geological record that is in phase with parameters such as magmatic activity. This author established 300 My long cycles based on parameters such as sea level oscillations, variation in the magmatic activity and its control in climate, atmospheric CO₂ levels and generation of topographic barriers. He proposed that the Earth conditions vary between greenhouse states with high

Table 2
Area (km²) of gypsum-bearing units outcrops classified by GEODE Zone and Period. Permo-Triassic, Middle Triassic, Cretaceous and Quaternary are grouped in the column named Rest of Periods.

Geode Zones/Period	Upper Triassic	Jurassic	Paleogene	Neogene	Rest of Periods	Total
Cantabrian	152.2	18.0				170.2
Pyrenees-Vascocantabrian Ranges	380.8					380.8
Iberian Range	1441.5	1.5	291.7	1386.4	668.1	3789.2
Prebetic	1466.0	1046.7	35.6	38.6	5.3	2592.2
Internal Betic	215.5			64.7	241.2	521.4
Balearic Islands	70.0			129.5		199.5
Duero-Almazan Basin			40.8	1991.7	0.1	2032.6
Tajo-Mancha Basin	3.9		401.3	4283.6	1052.6	5741.3
Guadalquivir Basin + Subbetic	99.5			249.1	122.8	471.4
Ebro Basin		1.8	1438.8	3235.0	9.8	4685.3
Valencia Subsiding Basin	114.9			6.1	3.9	124.8
Catalonia (only Mesozoic)	253.0				115.4	368.4
Total	4197.3	1068.0	2208.1	11,384.6	2219.1	21,077.1

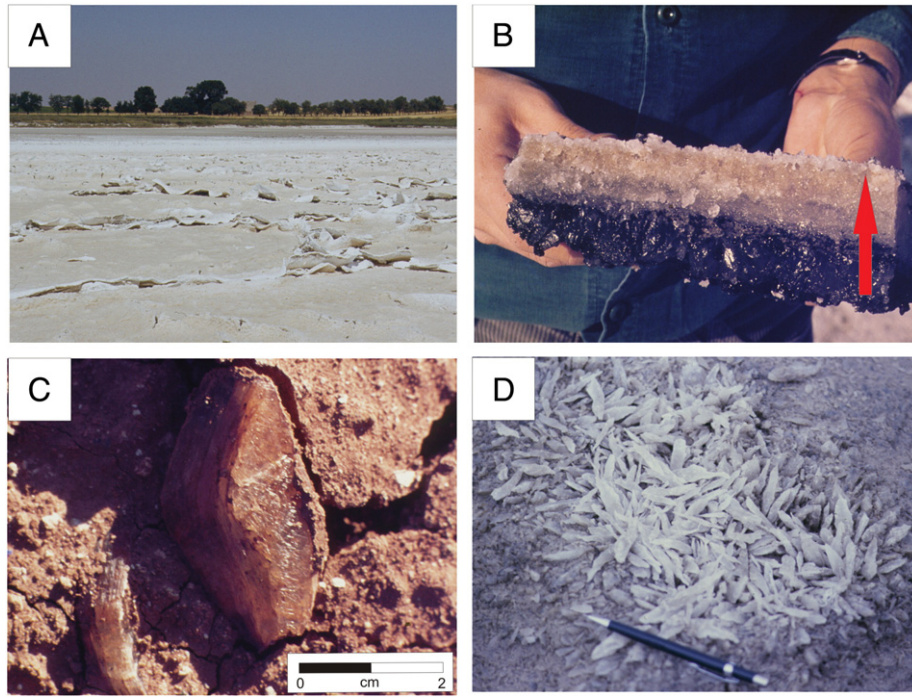


Fig. 7. Recent evaporite deposits: (A) Playa-lake of Tirez, Tajo-Mancha Basin GEODE Zone; (B) Detail of the annual crust formed in the Tirez playa-lake: from base to top (marked by arrow) the mineralogy varies from gypsum, to epsomite, thenardite and halite; (C) Growth of gypsum by displacement within pre-existing sediment in the edges of a playa-lake developed over a Triassic substrate (Tajo-Mancha Basin GEODE Zone); (D) Selenite crystals growing in the abandoned coastal salina of Alicante (Internal Betic GEODE Zone).

sea-level, equable climates and high level of atmospheric CO₂ levels, and icehouse states of low sea level, large poles-equator climatic gradients, and low CO₂ levels (Fig. 9). Other factors are the change in the rate of plate motion (Stanley and Hardie, 1998), position of the continents in relation to the Horse Latitudes (Warren, 2010), and climate (Veizer et al., 2000) (Fig. 9).

Hardie (1996) showed that the greenhouse phases of Fischer (1982) were correlated with periods of KCl rich marine evaporites (high-rates of sea-floor spreading periods), and the MgSO₄ rich evaporites correlated with glacial periods (low-rates of sea-floor spreading periods) (Fig. 9).

Veizer et al. (2000), estimated climate temperatures from δ¹⁸O values and established orbital cycles of 135 My (Fig. 9). These cycles are marked by the flux of cosmic rays that permit the formation of low-level clouds, and higher albedo resulting in a cooler climate. Royer et al. (2004) related these same cycles to CO₂ variations in the atmosphere, with the 135 My oscillation remaining.

Shaviv and Veizer (2003) defined periods of warm and cold climate (Fig. 9) based on the comparison of the climate temperature variations (Veizer et al., 2000) and the temperature fluctuation estimated from cosmic ray flux (Royer et al., 2004).

4.2. Time and space evaporites distribution in Spain

The analysis of the spatial and temporal distribution of the Spanish evaporites deposits permits us to develop paleogeographical and paleoenvironmental conclusions. The extent of gypsum outcrops and their geographical distribution, together with the subsurface studies of evaporites, show the position of the main sedimentary depocenters and their migration with time, generally related to tectonic patterns. At present, evaporites are precipitating in some restricted portions of the main Spanish basins such as Ebro, Duero and Tajo-Mancha. Evaporite deposits of previous ages appear in other geographical locations, and have different origins and compositions. Spanish marine evaporite deposits range in age from Permian to Neogene, and indicate particular past plate-tectonic, eustatic and hydrogeochemical associations. The main marine formations occur in the Upper Triassic - Lower Jurassic successions in central Spain, the Jurassic and Cretaceous rocks of the Iberian Ranges, the Eocene foreland basin of the Pyrenees, and the Neogene evaporites of the Mediterranean coast. From the Paleogene, the evaporite deposits in Spain are dominantly, although not exclusively, of continental origin.

The first evaporites described in the Spanish geological record occur as pseudomorphs of anhydrite, gypsum and halite in the lower Cambrian of the Cantabrian Range (Álvaro et al., 2000; Marfil et al., 1984). Upper Permian to Triassic evaporites are exposed in the Internal Betic Zone located in the South-East of Spain, but as

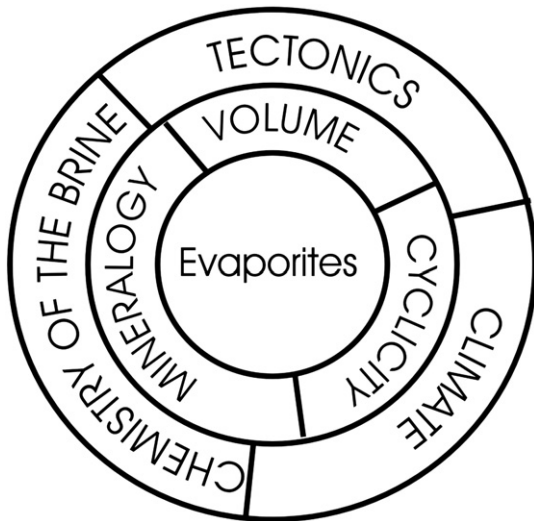


Fig. 8. Factors that control the deposition and characteristics of evaporites deposits. The main factors that control the characteristics of the deposit (mineralogy, volume and materials arrangement) are climate, tectonics and the chemistry of the brine. The interrelation between those different factors controls the existence and the characteristics of the evaporite deposits.

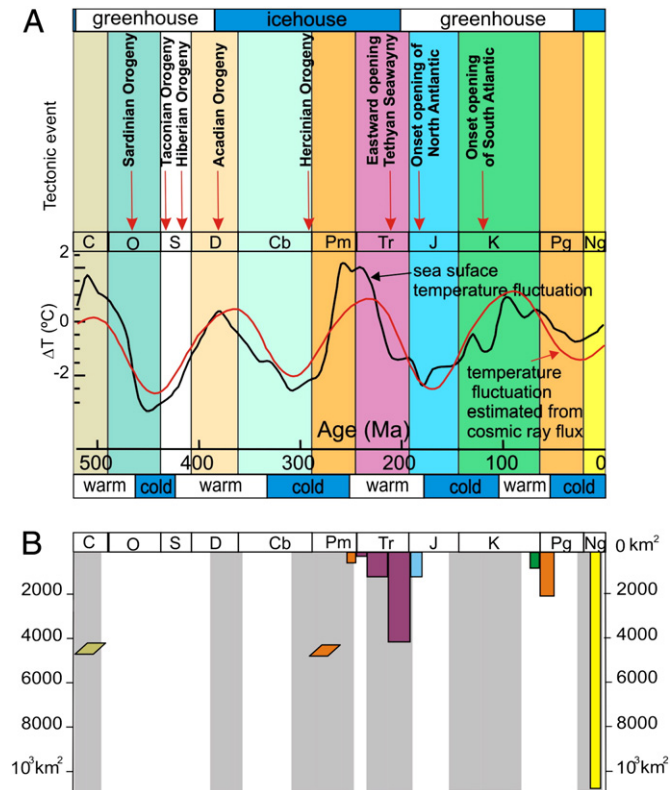


Fig. 9. (A) Long oscillation cycles observed in the sedimentary record and their proposed interpretations (greenhouse after Fischer (1982); tectonics after Warren (2010); warm-cold cycles and temperature curves of the sea surface after Shaviv and Veizer (2003) and Veizer et al. (2000); (B) Surface of Spanish gypsum outcrops for different ages (USGS, 2009) with the vertical scale in km² of outcrop. In grey are marked the global moments of massive evaporite sedimentation (Warren, 2010). Rhomboid mark the occurrence in Spain of evaporitic mouldic porosity or pseudomorphs after evaporite minerals.

stated earlier, their age is controversial. They appear to be overlying rocks affected by the Hercynian Orogeny (Fig. 9). Permian deposits are found in a wide variety of basins in northern and central Europe (i.e. the Zechstein basin) and represent deserts formed in the interior of the Hercynian foreland basin, related to the final accretion of the Pangea supercontinent. The Zechstein late Permian salts were deposited when the sea was subjected to subsea-level depressions (Warren, 2010). The Permian salt deposits were formed when the sea surface reached the highest recorded temperature of the Earth (Veizer et al., 2000).

Triassic evaporite deposits are widely exposed in many areas of the north (Cantabria and Basque provinces), east (Pyrenees and Iberian Ranges), and south (Betic Cordilleras). The Triassic evaporite sedimentation is related to the initial opening of the Atlantic Ocean (Fig. 9) and the evaporite salts were formed at the interior of the Pangea supercontinent, close to an arid Horse Latitude (Warren, 2010). They were formed all through the Triassic, showing a volume increase towards the top of the period. This time span has been characterized as a warm cycle (Fischer, 1982), where the temperature of the water surface was decreasing with time. The precipitation of evaporites took place during the lower sea level parts of various transgressive–regressive cycles.

Due to their plastic character, the Triassic facies have acted as decollement surfaces mainly during the tectonic movements associated with the Alpine Orogeny. This is observed in the outcrop distribution that limits the main Alpine tectonic features.

Jurassic evaporites appear as small outcrops in the Cantabrian and Iberian Range Zones. The biggest concentration of evaporites occurs in

the Prebetic Range (south-east Spain). The sea surface temperatures were relatively low during the Jurassic period. There was an increase in the temperature trend during the Cretaceous, with several minor cycles. The Cretaceous evaporites in Spain appear in the Duero basin margins, Iberian Range and towards Eastern Spain. During the Aptian period, rifting of the south-Atlantic produced the compartmentalization of different grabens and sub-grabens that were filled by detrital sediments derived from the rift borders. Towards the Barremian, the tectonic activity was drastically reduced, and lacustrine environments dominated the sedimentation of these basins. The Jurassic and Cretaceous periods record declining salinity conditions, associated with salt extractions during the opening of North-Atlantic (Middle to Upper Jurassic) and South-Atlantic (Lower Cretaceous) (Fig. 9). During the post-rift depositional phases (Warren, 2010) sedimentation was characterized by frequent sea level variations (Hallam, 1977; Vail et al., 1977), with deposition of evaporites that alternate with marine shelf and platform carbonates.

Cenozoic salt deposits are located in saline units of the Ebro, Duero and Tajo basins. There are also some saline formations in intramontane and marginal basins of the Betic Cordillera in southern Spain.

Paleogene deposits are abundant in the north-eastern part of Spain. Most of the outcropping gypsum is of continental origin (Iberian Range and west of the Ebro basin). However, those located at the eastern part of the Ebro basin appear to be related to the last two marine incursions (Priabonian and Lutetian ages) of the Atlantic.

In the Neogene, the evaporite deposits crop out in the central parts of the endorheic Duero, Ebro and Tajo basins, with variable lateral extent and vertical thicknesses. Small Neogene intramontane basins (Iberian and Catalanian Coastal Ranges and Betic Cordillera) formed by the subdivision of the Tethys into many smaller size basins. These continental evaporites were originated from brines formed by the dissolution of previous evaporite deposits, mostly Triassic and sometimes Permian. The evaporite deposits formed the central part of continental lacustrine deposits.

There are also various marine gypsum deposits of Neogene age in southern Spain. These are located at the margins of the latest saline giant deposits that filled several Messinian basins of the Mediterranean region. The Messinian basins system was created during the collision of Eurasia with North Africa, just after the onset of the ice cap of Antarctica. The salts precipitation was due to evaporation of great volumes of seawater that seeped into the hydrographically restricted sub-sea level depressions of the Mediterranean basin.

Quaternary deposits appear in the Tajo, Duero and Ebro basins and in coastal and inland salinas. The continental evaporites form in endorheic lacustrine settings that are feed by waters that leach older evaporite deposits (Warren, 2006). In Spain, most of the inland salinas have concentrated brines due to chemicals sourced from Triassic terrains.

The diverse sedimentary settings of evaporite deposits appear in the Spanish geological record reflect the complex processes operating in the evaporite deposition.

Spanish evaporitic sedimentation from late Permian to early Jurassic took place in a system where global geologic factors controlled the salts deposition. The time of formation of the Spanish deposits correlates perfectly with a global warming period and the deposition of saline bodies in other parts of the World (Warren, 2010) like in the Mandawa basin, Tanzania (Warren, 2006). Most of those deposits are marine in origin and they have a strong global climatic control (Fig. 9).

Younger evaporites precipitation in Spain was governed by local or regional factors: Upper Cretaceous–Paleogene deposits and Neogene ones were deposited in intramontane basins produced by the Alpine Orogeny. This orogeny compartmentalized the Spanish territory creating topographic barriers and endorheic areas that evolved independently. These local geographic conditions explain the unexpected appearance of evaporites during unfavorable global climatic conditions

for generation of evaporites (Fig. 9). Marine Messinian salts precipitated due to the partial closure of the Mediterranean Sea during the Alpine Orogeny.

5. Conclusions

The distribution pattern of Spanish gypsum outcrops indicates paleogeographical, paleoenvironmental and tectonic conditions throughout the geological history of the Iberian Peninsula.

The saline outcrops in Spain occupy 4.2% of the country's surface area. Most of the outcrops have gypsum as sole mineralogy. Other evaporite minerals such as anhydrite, halite, potassium salts, and calcium and sodium sulfates appear in the subsurface.

Evaporite outcrops are more abundant in the eastern half of the country and they are missing in most of the western regions. Mesozoic evaporites are widely exposed in the eastern half of the country. In contrast, Cenozoic outcrops appear mainly in the northern part.

Although it can be inferred that there are evaporitic deposits in Spain as old as lower Cambrian, confirmed evaporite deposits appear from Triassic to Quaternary ages. The most abundant outcropping evaporites are Neogene in age, but most of the total volume of saline materials was deposited during the Mesozoic, mainly during the Triassic.

Marine evaporites in the Spanish geological record appear mainly in Permian, Triassic, Jurassic, Cretaceous and Neogene sequences. Salts deposits of continental origin are frequent in the Neogene, and become dominant in the Quaternary.

Mesozoic evaporitic units contributed solutes to continental drainage inflows in several endorheic depressions.

Global climate and a favorable tectonic setting are the main factors that have controlled the origin, distribution and volume of Mesozoic saline deposits of Spain. During this period, Spanish evaporite deposits were marine and their formation was controlled by global environmental and climatic conditions.

Local (continental evaporites) and regional factors (Messinian sequences) have controlled Cenozoic evaporites precipitation in Spain. The Alpine Orogeny has played a key role, generating vast endorheic basins, like the Ebro, Duero and Tajo basins, surrounded by important orographic barriers that offered the required conditions to accumulate thick deposits of continental evaporites. The collision of the African plate with the Iberian Peninsula produced the partial closure of the Mediterranean Sea and the origin of massive evaporite sequences in the Mediterranean basin. Several sub-basins produced by this tectonic event exist in or close to the Spanish Mediterranean coast with thick deposits of gypsum.

Acknowledgements

We are grateful to Professor José Andrés de la Peña for all the assistance, comments and support from the beginning of this research. He should be considered an author of this work. We thank the Spanish Geological Survey (IGME) for all the data freely available from its website. Thanks to two anonymous reviewers for their comments and helpful suggestions. This study was financed by the Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid (Project 396/2009-4153239).

References

Adell, F., Bascones, F., Martínez-Alvares, L., Tena-Dávila, F., González, E. and Rodríguez-González, A., 1981. Hoja geológica num. 461 (Sigüenza). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Alberto, F., Navas, A., 1986. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. I Cartografía de síntesis de las formaciones con yesos. An. Aula Dei 18 (1–2), 7–18.

Aldaya, F., Puga, E., Díaz de Federico, A. and García, V., 1979. Hoja geológica num. 1042 (Lanjarón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Alonso, A., Meléndez, N., Mas, R., 1991. Sedimentación lacustre durante el Cretácico en la Cordillera Ibérica, España. Acta Geol. Hisp. 26 (1), 35–54.

Álvaro, J.J., Rouchy, J.M., Bechstädt, T., Boucot, A., Boyer, F., Debrenne, F., Moreno-Eiris, E., Perejón, A., Vennin, E., 2000. Evaporitic constraints on the southward drifting of the western Gondwana margin during Early Cambrian times. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 160 (1–2), 105–122.

Alvaro-López, M., García Argüeso, J.M., Manjón, M., Navidad, M., Cabañas, I., Uvalde, M.A., Sanchez, V., Yébenes, A. and Peláez, J.R., 1977. Hoja geológica num. 814 (Villanueva de la Fuente). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Anadón, P., Ortí, F., Rosell, L., 1997. Unidades evaporíticas de la zona de Libros-Cascante (Mioceno, Cuenca de Teruel): características estratigráficas y sedimentológicas. *Cuad. Geol. Iber.* 22, 283–304.

Arias, C., Bascones, L., Lendínez, A., Martín-Herrero, D., Tena-Dávila, M. and La Moneda, E., 1981. Hoja geológica 791 (Chinchilla de Monte Aragón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Armenteros, I., Corrochano, A., Alonso-Gavilán, G., Carballeira, J., Rodríguez, J.M., 2002. Duero basin (northern Spain). Tertiary. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 255–292.

Arribas, J., 1986a. Sedimentología y Diagénesis del Buntsandstein y Muschelkalk de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Provincias de Soria y Zaragoza). Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 621 pp.

Arribas, M.E., 1986b. Petrología y análisis secuencial de los carbonatos lacustres del Paleógeno del sector N de la cuenca terciaria del Tajo (provincia de Guadalajara). *Cuad. Geol. Iber.* 10, 295–334.

Arribas, J., Díaz-Molina, M., 1996. Saline deposits associated with fluvial fans, Late Oligocene–Early Miocene, Loranca Basin, Central Spain. In: Friend, P., Dabrio, C. (Eds.), *Tertiary basins of Spain*. Cambridge University Press, Cambridge, The stratigraphic record of crustal kinematics, pp. 308–312.

Aurell, M., et al., 2002. Jurassic. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 213–253.

Bartrina, T., Hernández, E., 1990. Las unidades evaporíticas del Triásico del subsuelo del Maestrazgo. In: Ortí, F., Salvany, J. (Eds.), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*. Nuevas aportaciones y guía de superficie, Enresa, Barcelona, pp. 34–38.

Benzaquen, M., Núñez, A. and Martínez, W., 1973. Hoja geológica num. 446 (Valls). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Braga, J.C., Martín, J.M., Aguirre, J., 2002. Southern Spain. Tertiary. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 320–327.

Calvo, J.P., Alonso-Zarza, A.M., García del Cura, M.d.I.A., Ordóñez, S., Rodríguez-Aranda, J.P., Sanz-Montero, M.E., 1996. Sedimentary evolution of lake systems through the Miocene of the Madrid Basin: paleoclimatic and paleohydrological constraints. In: Friend, P., Dabrio, C. (Eds.), *Tertiary basins of Spain*. The stratigraphic record of crustal kinematics. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 272–277.

De la Peña, J.A., Marfil, R., 1986. La sedimentación salina actual en las lagunas de la Mancha: una síntesis. *Cuad. Geol. Iber.* 10, 235–270.

Del Olmo, P., Olivé, A., Gutiérrez, M., Aguilar, M.J., Leal, M.C. and Portero, J.M., 1983. Hoja geológica num. 438 (Paniza). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.

DGPEM, 2010. Estadística Minera de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid, pp. 28–36.

Díaz-Molina, M., 1974. Síntesis estratigráfica preliminar de la serie terciaria de los alrededores de Carrascosa del Campo. *Estud. Geol.* 35, 241–251.

Egeler, C.G., Kampschuur, W., Langenberg, C.W., Montenat, C., Pignatelli, R. and Rondeel, H.E., 1974. Hoja geológica 954 (Totana). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. IGME, Madrid.

Elizaga, E., Gállego, I.C., García de Domingo, A. and López, F., 1984. Hoja geológica 843 (Hellín). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Escayv, J.I., Herrero, M.J., Bustillo, M., 2011. Spanish gypsum market: is life after death? In: IAS (Ed.), *28th IAS Meeting of Sedimentology*, Zaragoza (Spain).

Espinosa, J.M., Martín-Vivaldi, J.M., Martín-Alafont, J.M. and Pereda, M., 1974a. Hoja geológica 997 (Aguilas). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.

Espinosa, J.M., Martín-Vivaldi, J.M., Martín-Alafont, J.M., Pereda, M., Perez, A. and López, M.J., 1974b. Hoja geológica 976 (Mazarrón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.

Fernández-Calvo, C., 1981. Sedimentología y Diagénesis del Cretácico Superior de la Mancha (Provincia de Cuenca). Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 297 pp.

Fischer, A.G., 1982. Long-term climatic oscillations recorded in stratigraphy. In: Berger, W.H., Crowell, J.C. (Eds.), *Climate in Earth History*. National Academy of Sciences, Studies in Geophysics, Washington, D.C., pp. 97–104.

García-Mondejar, J., Pujalte, V., Robles, S., 1986. Características Sedimentológicas, Secuenciales y Tectoestratigráficas del Triásico de Cantabria y Norte de Palencia. *Cuad. Geol. Iber.* 10, 151–172.

García-Vélez, A. and Soubrier, J., 1981. Hoja geológica 795 (Játiva). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

García-Vélez, A., García-Ruz, L., Muelas, A., Soubrier, J. and Forcat, C., 1981. Hoja geológica 746 (Llombay). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.

Garrido-Megías, A., Villena, J., 1977. El Trias Germánico en España: Paleogeografía y Estudio Secuencial. *Cuad. Geol. Iber.* 4, 37–56.

Gervilla, M., Beroiz, C., Pignatelli, R., Baron, A., Coma, J.E., Felgueroso, C., Ramirez del Pozo, J. and Giannini, G., 1973. Hoja geológica 29 (Oviedo). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.

Gil, A., Fernández, J., García-Hernández, M., Hirsch, F., 1987. Las Facies Carbonatadas del Triás Medio de la Formación Hornos-Siles (Provincia de Jaén, Zona Prebética). *Cuad. Geol. Iber.* 11, 445–458.

Gómez, J.J., Goy, A., 1998. Las unidades litoestratigráficas del tránsito Triásico-Jurásico en la región de Lércera (Zaragoza). *Geogaceta* 23, 63–66.

- Gutiérrez, F., Calaforra, J.M., Cardona, F., Ortí, F., Durán, J.J., Garay, P., 2008. Geológico and environmental implications of the evaporite karst in Spain. *Environ. Geol.* 53, 951–965.
- Hallam, A., 1977. Secular changes in marine inundation of USSR and North America through the Phanerozoic. *Nature* 269, 769–772.
- Hardie, L.A., 1996. Secular variations in seawater chemistry: an explanation for the coupled secular variation in the mineralogies of marine limestones and potash evaporites over the past 600 My. *Geology* 24, 279–283.
- IGME, 2012. www.igme.es.
- Julivert, M., Truyols, J., Ramirez del Pozo, J. and Giannini, G., 1973. Hoja geológica 14 (Gijón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Laya, H., Benayas, J., Marfil, R., 1993. Yesos lenticulares de origen detrítico en suelo de la España central. *Cuaternario y Geomorfología* 7, 49–56.
- Lendínez, A., Gabaldón, V. and Martín, A., 1991a. Hoja geológica 435 (Arcos de Jalón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Lendínez, A., Ruiz Fernández de la Lopa, V., Gabaldón, V. and Serrano, A., 1991b. Hoja geológica 408 (Torrijo de la Cañada). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- López-Garrido, A.C., González Donoso, J.M., Linares, A. and García Hernández, M., 1975. Hoja geológica 887 (Orcera). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- López-Gómez, J., Arche, A., Pérez-López, A., 2002. Permian and Triassic. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 185–212.
- Marfil, R., 1970. Estudio Petrogenético del Keuper en el sector meridional de la Cordillera Ibérica. *Estud. Geol.* XXVI (2), 113–161.
- Marfil, R., Arribas, J., Arribas, M.E., de la Peña, J.A., 1984. Sedimentación lacustre (Carbonatado-Salina) en la facies Autuniense de la Cordillera Ibérica. In: Obrador, A. (Ed.), *Publicaciones de Geología*, no 20. Homenaje a Luis Sánchez de la Torre. Grupo Español de Sedimentología. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Martín, M., Canerot, J. and Leyva, F., 1979. Hoja geológica 517 (Argente). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Martín-Chivelet, J., 1994. Litoestratigrafía del Cretácico superior del Altiplano de Jumilla-Yecla (Zona Prebética). *Cuad. Geol. Iber.* 18, 117–173.
- Martín-Chivelet, J., et al., 2002. Cretaceous. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 255–292.
- Martínez-García, E., Coquel, R., Gutiérrez-Claverol, M., Quiroga, J.L., 1998. Edad del “Tramo de transición” entre el Pérmico y el Jurásico en el área de Gijón (Asturias, NW de España). *Geogaceta* 24, 215–218.
- Mees, F., Castañeda, C., Herrero, J., Van Ramst, E., 2011. Bloedite sedimentation in a seasonally dry saline lake (Salada Mediana, Spain). *Sed. Geol.* 238, 106–115.
- Mingarro, F., Ordóñez, S., López de Azcona, M.C., García del Cura, M.A., 1981. Sedimentoquímica de las lagunas de Los Monegros y su entorno geológico. *Bol. Geol. Min.* 92, 171–195.
- Morad, S., Al-AASM, I.S., Longstaffe, F.J., Marfil, R., De Ros, L.F., Johansen, H., Marzo, M., 1995. Diagenesis of a mixed siliciclastic/evaporitic sequence of the Middle Muschelkalk (Middle Triassic), the Catalan Coastal Range, NE Spain. *Sedimentology* 42, 749–768.
- Ordóñez, S., Sánchez-Moral, S., García del Cura, M.A., Rodríguez Badiola, E., 1994. Precipitation of salts from Mg²⁺-Na⁺-SO₄²⁻-Cl⁻ playa lake brines: the endorheic saline ponds of La Mancha, central Spain. In: Renaut, R.W., Last, W.M. (Eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes*. SEPM Special Publication, SEPM, pp. 61–71.
- Ortí, F., 1974. El Keuper del Levante español. *Estudios Geológicos*, XXX, 7–46.
- Ortí, F., 1987. Aspectos sedimentológicos de las evaporitas del Triásico y Liásico inferior en el Este de la Península Ibérica. *Cuad. Geol. Iber.* 11, 837–858.
- Ortí, F., 1990. Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. In: Ortí, F., Salvany, J. (Eds.), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*. Nuevas aportaciones y guía de superficie, Enresa, Barcelona, pp. 62–66.
- Ortí, F., Rosell, L., 2000. Evaporative systems and diagenetic patterns in the Calatayud Basin (Miocene, central Spain). *Sedimentology* 47, 665–685.
- Ortí, F., García-Veigas, J., Rosell Ortiz, L., Jurado, M.J., Utrilla, R., 1996. Formaciones salinas de las cuencas triásicas en la Península Ibérica: caracterización petrológica y geoquímica. *Cuad. Geol. Iber.* 20, 13–35.
- Pérez, A., Luzón, A., Roc, A.C., Soria, A.R., Mayayo, M.J., Sánchez, J.A., 2002. Sedimentary facies distribution and genesis of a recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta Lake, Iberian Chain, NE Spain. *Sed. Geol.* 148, 185–202.
- Playá, E., Ortí, F., Rosell, L., 2000. Marine to non-marine sedimentation in the upper Miocene evaporites of the Eastern Betics, SE Spain: sedimentological and geochemical evidence. *Sed. Geol.* 133, 135–166.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero de Laburu, C., 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. (960 pp.).
- Portero, J.M., Aznar, J.M., Díaz-Molina, M., Pérez-González, A., Gallardo, J., González-Lodeiro, F., Aguilar, M.J. and Leal, M.C., 1990. Hoja geológica 486 (Jadraque). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Pueyo, J.J., 1978/79. La precipitación evaporítica actual en las lagunas saladas del área: Bujaraloz, Sástago, Caspe, Alcañiz y Calanda. *Rev. Inst. Invest. Geológicas* 33, 5–56.
- Pueyo, J.J., 1981. Depósitos evaporíticos actuales del litoral mediterráneo de la Península Ibérica. In: Pueyo, J.J. (Ed.), *Génesis de las formaciones evaporíticas*. Modelos andinos e ibéricos. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 135–147.
- Pueyo, J.J., de la Peña, J.A., 1981. Los lagos salinos españoles. Sedimentología, hidroquímica y diagénesis. In: Pueyo, J.J. (Ed.), *Génesis de las formaciones evaporíticas*. Modelos andinos e ibéricos. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 163–192.
- Puga, E., Nieto, J.M., Díaz de Federico, A., Portugal, E., Reyes, E., 1996. The intra-orogenic Sopotújar Formation of the Mulhacen Complex; evidence for the polycyclic character of the Alpine orogeny in the Betic Cordilleras. *Eclogae Geol. Helv.* 89, 129–162.
- Quintero, I., Mansilla, H. and Martínez-Díaz, C., 1982. Hoja geológica 315 (Santo Domingo de Silos). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Ramos, A., 1979. Estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico al oeste de Molina de Aragón (Provincia de Guadalajara). Universidad Complutense de Madrid, Madrid. (313 pp.).
- Regueiro, M., Calvo, J.P., 1997. El yeso. Geología y yacimientos en España. *Bol. Soc. Esp. Ceram. V* 36 (6), 563–569.
- Riba, O., Macau, F., 1962. Situación, Características y Extensión de los Terrenos Yesíferos en España. I Coloquio Internacional Sobre las Obras Públicas en los Terrenos Yesíferos. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas, Madrid. (33 pp.).
- Robles, S., Pujalte, V., 2004. El Triásico de la Cordillera Cantábrica. In: Vera, J.A. (Ed.), *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, pp. 274–276.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., De Boer, P., Soria, A.R., 2012. Controls on marine-erg margin cycle variability: aeolian-marine interaction in the mid-Cretaceous Iberian Desert System, Spain. *Sedimentology* 59, 466–501.
- Rodríguez-Perea, A., Ramos-Guerrero, E., Pomar, L., Paniello, X., Obrador, A., Martí, J., 1987. El Triásico de las Baleares. *Cuad. Geol. Iber.* 11, 295–321.
- Rouchy, J.M., Blanc-Valleron, M.M., 2009. Les évaporites: matériaux singuliers, milieux extrêmes. *Vuibert, Société géologique de France*, Paris.
- Royer, D.L., Berner, R.A., Montanez, I.P., Tabor, N.J., Beerling, D.J., 2004. CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today* 14, 4–10.
- Salazar, K., McNutt, M.K., 2011. Mineral Commodity Summaries 2011. U.S. Department of the Interior, Reston.
- Salvany, J., 1990. Introducción a las evaporitas triásicas de las cadenas periféricas de la cuenca del Ebro: Catalanides, Pirineo y Región Cantábrica. In: Ortí, F., Salvany, J. (Eds.), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*. Nuevas aportaciones y guía de superficie, Enresa, Barcelona, pp. 9–20.
- Salvany, J., Ortí, F., 1987. El Keuper de los Catalánides. *Cuad. Geol. Iber.* 11, 215–236.
- Santisteban, J.J., García del Cura, M.A., Mediavilla, R., Dabrio, C.J., 2003. Estudio preliminar de los sedimentos recientes de las lagunas de Villafáfila. *Geogaceta* 33, 51–54.
- Sanz, D., 2009. Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. (314 pp.).
- Schreiber, B.C., El Tabakh, M., 2000. Deposition and early alteration of evaporites. *Sedimentology* 47, 215–238.
- Schreiber, B.C., Philp, R.P., Benali, S., Helman, M.L., De la Peña, J.A., Marfil, R., Landais, P., Cohen, A.D., Kendall, C.G.S.C., 2001. Characterisation of organic matter formed in hypersaline carbonate/evaporite environments: hydrocarbon potential and biomarkers obtained through artificial maturation studies. *J. Pet. Geol.* 24 (3), 309–338.
- Shaviv, N.J., Veizer, J., 2003. Celestial driver of Phanerozoic climate? *GSA Today* 13, 4–10.
- Sopeña, A., 1979. Estratigrafía del Pérmico y Triásico del Noroeste de la Provincia de Guadalajara. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. (329 pp.).
- Stanley, S.M., Hardie, L.A., 1998. Secular oscillations in the carbonate mineralogy of reef-building and sediment-producing organisms driven by tectonically forced shifts in seawater chemistry. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 144, 3–19.
- Suárez-Rodríguez, A., García-Espina, R., Armenteros, I., Barba, P., Herrero, A., Galán, L.A. and Balthuille, J.M., 2008. Hoja geológica 347 (Peñaranda de Duero). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- USGS, 2009. International Stratigraphic Chart. In: I.C.O. Stratigraphy (Ed.).
- Vail, P.R., Mitchum, R.M., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N., Hatleud, W.G., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of the sea level. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*. Geologists Memoirs, American Association of Petroleum Geologists, pp. 49–212.
- Veizer, J., Godderis, Y., Francois, L.M., 2000. Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon. *Nature* 408, 698–701.
- Vera, J.A., Vilas, L., Ruiz-Ortiz, P., Martín-Chivelet, J., Arias, C., Molina, J.M., Castro, J.M., Chacón, B., García-Hernández, M., 2002. Betics (Cretaceous). In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 255–292.
- Virgili, C., 1955. El tramo rojo intermedio del Muschelkalk de los Catalánides. *Memorias y Comunicaciones del Instituto Geológico Provincial*. Barcelona, XIII, 37–78.
- Virgili, C., 1958. El Triásico de los Catalánides. *Boletín Geológico y Minero*, LXIX, 1–856.
- Warren, J., 2006. *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer, Berlin. (1035 pp.).
- Warren, J., 2010. Evaporites through Time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth Science Reviews*, 98. Elsevier. (124 pp.).

4.4.- Resultados parciales

Los afloramientos de materiales salinos en España ocupan una superficie aproximada de 21.077 km², lo cual representa un 4,2% de la superficie del país. La inmensa mayoría de los materiales salinos que afloran son yesos, aunque en profundidad hay una enorme variedad de mineralogías (anhidrita, halita, glauberita, thenardita, sales potásicas, etc.). La mayor parte de los afloramientos se encuentran en la mitad este del país.

La superficie ocupada por derechos mineros para el beneficio del yeso asciende a 916 km², lo que supone el 4,35% del total de la superficie yesífera de España y un 21% de la superficie de yeso explotable (4.372 km²), calculada al restar del total de afloramientos, las zonas esterilizadas desde el punto de vista minero por proximidad a municipios o fábricas de yeso ya establecidas o por estar en zonas protegidas medioambientalmente (Escavy y Herrero, 2013).

Los yacimientos de evaporitas más antiguos que aparecen en España son de edad triásica, aunque se han encontrado señales en el Cámbrico que indican condiciones de sedimentación evaporíticas. Los depósitos evaporíticos con mayor afloramiento son los de edad neógena, aunque, por volumen, los más abundantes son los depósitos de edad mesozoica.

Desde el punto de vista genético, las evaporitas marinas dominan en el Triásico, Jurásico, Cretácico y Neógeno. Los depósitos de evaporitas continentales son frecuentes en el Neógeno y dominan en el Cuaternario. Las evaporitas marinas mesozoicas han aportado la mayor parte de los solutos para la formación de las evaporitas continentales paleógenas y neógenas.

Las diferencias principales entre el análisis realizado en el presente estudio y los resultados obtenidos por Riba y Macau (1962) se deben a:

- La diferencia en la escala de trabajo empleada (1:50.000 frente a 1:500.000 de Riba y Macau). Esto ha permitido obtener una mayor precisión a la hora de delinear y cuantificar la superficie de las unidades yesíferas.
- La diferencia de objetivos a la hora de calcular la superficie. Para el cálculo de la superficie de yeso con fines mineros se es más restrictivo que cuando el cálculo se realiza para delimitar zonas de riesgo para infraestructuras, donde, por prudencia, se sobreestiman las zonas de riesgo.
- La incorporación de la información aparecida en numerosos trabajos de investigación e industriales realizados desde 1962, año del trabajo de Riba y Macau, que ha permitido trabajar con una mayor precisión, tanto en base a superficies, como a edad de los diferentes materiales.

El clima global y una situación tectónica favorable parecen ser los factores principales que han controlado la presencia y características de los depósitos salinos de edad mesozoica. En el caso de los depósitos evaporíticos cenozoicos, su origen ha sido controlado por factores locales (en el caso de las evaporitas continentales) y regionales (en el caso de las secuencias marinas). En particular, los efectos de la tectónica alpina con la creación de grandes cuencas endorreicas y barreras orográficas parecen haber tenido una gran influencia en la génesis de los depósitos continentales, mientras que sus efectos, limitando la entrada de agua del Atlántico al Mediterráneo, han favorecido la sedimentación de evaporitas marinas en los bordes de la cuenca mediterránea.

5.- EL MERCADO DEL YESO EN LA ESPAÑA PENINSULAR

5.1.- Introducción

La Real Academia Española define el término “mercado” en su diccionario como el “estado y evolución de la oferta y la demanda en un sector económico dado” (RAE, 2013). La demanda de yeso de cantera en España proviene principalmente de los productores de yeso cocido, del mercado exterior (exportación) y de los fabricantes de cemento. En el caso del yeso cocido y sus prefabricados, la demanda final es el sector de la construcción y los puntos de demanda están allá donde se realice esta actividad. En el caso del yeso empleado como retardador de fraguado, los puntos de demanda son las fábricas de cemento, con o sin horno de clínker. En el caso del yeso para exportación, teniendo en cuenta que la inmensa mayoría de la exportación de yeso de España se realiza por vía marítima, los puntos de demanda son los puertos desde los que se expiden los cargamentos (por ejemplo Garrucha, Carboneras o Almería, todos en la provincia de Almería).

Tan importante como la demanda total de un producto es conocer la demanda interna, que es aquella que proviene del consumo o transformación del producto en el país de origen. Para el cálculo de la demanda interna de yeso, se han considerado como puntos de demanda los núcleos urbanos y las fábricas de cemento. El consumo de yeso es proporcional a la población de los núcleos urbanos, ya que la edificación es proporcional al número de habitantes del municipio. Este cálculo sería preciso si no existiera edificación de segundas residencias e infraestructuras turísticas, lo cual no es el caso en España. Con el fin de tener en cuenta este hecho (municipios costeros o de montaña con poca población censada, pero gran actividad constructiva por la edificación turística), se ha modulado el parámetro población del municipio en función del parque de viviendas existentes en el municipio, obteniendo una recta de regresión con la que se puede calcular la población teórica de cada municipio para la demanda de yeso

(Fig. 5.1). De esta forma se puede calcular, por la demanda de yeso cocido y sus productos en cada municipio, cuál sería su demanda de yeso de cantera.

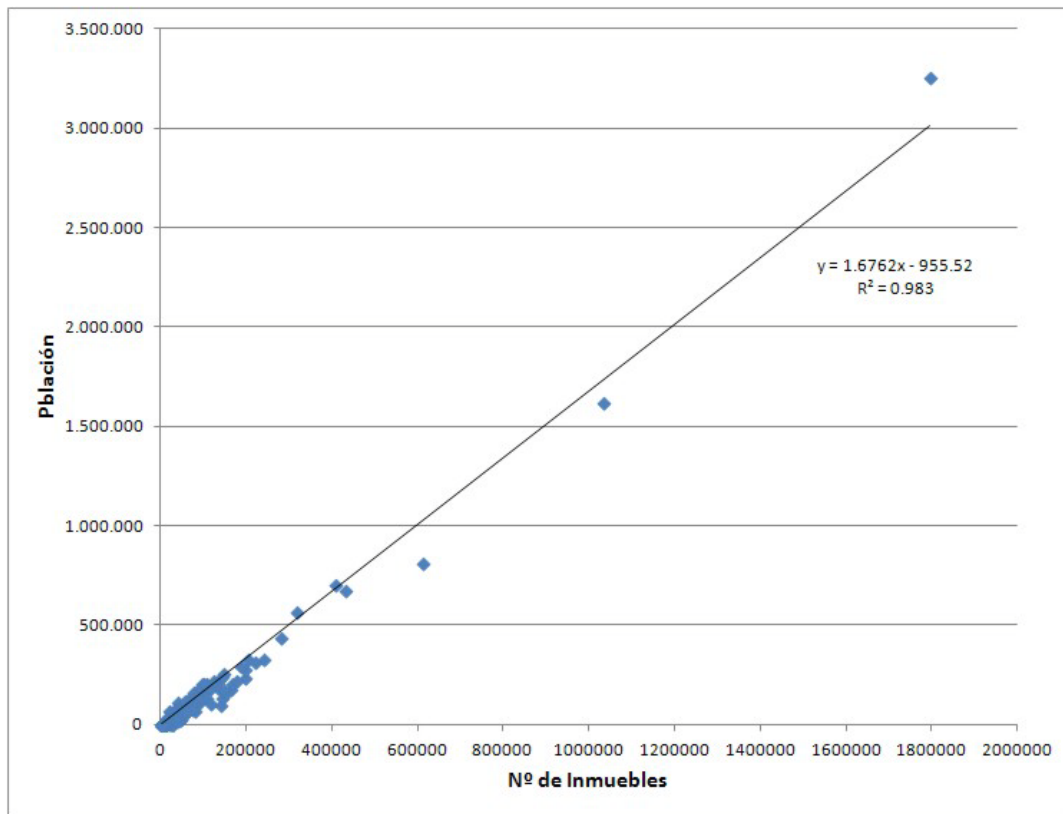


Figura 5.1.- Correlación entre la población de los municipios de España (censo 2009) y el número de inmuebles por municipio.

Para tener en cuenta la demanda de yeso de cantera o yeso crudo proveniente de las fábricas de cemento, se ha identificado cada una de las instalaciones con su capacidad de producción de cemento (y por tanto su capacidad de consumo de yeso) y se ha calculado a que número de habitantes equivale, en demanda de yeso, cada una de las instalaciones de fabricación de cemento.

La suma de las poblaciones equivalentes para el consumo de yeso, tanto de las poblaciones como de las fábricas de cemento, nos da el total de la demanda y su situación geográfica.

Para el estudio de la oferta se han tenido en cuenta todas las fábricas de yeso y placa de yeso que existen en España, ya que todas ellas cuentan con canteras

asociadas. Las canteras de yeso que no estén asociadas a alguna de las fábricas de yeso cocido o prefabricados o se dediquen a la exportación, van a tener más difícil su continuidad ya que, con producciones no muy altas, los costes unitarios de explotación son superiores a las de las grandes canteras debido a las economías de escala. La única excepción es la de aquellas canteras que alimenten fábricas de cemento, aunque en las empresas cementeras la tendencia de estos últimos años ha sido no explotar directamente canteras de yeso y abastecerse de terceros, por ejemplo productores de yeso cocido. Esta tendencia viene motivada por varios factores:

- La cantidad de yeso que se añade al cemento es poca, entre el 2% y el 5% en peso, lo que hace que los volúmenes de producción para alimentar una fábrica de cemento estén por debajo de la media de producción de las canteras de yeso.
- Parte de esta cantidad requerida, si es posible, se satisface con yeso sintético (residuo o subproducto de otras actividades industriales), ya que su coste es inferior e incluso a veces negativo.

A esto hay que añadir la tendencia de reducir los costes fijos en la industria, traspasándolos a costes variables para adaptarse mejor a los cambios del mercado. Comprar el yeso necesario a un tercero es un gasto variable (sólo se paga por lo que se consume) mientras que poseer, mantener y explotar una cantera de yeso tiene un componente de coste fijo (desembolso que hay que hacer independientemente de si se consume o no, o del nivel de consumo).

El apartado siguiente desarrolla, en forma de artículo, cuales son los principales parámetros económicos del mercado del yeso en España, los efectos del estallido de la burbuja inmobiliaria y la subsecuente crisis económica, tanto en la demanda como en la oferta del yeso de cantera, y las previsiones a corto plazo de la demanda interna de dicho mineral para los próximos meses.

5.2.- Artículo 2

Herrero, M.J., Escavy, J.I. and Bustillo, M. (2013). The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry production (1998-2012). Resources Policy (38): 123-129.



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Resources Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/resourpol

The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry production (1998–2012)

M.J. Herrero*, J.I. Escavy, M. Bustillo

Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense Madrid, C/ Jose Antonio Novais 2, 28040 Madrid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 January 2013

Received in revised form

26 February 2013

Accepted 26 February 2013

Keywords:

Gypsum

Industrial mineral

Building bubble

Mineral trade

Regression analysis

Spain

ABSTRACT

Gypsum is one of the most important mined mineral commodities of the world. As an industrial rock, it is primarily used by the construction industry. Therefore, the economics of the gypsum market can be correlated with parameters that have controlled the origin and development of the Spanish building bubble between years 1998 and 2006. The burst of this building bubble has been interpreted as the main triggering factor for Spain's current crisis.

Gypsum quarry production during the golden period of Spain's building industry, reached 15.3 Mt, with domestic apparent demand as high as 11.8 Mt. After this period, domestic demand decreased to 4.3 Mt in year 2010, and quarry production fell to 7.0 Mt. These decreases were caused not only by the burst of the building bubble, but also from the global financial crisis and the public works investment cuts. This analysis predicts a continuation of decreasing domestic demand in year 2013, of at least 270,000 t.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Introduction

Gypsum was the seventh natural mineral commodity mined in the world in 2011 after aggregates, iron ore, lime, salt, bauxite and phosphate (Salazar and McNutt, 2012). According to these authors, world production of gypsum in year 2011 was 148 million tonnes. Gypsum, together with aggregates, brick clay and limestone for cement manufacture are high-bulk and low-price industrial rocks that derive much of their values from extraction points being located close to the demand points, and therefore, they have a high place-value (Bates, 1960).

In Spain, gypsum-bearing geological formations are very common, with a total outcrop area of 21,700 km² that represents about 4.2% of the total country extent, an area about the size of Israel (22,072 Km²) or El Salvador (21,041 km²). From the total gypsum-bearing outcrops of Spain, 17,328.4 km² correspond to non-minable areas, due, either to the low gypsum grade, or to environmental and geographical restrictions that prohibit production (reserves sterilization). After these adjustments, the area with potential minable gypsum is approximately 4371.6 km² (Escavy et al., 2012). The Geological Survey of Spain (IGME) calculated the Spanish reserves of gypsum to be above 60,000 million tonnes (Regueiro and Calvo, 1997). These gypsum reserves, if confirmed, would satisfy the

present world demand (~148 Mt per year) for more than four centuries.

Gypsum, as an industrial rock, is mainly used by the construction industry: wallboard and plaster products, cement production, and a small percentage in agriculture, pharmacy and chemicals. In 2011, in the United States, 95% of the consumption was for building plasters, Portland cement and wallboard products (Salazar and McNutt, 2012). In Spain, in 2010, 38% of the gypsum mined was exported, and the remaining 62% was used by the domestic construction industry (Minetur, 2012).

Gypsum mined in Spain increased from the mid-nineties to 2006, when production attained a maximum of 15.3 million tonnes (Minetur, 2012). At that time, Spain was leading European production and ranked third in the world, after China and Iran. After reaching the historical maximum in 2006, Spanish gypsum production dropped sharply due to the combination of several factors: (i) the burst of the building bubble in Spain; (ii) the financial international crisis; and finally, (iii) budget cuts in public works investments (a result of the first two factors). The persistence of the crisis in Spain in 2012 (European Commission, 2012a), continues decreasing the domestic demand of this industrial rock to levels not seen in the last 25 years. A similar decrease has been observed for other building materials such as aggregates, where the demand boom started in 1993 and lasted until 2006 (ANEFA, 2012; Menegaki and Kaliampakos, 2010).

The main objectives of this study are first, to determine the direct impact of the Spanish building crisis in the indigenous gypsum production and, second, to forecast future gypsum demand in Spain.

* Corresponding author. Tel.: +34 913944906; fax: +34 915442535.

E-mail addresses: mjherrer@ucm.es (M.J. Herrero), jiescavy@ucm.es (J.I. Escavy), bustillo@ucm.es (M. Bustillo).

This paper uses a simplified terminology from Kuntz (2009). Herein, we refer to gypsum as the naturally occurring rock with dominant calcium sulfate dihydrate mineralogy. We refer to plaster as calcined gypsum, regardless the level of calcination attained, whereas plasterboard refers to any type of paper lined plaster board or fiber reinforced gypsum panels. We use the term synthetic gypsum as the calcium sulfate dihydrate generated as waste or byproduct of industrial processes such as flue gas desulfurization of smokestack emissions (FGD gypsum), sulfuric acid neutralization, byproduct of phosphoric acid manufacture (phosphogypsum), etc.

The data used for this research is mostly derived from online freely available information from different Spanish government departments such as the National Statistics Bureau (INE), Ministry of Industry, Energy and Tourism (Minetur), Spanish Geological Survey (IGME), Ministry of Economy and Competitiveness (Mineco) and the Bank of Spain. International information has been obtained from the European Commission, the World Bank, the International Monetary Fund and the United States Geological Survey (USGS).

Economic context

Classically, the generation of a building bubble has been explained by a combination of several reasons: increased home ownership, speculative transactions rather than secured or guaranteed transactions, low interest rates, residential real estate viewed as a safe harbor, bad lending practices, etc (Merriam, 2009). All these *objective* factors can explain only part of the total magnitude of the bubble, and some *subjective* input is additionally important, such as unrealistic expectations produced by an excessive optimism about future housing prices (Glaeser et al., 2010).

In Spain, from 2000 to 2006, all the aforementioned conditions for the genesis and growth of a building bubble were in place.

- Homeownership in Spain has historically been very high. In 2010, for example, 83% of the population lived in owned homes (vs. 17% living in rented houses). At that time, the average homeownership for the European Union countries was 70% (European Commission, 2012b).
- Building construction is cyclical and controlled by factors such as economic growth, demographic changes and interest rates (Poulin et al., 1994). From 2000 to 2007, Spain benefited from a robust economic growth with an average annual Gross Domestic Product (GDP) of 3.6%, combined with low average lending interest rates of 3.2%. The GDP is similar to average annual inflation (World Bank, 2012) although the lending interest rates were lower than inflation rate during the period 2004–2006 (Fig. 1).

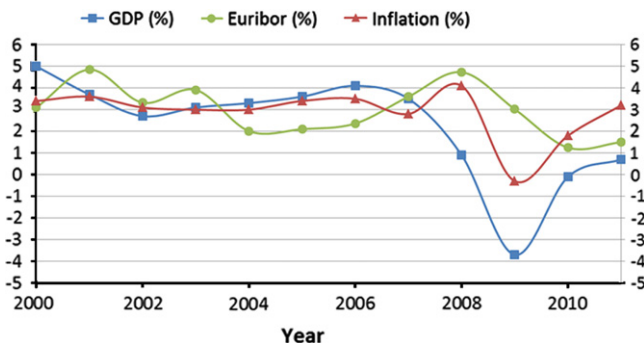


Fig. 1. Variation (%) of GDP, Inflation and interest rate (Euribor) from 2000 to 2011 in Spain. (World Bank, 2012).

- Loose lending conditions with lower down payment requirements and over-appraisal of the properties were conspicuous during this period (years 2000–2006).
- Housing approvals (12-month moving sum) increased from 387,000 in mid-2002 to 776,000 in May 2007 (Fig. 2). This strong demand was only partially attributed to demography, with an average annual population increase of 720,000 persons (INE, 2012) mostly immigrants arriving in Spain. Housing demand from 1998 to 2001 was mainly for residency, but from 2002 to 2005 most of the transactions were done by investors or speculators (Bernardos, 2009).

The Global financial crisis was the result of macroeconomic causes (build-up of financial imbalances due to international capital flows and low interest rates), and an inadequate regulation and supervision of the financial sector. These factors promoted an excessive leverage and risk taking (Glaeser et al., 2010).

Public works demand is a function of government funding, which is politically driven, sometimes as countercyclical investment strategy to attenuate the lower part of the economic cycles (Meyer and Zelnak, 1991). In Spain, until year 2003, public work investment was inversely correlated to the Gross Domestic Product. From year 2003 to 2006, public works investment grew at an average of 23% per year, fueling the demand of building materials.

Once a bubble has been created, an event can spark the unwinding of the over-optimism and trigger the bursting of the bubble (Duca et al., 2010). In Spain, there was not a unique event. The cycle change started in 2006, produced by a housing demand reduction combined with the arrival of an enormous quantity of new houses on the market. The credit restriction generated after the start of the subprime crisis helped to intensify the magnitude of the fall of the housing market of Spain, although it was not the triggering factor (Bernardos, 2009). At the end of 2009 the stock of unsold new houses was of 688,044 units (for a country of less than 45,000,000 people). The reduction of the stock of unsold new houses in the years 2010 and 2011 has been almost nonexistent, with a stock at the end of 2011 of 676,038 units (Fomento, 2012).

Therefore, the construction crisis in Spain resulted from a combination of the burst of the housing bubble in 2007, the start of the world Late-2000's financial crisis, and not insignificantly, the cut in government investment budgets to meet debt reduction

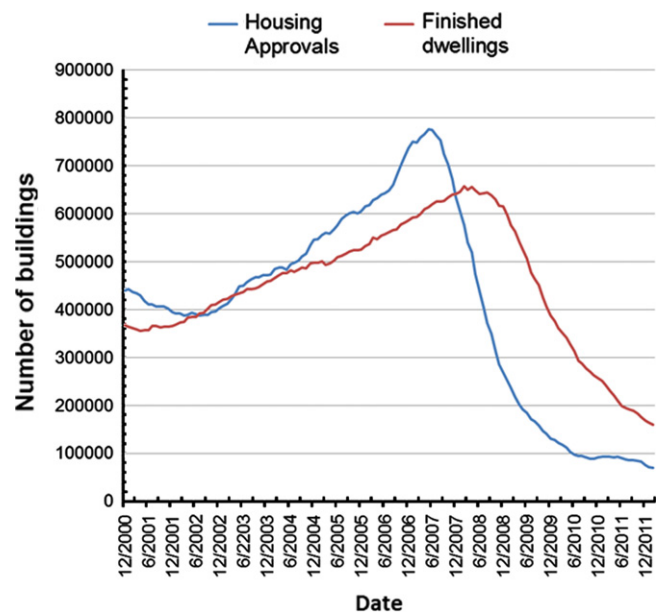


Fig. 2. Housing approvals and finished dwellings in Spain (12-month moving sum).

program required by the European Union. From 2006 to 2011 the amount of capital invested in infrastructures fell 74%. For 2012 and the near future, the forecast is not very optimistic. The International Monetary Fund forecasts a contraction of 1.7% for Spanish GDP for 2012 and 1.2% for 2013. The European Commission expects a GDP fall of 1.4% for both 2012 and 2013 (European_Commission, 2012a).

Results

The offer: gypsum quarries and plaster factories production

In year 2010, production of 7 million tonnes of gypsum in Spain was generated from 101 active quarries (Minetur, 2012) (Fig. 3). This production supplied domestic demand for 54 plaster factories and 48 cement works, while the rest went to international markets. That same year, in the United States, 8.84 million tonnes of gypsum was produced from 54 quarries. This is indicative of the reduced mean size of Spanish quarries. From 1987 until 2006 there was an increase on the average gypsum production per quarry (from 36,528 to 124,636 t per quarry), with a tendency to concentrate production in a few number of larger quarries. This trend ended in 2006 when the maximum was reached. After 2006, average production per quarry dropped to 69,210 t in 2010.

Gypsum production per quarry can be segregated into three different periods. From 1987 to 1998 there was an increase on average quarry production that resulted from the progressive depletion and closure of quarries (from 183 to 110), and an increase in the national production of gypsum from 6.7 to 9.1 million tonnes (Fig. 4, Zone A). A second period, between years 1998 and 2006, continued with the increase of the average quarry production but also with an increase in the number of quarries from 110 to 123, smaller though in proportion, with regard to those that were lost in the first period.

Average production per quarry rose due to a strong increase of demand, from 9.1 to 15.3 million tonnes (Fig. 4, Zone B). The last period, from year 2007 to 2010 (and onwards), has been marked by the sharp decrease in the country's production, from 15.3 Mt in 2006 to 7.0 Mt in 2010 (–54%) resulting in the closure of some quarries. In year 2010, only 101 quarries remained open from the 123 existing quarries in 2006 (Fig. 4, Zone C). The combination of production decreases and quarry closures resulted in a 44% decrease in gypsum production. In 2011, gypsum quarry production in Spain was 7.79 Mt, 800,000 t more than in 2010, mainly due to the rise in the exported gypsum (Marchan, 2012).

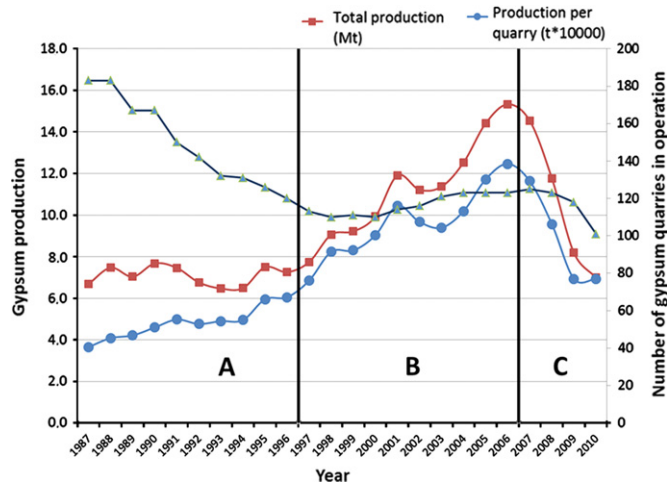
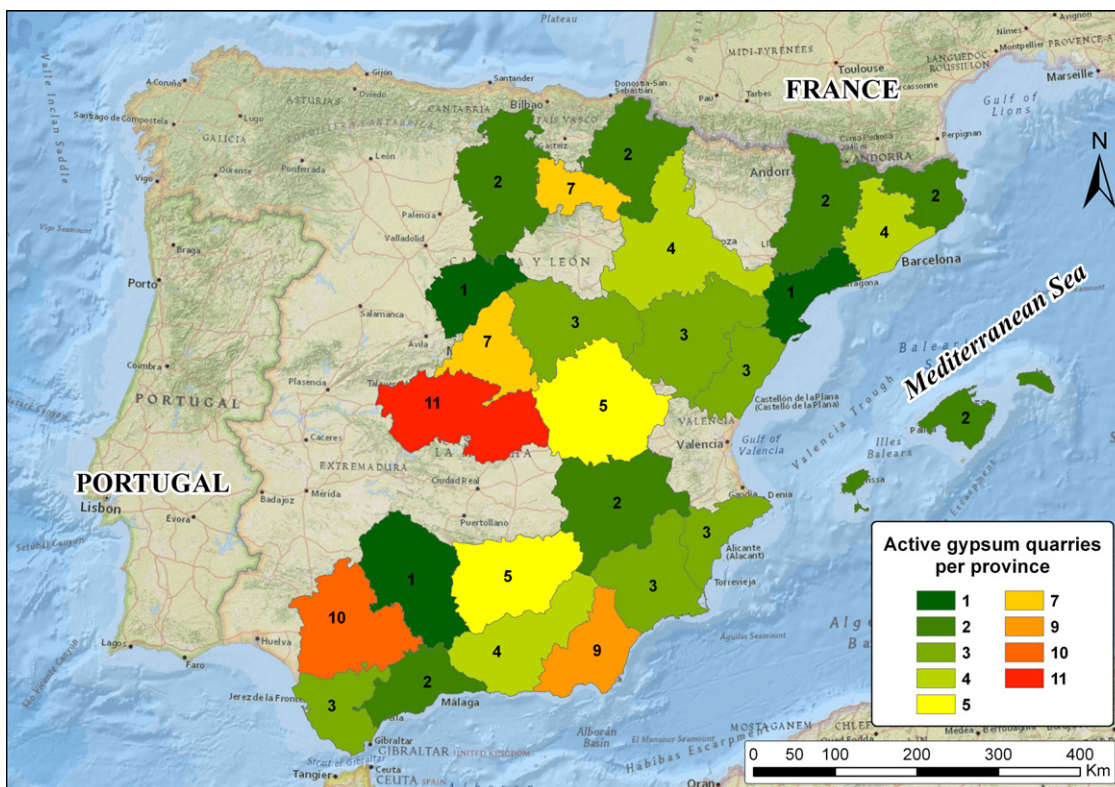


Fig. 4. Total gypsum quarry production of Spain, average production per quarry and number of active quarries. Three regions are defined (A, B and C) according to the impact of the total production and the number of active quarries on the average quarry production.



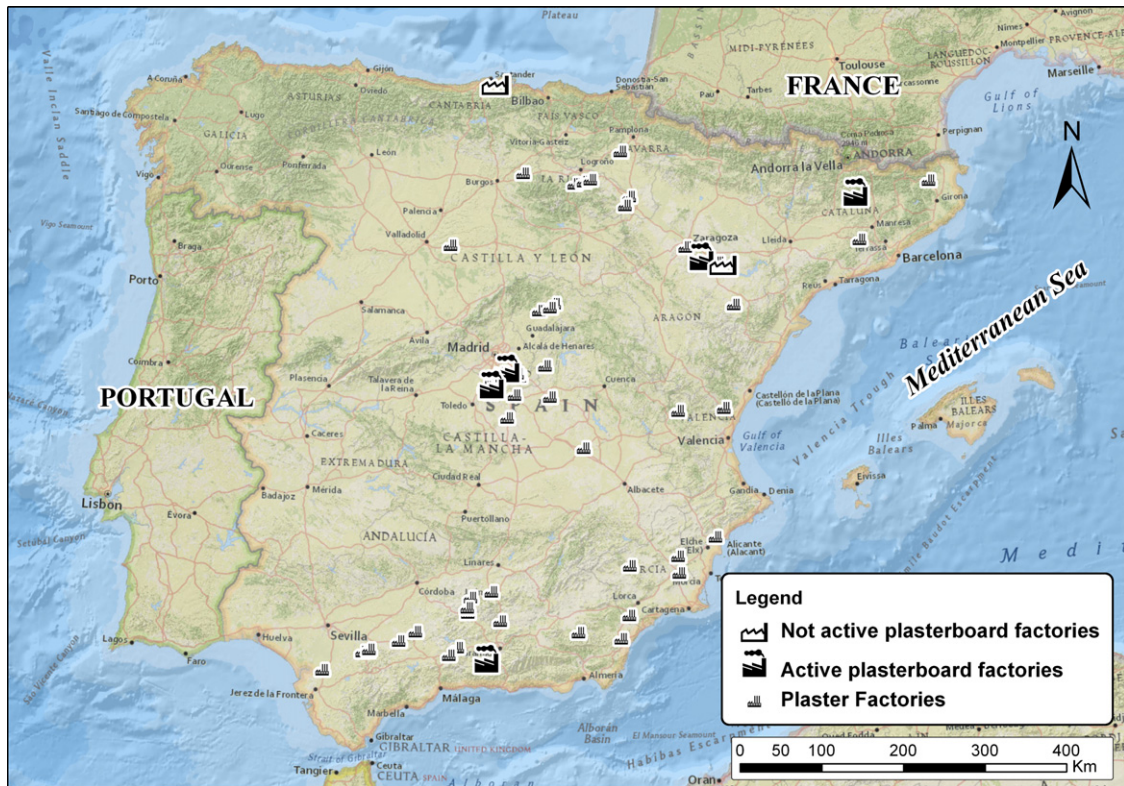


Fig. 5. Location of the Spanish plaster and plasterboard factories.

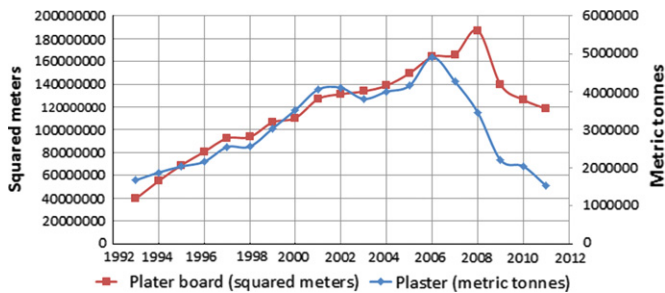


Fig. 6. Plaster and plasterboard production of Spain.

Plaster in Spain is manufactured in 54 factories (Fig. 5) which appears to be an excessive number of plants compared to the 62 plants operating in the United States, a country with about 7 times the population of Spain (Crangle, 2012). The plaster plants in Spain are located in areas close to the geological mineral source, and, therefore, they are abundant in the Eastern part of Iberian Peninsula (Escavy et al., 2012). Plaster production, mostly dedicated to the domestic market, followed the building industry tendency, increasing from 1.7 million tonnes manufactured in 1993 up to the peak of 4.9 million tonnes in 2006 (Fig. 6). Since 2006, plaster production has been declined 69%, reaching only 1.5 million tonnes in 2011 (INE, 2012).

In 2011 there were 5 plasterboard plants operating in Spain (Fig. 5) which produced 98 million m². Additionally, two new plants (Gelsa, in Aragón and Orejo, in Cantabria) are ready to begin production when there is an increase in plasterboard demand (García, 2010). Ninety percent of Spain's plasterboard production is controlled by three producers: Yesos Ibéricos S.A., Knauff GMBH and Saint-Gobain Placo S.A. Plasterboard production reached maximum production two years later than plaster, in 2008, with 147 million m². In addition, the decline of production from the maximum was less

Table 1

Imports and exports of gypsum, plaster and plasterboard products (metric tonnes).

Year	Gypsum exports	Gypsum imports	Plaster exports	Plaster imports	Plasterboard exports	Plasterboard imports
1995	2,589,985	117	153,475	30,134	280,289	12,424
1996	2,376,952	227	212,816	25,334	249,853	3885
1997	2,990,485	39	328,177	46,636	303,711	6554
1998	3,521,916	3729	336,253	44,584	280,885	7093
1999	2,634,385	122	427,783	54,747	291,376	6676
2000	3,245,936	43,375	504,740	22,225	303,194	5343
2001	2,591,200	47,567	460,473	8179	288,939	35,962
2002	2,842,974	51,798	544,821	38,730	363,269	124,000
2003	2,767,231	65,145	476,275	142,735	416,469	80,609
2004	2,856,087	43,004	513,250	14,497	304,002	61,468
2005	3,229,792	47,585	391,324	33,891	290,041	153,957
2006	3,560,468	59,656	308,894	20,455	50,818	71,503
2007	3,332,933	53,003	303,713	15,230	36,777	29,939
2008	3,458,772	39,724	230,419	33,993	393,393	84,591
2009	2,305,309	25,984	182,929	7151	346,558	55,245
2010	2,678,452	20,776	165,424	6015	310,704	43,999
2011	3,367,083	13,185	156,461	5787	364,949	59,431
2012	3,738,056	7469	145,790	6800	377,346	64,175

steep than for plaster products (−37% vs. −69% of plaster). These two differences are due to the progressive change on building procedures, substituting internal brick walls with plasterboard products (García, 2010). This market penetration of the wallboard products in the Spanish building industry is clearly demonstrated from 2006 to 2011 (Fig. 6) when the square meters of plasterboard manufactured per ton of plaster produced increased from 33 to 78.

International market

In the last 20 years, Spain has been one of the main gypsum exporters of the world, with tonnages ranging from 2.4 to 3.5 million per year (Table 1) (DataComex, 2012). Half of exported

gypsum in 2011 had as main markets the United States, United Kingdom and Nigeria. The remaining 50% was sent to 43 other countries, mainly located in Europe, Latin and Africa. Spanish gypsum imports are very low, compared to export figures, with a mean of 30,000 t (1995–2011) and a maximum in 2006 of 65,000 t.

About 95% of the exported gypsum is obtained from the Sorbas basin (Almería-Andalucía), where enormous reserves of high quality Messinian gypsum are in close proximity to port facilities (Almería, Garrucha and Carboneras). The departure provinces for the rest of Spain's exports were Cantabria (3%), Madrid (1%), while other 18 provinces share the remaining 1%. The quantity of gypsum exported has been rising since 2009, and most of the exports are made by one company, Grupo Torralba, which controls the majority of Spanish gypsum exports.

International trading of Spanish plaster is more balanced than gypsum. From 1995 to 2010, average exports and imports were 335,000 and 302,000 t per year respectively (Table 1) (DataComex, 2012). Import maximum was reached in 2002 (506,000 t), and export maximum was attained in 2004 (513,250 t). The trends of both import and exports are very similar, with increases from 1995 to 2000, and a flattening between years 2000 and 2004, culminating in a sharp drop between years 2004 and 2012. In 2011, Spain imported plaster from 18 countries, mainly France (44%), Portugal (21%) and Germany (14%), and exported plaster to 49 countries, mainly Portugal (49%), Germany (18%) and France (15%). More than 76% of the exported plaster was produced in the Burgos, Asturias, Girona and Madrid Provinces, with the remaining 24% produced and shipped from 24 other provinces.

Spain has been historically a net exporter of plasterboard, with a yearly average of 287,000 t vs. an average of 49,000 imported tonnes per year. The exception is found in 2006 and 2007, when exports dropped drastically, and equaled imports. Exports in 2011 were to France (53%), Portugal (19%), Brazil (12%), and 72 other countries (16%). Plasterboard was imported from France (60%), Portugal (13%), Chile (8%), Brazil (7%), and 61 additional countries. Sixty percent of the exported plasterboard has been from the Girona province. Madrid province ranked second, with a 30% of the exported plasterboard (DataComex, 2012).

The demand: domestic apparent consumption

Apparent consumption of natural gypsum in Spain has been calculated by adding to the domestic quarry production the international trading balance (imports minus exports). Quarry gypsum stocks are not quantified and, therefore, this information was not incorporated to the calculations.

Spain's apparent gypsum consumption rose from 4.7 million tonnes in year 1997 to its maximum of 11.8 million tonnes in 2006 (Table 2). Since that time, demand has experienced a sharp decline, with a consumption of only 4.4 million tonnes in 2011 (–62%). Quarry gypsum consumption for cement manufacturing

fell from 2.3 million tonnes in 2007 to 1.0 million tonnes in 2010. Quarry gypsum used for plaster fell from 5.8 million tonnes in 2006 to 1.8 in 2011. And, quarry gypsum for plasterboard decreased from 1.9 million tonnes in 2008 to 1.2 million tonnes in 2011.

The increase of apparent consumption of about 100,000 t from 2010 to 2011 is due to the quarry stock regularization. Once the crisis was evident in 2007, the adaptation of quarries to the new demand scenario was not quick and mining exploitation cumulated vast stock of unsold gypsum. The calculated apparent consumption for years 2007 and 2008 are somewhat higher than real ones.

During 2009 and 2010, part of the demand was satisfied from the previously accumulated stock, resulting in mining production lower than the market demanded and a calculated apparent consumption less than the real consumption. Producers assert that in 2011 the stock situation has been normalized and apparent demand corresponded to real demand.

Apparent domestic plaster consumption has fallen 70%, from 4.61 million tonnes to 1.37 million tonnes in the period 2006–2011.

Future demand forecasts

As previously indicated, gypsum is one of the largest natural mineral commodities mined in the world, together with other building materials such as aggregates, brick clay, etc. Long term forecasts of aggregates demand has been previously performed by regression analysis with macroeconomic and demographic variables (Savoy, 1996). The use of these methods for long-term forecasts of building materials (i.e. gypsum) consumption in Spain would have a high uncertainty because of changing economic rules governing the country. In the past, government investments in construction were used as a countercyclical tool in order to smooth the amplitude of economic cycles. Most investments in public works were financed by debt. In September 2011 the Spanish Constitution incorporated budgetary equilibrium as one economic principle. This change of rules makes it difficult to calculate the error of the mid- and long-term forecasts obtained by regression analysis using macroeconomic data of years previous to 2011.

For the short-term forecasts some advanced indicators can be used. In the building sector, housing approvals (number of buildings, total area approved, etc.) can be used. In the same way, for public works, tendering of governments could be used as indicator (total amount of money of the tendering, total km of road and railways to be constructed, etc.).

When analyzing all these variables and comparing them to gypsum apparent demand, higher correlation coefficients are obtained comparing the total building area approved (in squared meters) and government tendering [financing] (in Euros). In this study regression analyses have been performed with “gypsum apparent demand”, as the dependent variable, and the “total building area approved” as the independent variable. The

Table 2

Gypsum apparent consumption in Spain. The mining production of year 2011 is a non-validated estimation (Marchan, 2012).

Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Mining production	7,259,000	7,741,713	9,058,212	9,213,589	9,929,478	11,909,153	11,218,410	11,366,375
Imports	227	39	3729	122	43,375	47,567	51,798	65,145
Exports	2,376,952	2,990,485	3,521,916	2,634,385	3,245,936	2,591,200	2,842,974	2,767,231
Apparent consumption	4,882,275	4,751,266	5,540,025	6,579,326	6,726,917	9,365,521	8,427,234	8,664,289
Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mining production	12,533,972	14,416,053	15,330,248	14,535,422	11,768,907	8,181,415	6,990,249	7,790,557
Imports	43,004	47,585	59,656	53,003	39,724	25,984	20,776	13,185
Exports	2,856,087	3,229,792	3,560,468	3,332,933	3,458,772	2,305,309	2,678,452	3,367,083
Apparent consumption	9,720,889	11,233,847	11,829,436	11,255,492	8,349,859	5,902,091	4,332,573	4,436,659

regression has been calculated for a certain year, and then gypsum consumption of each year has been compared with the building area approved the previous year and two years before. The best correlation coefficient found gives, in fact, the number of years between the time of building approval and the effective use of the gypsum. In Spain, the best correlation coefficient (0.96) is obtained when comparing apparent demand of gypsum of each year with the building area approved the precedent year:

$$\text{Gypsum demand } (t) = 2976810 + 0.0349986$$

*(housing approvals (m^2) of the previous year).

This means, in fact, that after building is approved by authorities, it takes an average of one year to employ the gypsum: the gypsum consumption of one year is a function of the houses approved in the previous year. This allows us to calculate the apparent demand for the following year given the building area approved with the aforementioned equation.

The same analysis has been repeated with the “Public works tendering” as independent variable. In this case the best correlation coefficient obtained was only 0.71.

In addition, multiple regression analysis has been checked by using at the same time the “Housing approvals” and the “Public works tendering” but no improvement is obtained when comparing to previously simple regression analysis performed with the “Housing approval”. The P -value of the “Public works tendering” is 0.5692, greater than 0.05, meaning that this term is not statistically significant at the 95% or higher confidence level, and, therefore, “Public works tendering” can be removed from the model.

The aforementioned advanced indicator shows that the downward trend of the gypsum demand will continue. Assuming that apparent consumption of 2011 is not distorted with stocks variations, gypsum’s domestic demand will fall 761,345 t in 2012 and another 270,557 t in 2013. Domestic apparent demand for year 2013 is expected to be 3,404,758 t, figure that is very close, for example, to the exports of year 2011.

Natural gypsum substitutes

Synthetic gypsum substitutes natural gypsum in some applications. For example, in year 2010 in the United States, 10.7 Mt of synthetic gypsum, the 49% of the total FGD gypsum produced, was incorporated in the traditional applications of natural gypsum. This synthetic gypsum was mainly used for wallboard production (72%), cement and concrete manufacture (11%) and the remaining 17% for a variety of other applications (Crangle, 2012).

In Spain, most of the synthetic gypsum that is not sent to waste disposal is employed as an additive to cement. Ten percent of the gypsum added to cement before 2008 was synthetic gypsum. Beginning in 2009 the use of synthetic gypsum has been progressively rising, reaching 14.6% in 2010 (Oficemen, 2011). Cement producers in Spain are reluctant to use synthetic gypsum for several reasons including the abundance and wide distribution of inexpensive and high quality natural gypsum resources, the lack of legal restraints to waste disposal or the incentives that promote the use of this residue, plus the difficulties in the incorporating synthetic gypsum to the production chain. The main technical problems that limit the employment of synthetic gypsum are the humidity content and plastic-to-fluid consistency (requiring additional investment to adapt the facilities to the specific conditions of this product). There are no published data about the use of synthetic gypsum by the Spanish plasterboard manufacturers, but the location of the plants next to gypsum quarries makes it more economically viable the use of natural gypsum.

Geographical analysis of the construction crisis over the gypsum producers

The Spanish gypsum market has been analyzed by facility location-allocation modeling (Escavy and Herrero, in press). The analysis was performed by combining variables such as the location of the gypsum geological resources, the location of the active plaster factories and the location and magnitude of the gypsum and plaster demand (urban areas and their population, and cement factories and their production capacity). Processing all this information with the Network Analyst of ArcGIS, the Spanish gypsum resources have been classified according to its economic attractiveness (Escavy and Herrero, in press). From the beginning of the Spanish construction crisis, several operations have been closed: three plaster producers closed by bankruptcy by 2011, and 22 quarries have stopped production by 2010. When plotting these activities on the economic attractiveness map, the closed quarries and factories appear to be located in the central and southern part of the country (Fig. 7). This is not a random phenomenon. The capacity to resist to a severe crisis in a high place-value industrial rock depends partly on the location of the facility. Facilities located in a very competitive market area are much more vulnerable than those with a geographical *captive market*. Most of the failed facilities are in a very competitive market zone (Fig. 7 Zone D), characterized by a low market share (<1.84%). The geographical analysis of the facility failures highlights the high impact of the facilities location for the high place-valued industrial minerals and rocks.

Conclusions

The economic analysis herein performed has led to obtain several conclusions that address the enormous impact of the crisis in domestic gypsum demand. Domestic impact has been only partially compensated by the increase of exports due to the particular idiosyncrasy of high place-value minerals such as gypsum.

The economic trends of the Spanish gypsum market can be summarized as follows:

- From the mid-nineties to 2006 Spain experienced a growth period of the building industry that culminated in a building bubble. Year 2006 is considered the transition year for the economic cycle change. Between years 2000 and 2006, gypsum quarry production increased from 9.9 Mt to 15.3 Mt (+54%), with a domestic apparent demand that increased from 6.7 Mt to 11.8 Mt (+76%), concomitantly to the number of active quarries from 110 to 123.
- From 2006 to present, Spain has suffered a building crisis. The main factors that control the magnitude of the crisis are the burst of the building bubble, the government cutting of public works investment, the global financial crisis, and the consequential weakness of Spanish economy. The effects of this economic crash have a deep impact on the gypsum demand. Quarry gypsum production fell from 15.3 Mt to 7.0 Mt (−54%) in the period 2006–2010. Domestic apparent demand fell from 11.8 Mt to 4.3 Mt (−64%). The number of active quarries in this period dropped from 123 to 101.

The crisis effects have different impacts depending on the geographic area. This is controlled by the level of competition of the market, being represented by the market share parameter. The majority of the failures are located in the low market share area.

Estimation of the future gypsum domestic demand in Spain cannot be done with macroeconomic variables. The best advanced

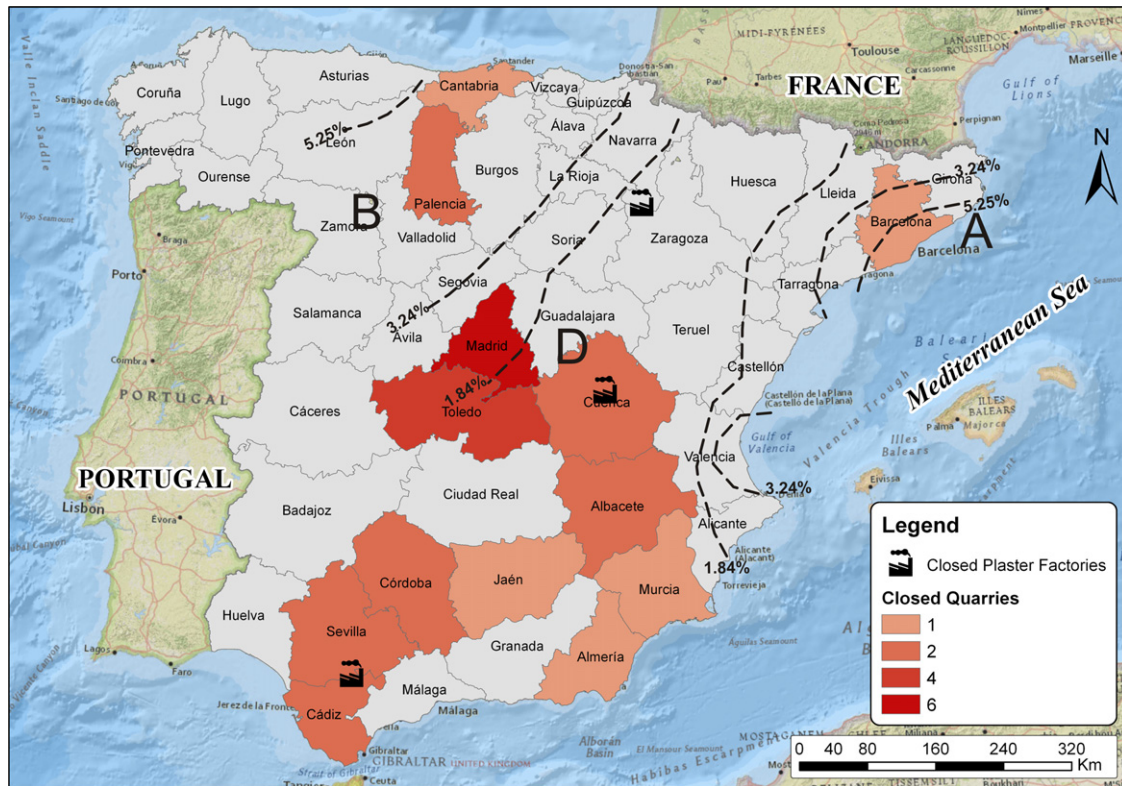


Fig. 7. Number of closed quarries and plaster factories per province from the beginning of the crisis in 2006. Most of the closed quarries and all the closed plaster factories lie on the low market share area (D) (Escavy and Herrero, in press).

indicator obtained from this study is the housing approvals of the precedent year that has a correlation coefficient of 0.96. Using this indicator, future forecasts are not very optimistic. This indicator predicts that the downward trend of the gypsum demand will continue, with a drop of 761,000 t in year 2012 and an additional fall of 270,000 t in 2013.

Acknowledgements

We would like to thank Robbie R. Gries for her invaluable comments and suggestions that helped greatly to improve this manuscript. Our recognition to Carmen Marchán, from the Geological Survey of Spain, for her help in providing information and discussion. We would like also to thank the organizations and government departments that provide freely accessible information used for this study (Spanish Geological Survey (IGME), Minetur, Mineco, INE, Bank of Spain, European Commission, World Bank, International Monetary Fund, USGS, etc.). Insightful comments by the Editor and two anonymous reviewers helped improving the manuscript. This research was funded by Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid (Project 396/2009–4153239).

References

ANEFA, 2012. Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos, Madrid. (<http://www.aridos.org/>).

Bates, R.L., 1960. *Geology of the industrial rocks and minerals*. Harper & Brothers Publishers, New York.

Bernardos, G., 2009. Creación y destrucción de la burbuja inmobiliaria en España, La primera crisis global, Procesos, consecuencias, medidas. *Revista de Economía ICE, Información Comercial Española* 850, 23–40.

Crangle, R.D., 2012. Gypsum (Advance Release), 2010 Minerals Yearbook. USGS, Reston, Virginia, p. 12.

DataComex, 2012. Ministerio de Economía y Competitividad de España, Madrid. (<http://datacomex.comercio.es/>).

Duca, J.V., Muelbauer, J., Murphy, A., 2010. *Housing Markets and the Financial Crisis of 2007–2009: Lessons for the Future*. The London School of Economics and Political Sciences, London, p. 58.

Escavy, J.I., Herrero, M.J., The use of location-allocation techniques for exploration targeting of high place-value industrial minerals: a market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources. *Ore Geology Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.02.010>, in press.

Escavy, J.I., Herrero, M.J., Arribas, M.E., 2012. Gypsum resources of Spain: temporal and spatial distribution. *Ore Geology Reviews* 49, 72–84.

European Commission, 2012a. *European Economic Forecast—Autumn 2012*. In: Affairs, F. (Editor), European Union, p. 191.

European Commission, 2012b. Eurostat. (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>).

Fomento, 2012. Informe sobre el stock de vivienda nueva 2011. In: Fomento, M.d. (Editor), Madrid.

García, S., 2010. *Quarria de Yeso. Un negocio con futuro*. *Alimarket* 102, 56–65.

Glaeser, E.L., Gottlieb, J., Gyourko, J., 2010. Did credit market policies cause the housing bubble?, *Harvard Kennedy School Policy Briefs*. John F. Kennedy School of Government, Rappaport Institute for Greater Boston and Taubman Center for State and Local Government, p. 12.

INE, 2012. Instituto Nacional de Estadística. MINECO, Madrid (www.ine.es).

Kuntz, R.A., 2009. Gypsum: Connecting Science and Technology. *ASTM International, Newburyport*, p. 114.

Marchan, C., 2012. Quarry gypsum production 2012, Madrid.

Menegaki, M.E., Kaliampakos, D.C., 2010. European aggregates production: drivers, correlations and trends. *Resources Policy* 35, 235–244.

Merriam, D.F., 2009. The Cause of the Housing Buble, the Burst and the Recession Finally Revealed: It's Growth Management. *International Municipal Lawyers Association—Local Government Blog*, Bethesda, Maryland.

Meyer, D.A., Zelnak, S.P.J., 1991. Structure and economics. In: Barksdale, R.D. (Ed.), *The Aggregate Handbook*. National Stone Association, Washington DC, pp. 2.1–2.17.

Minetur, 2012. *Estadística Minera de España (Spanish Mining Statistics)*. In: Minetur (Editor), Ministerio de Industria Energía y Turismo, Madrid.

Oficemen, 2011. *Anuario 2010*. Oficemen, Madrid, p. 59.

Poulin, R., Pakalnis, R.C., Sinding, K., 1994. Aggregate resources: production and environmental constraints. *Environmental Geology* 23, 221–227.

Regueiro, M., Calvo, J.P., 1997. El yeso. *Geología y yacimientos en España*. *Boletín de la Sociedad Española de la Cerámica y Vidrio* 36 (6), 563–569.

Salazar, K., McNutt, M.K., 2012. *Mineral Commodity Summaries 2012*. In: Survey, U. S.G. (Ed.), US Department of the Interior, Reston, p. 201.

Savoy, M., 1996. Development of a model for Forecasting the Consumption of Aggregates in the Lower Mainland. *Coriolis Consulting Corp*, Vancouver, p. 51.

World Bank, 2012. (www.worldbank.org). New York.

5.3.- Actualización de los resultados

En un campo tan dinámico como es el de los mercados y la economía, los datos se actualizan continuamente. Este apartado actualiza los resultados del estudio de mercado realizado por Herrero et al. (2013), empleando los datos aparecidos hasta marzo de 2013. En particular, se han actualizado dos campos:

- Producción de yeso en mina y número de explotaciones con actividad, con la recientemente publicada Estadística Minera del año 2011.
- Previsión de la demanda aparente de yeso en España a partir de los datos de Visados de Dirección de Obra hasta diciembre de 2012

5.3.1.- Producción de yeso en cantera y número de explotaciones con actividad

El número de canteras de yeso en funcionamiento se ha reducido en 2011 a 95, continuando con la tendencia descendente iniciada en 2007, en el que el número de canteras activas ascendía a 125 (Minetur, 2013). La producción de yeso en cantera ha tenido un ligero aumento en 2011, pasando de 6,99 a 7,83 millones de toneladas (+11,9%). Este aumento en la producción de 835.000 toneladas ha sido debido, en su mayor parte, al aumento en las exportaciones, que han pasado de 2.678.452 toneladas exportadas en 2010 a 3.367.083 toneladas en 2011 (+688.631 toneladas). El resto del incremento podría deberse a que los stocks de materias primas acumulados de 2007 a 2009 se han reducido y la producción de cantera se ha igualado a la demanda real.

La media de toneladas de yeso explotadas por cantera ha roto su tendencia descendente iniciada en 2007, debido a la combinación del aumento de la producción y del menor número de canteras en actividad. Como resultado, se ha pasado de las 69.200 toneladas por cantera de 2010 a 82.400 toneladas por cantera en 2011. La figura 5.2 muestra los datos de producción y número de canteras actualizados con los datos hasta 2011. La tendencia a aumentar la producción unitaria de las canteras, concentrando la actividad en un menor número de ellas de mayor tamaño, es una tendencia que posiblemente continuará. La rentabilidad (y

consecuente supervivencia) de las canteras se tendrá que hacer vía un aumento de tamaño, el cual generará economías de escala. Esta tendencia, que ya venía ocurriendo desde 1987, se había visto truncada por la violenta caída de la producción que se produjo entre mediados del año 2006 y el año 2010.

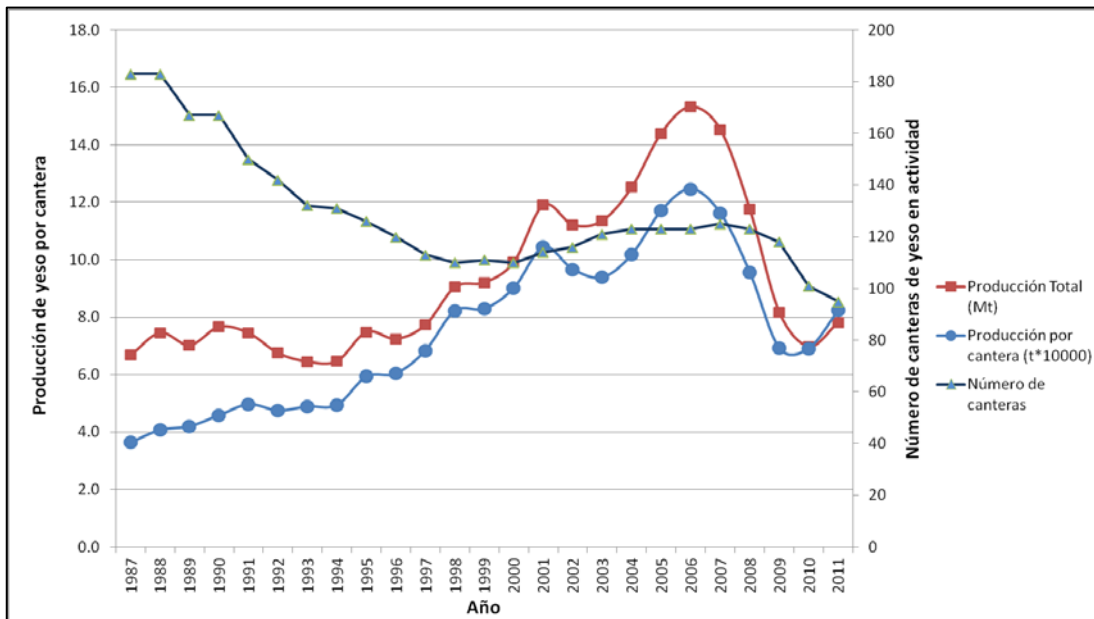


Figura 5.2.- Producción de yeso en cantera 1987-2011.

La figura 5.3 muestra, por provincias, el número de canteras cerradas (en positivo) y abiertas (en negativo) desde el año 2006. Como era de esperar, la mayor parte de las canteras que pararon su actividad se concentran en la zona de baja cuota de mercado (<1,84%) definida en Escavy y Herrero (2013). Esta zona, que ocupa toda la parte central y sur de la Península, debido a su mayor nivel de competencia, es más sensible a los cambios de mercado y las fábricas y canteras radicadas en su interior son más vulnerables en épocas de caída de la demanda.

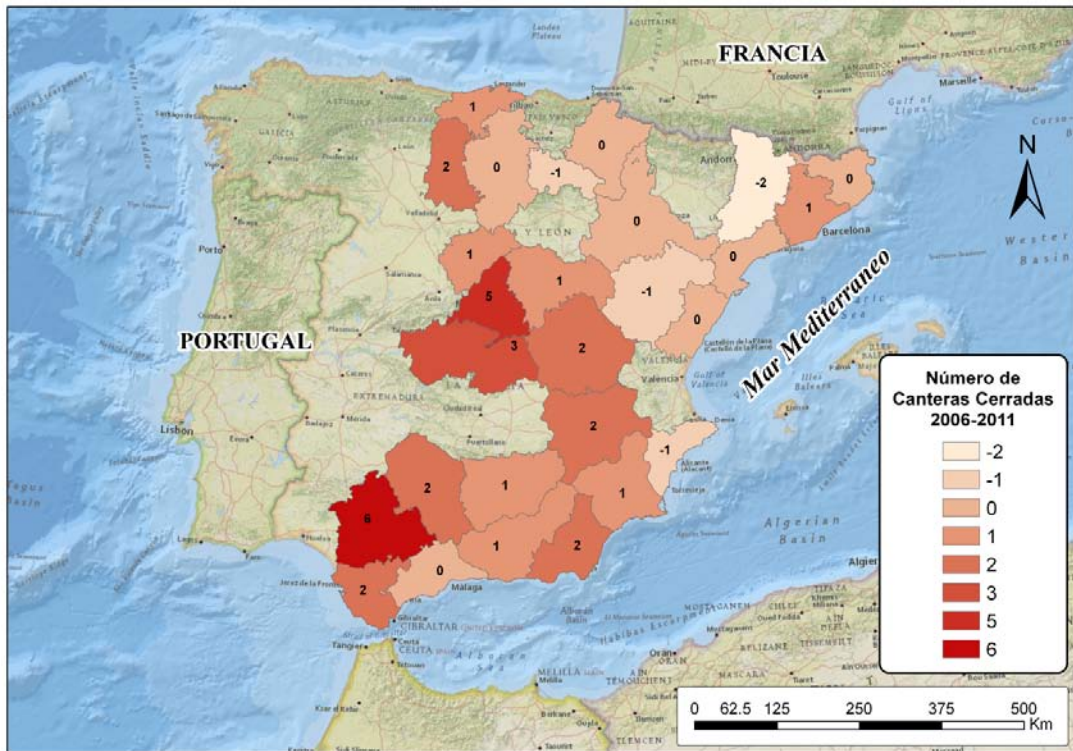


Figura 5.3.- Número de canteras cerradas (+) y abiertas (-) entre 2006 y 2011.

5.3.2.- Previsión de la demanda aparente de yeso en España en el año 2013

El total de metros cuadrados visados en el año 2012 ha sido de 12.524.764 m², lo que representa un descenso del 37% con respecto a los datos de 2011 y del 92% con respecto a 2006, año en el que se tocó techo en cuanto a superficie visada (FOMENTO, 2013). Por sectores, la caída de la superficie visada en 2012 con respecto a 2011 ha sido de un 39,7% para uso residencial y de un 31,3% en el caso de uso no residencial (industrial, comercial, etc.). Con estos datos, la demanda aparente de yeso de cantera en España caerá en 2013 unas 260.000 toneladas con respecto a 2012, situándose en unos 3,4 millones de toneladas.

5.4.- Resultados parciales

Desde mediados de los años 90 hasta la actualidad, se pueden identificar tres etapas en el mercado del yeso en España. La primera, que transcurre desde mediados de los años 90 hasta 2006, se caracteriza por progresivos incrementos de la producción de yeso en cantera (de 9,9 Mt a 15,3 Mt), de la demanda interna (de 6,7 Mt a 11,8 Mt) y del número de canteras de yeso activas (de 110 a 123).

De 2006 a 2010, el escenario es el inverso, con caídas en la producción en cantera (a 7,0 Mt), la demanda interna (a 4,3 Mt) y el número de canteras en funcionamiento (a 101).

En 2011 la demanda interna de yeso de cantera siguió cayendo, pero esa caída fue compensada por el fuerte aumento en las exportaciones. El total de yeso explotado en cantera ascendió moderadamente, alcanzando los 7,83 Mt. En el caso de 2012, la caída de la demanda interna se ha estimado en 760.000 t y en 2013 de otras 260.000 t. La caída de la demanda interna de yeso esperada en 2013 es la menos intensa desde el comienzo de la crisis, lo que podría anticipar, si no un cambio de ciclo, al menos una estabilización del mercado, frenándose la intensa caída que viene sufriendo desde el estallido de la burbuja inmobiliaria.

Los efectos de la crisis en los distintos productores de yeso son muy diferentes en función de si el yeso de cantera se destina a la exportación o al mercado nacional y, en el caso de estos segundos, en qué región se encuentre. La mayor parte de las canteras que han detenido su actividad y el total de fábricas de yeso cocido que han quebrado se encuentran en la zona de baja cuota de mercado y, por tanto, de alta competencia definida en Escavy y Herrero (2013).

6.- ESTUDIO GEOECONÓMICO DEL MERCADO DEL YESO DE LA ESPAÑA PENINSULAR

6.1.- Introducción

Una vez analizado el mercado del yeso, en relación a los puntos de demanda y oferta, y la localización de los afloramientos de las unidades yesíferas, se pueden aplicar una serie de técnicas para determinar áreas donde una instalación de fabricación de yeso cocido con su cantera asociada tengan lógica económica. El mercado a satisfacer por dicha instalación sería el de yeso cocido y escayola, más, si es necesario, yeso crudo para fabricación de cemento.

El objetivo último buscado es definir unas zonas donde explorar o investigar en detalle para, en el caso de encontrar suficientes recursos de calidad aceptable, implantar una instalación industrial. En el caso de la exploración de materiales con alto valor unitario, como por ejemplo los yacimientos de minerales metálicos, los mapas de potencial prospectivo (*mineral prospectivity maps*) se basan en la combinación de diferentes parámetros (geología, geoquímica, geofísica, etc.) para determinar las zonas de interés a investigar en más detalle.

En la actualidad, estos estudios se realizan con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica, donde se combinan diferentes capas, cada una de ellas representando una categoría de información distinta para, con ayuda de técnicas matemáticas como la lógica difusa (*fuzzy logic*), ponderaciones de la evidencia (*weights-of-evidence*), etc., conseguir situar las áreas con mayor probabilidad de poseer yacimientos minerales. Es, en estas zonas, donde se concentran los esfuerzos de exploración e investigación.

En el caso de minerales y rocas industriales de bajo valor unitario y grandes volúmenes, como los áridos, el yeso, etc., la localización de las instalaciones con respecto al mercado al que van a surtir es un factor clave. Los costes de transporte, directamente relacionados con la distancia entre el punto de fabricación y el cliente, suponen una parte importante del precio final del producto, por lo que una buena localización hará los costes más bajos haciendo el precio más competitivo. Para este

tipo de minerales, los estudios de potencial prospectivo no pueden basarse tan solo en factores geológicos, sino que tienen que ir más allá y tener en cuenta el mercado a la hora de definir las zonas de interés.

Durante el presente estudio, se han probado diferentes técnicas para generar mapas de potencial prospectivo con el Sistema de Información Geográfica ArcGIS® 10.0, trabajando tanto con información en formato *raster* como *vector*. De todas las técnicas disponibles en este software, la más completa para analizar mercados desde un punto de vista geográfico es el módulo “*Network Analyst*”, en el que se encuentran las herramientas de optimización en la localización de instalaciones (*facility location*) y asignación de clientes a cada instalación (*facility allocation*).

Las ventajas principales de esta técnica, frente a otras, son las siguientes:

- Las mercancías se desplazan por redes de vías de comunicación, en nuestro caso carreteras, midiéndose las distancias entre la fábrica y los clientes no en línea recta, sino en la distancia real siguiendo la red de transportes elegida.
- El punto óptimo es elegido maximizando la cuota de mercado capturada (frente a las otras fábricas ya existentes). Esta metodología permite calcular la cuota de mercado que capturaría cada una de las posiciones potenciales de la fábrica, pudiendo hacer mapas de contornos con los valores de iso-cuotas de mercado.
- Esta metodología permite modular el impacto de la distancia en la asignación de clientes a las distintas instalaciones mediante coeficientes. Hay productos más sensibles a la distancia que otros, en función principalmente del precio unitario, y esto puede ser tenido en cuenta con esta técnica.

Los inconvenientes principales del uso de esta técnica son:

- Analiza el mercado en una serie de puntos geográficos posibles, no pudiendo trabajar con variables continuas. Esto obliga a transformar las áreas con potencial geológico de yeso en una serie de puntos, que son los que el programa analizará.

- El software no permite hacer mapas de isocotas de mercado, por lo que ha sido necesario realizar una macro que, de forma iterativa, calcule el valor de cuota de mercado de cada uno de los puntos potenciales (zonas con yeso), teniendo en cuenta las fábricas ya existentes. A partir del mapa de puntos, con sus asociadas cuotas de mercado, se ha realizado un mapa de isocotas de mercado, separando claramente las zonas económicamente interesantes, donde se capturarían altas cuotas de mercado al instalar una fábrica en ellas, de aquellas con exceso de competencia (y baja cuota de mercado potencial).

Los resultados del presente estudio se muestran en el apartado siguiente, en el que, en forma de artículo, se desarrolla la metodología de la técnica de localización-asignación, se presenta la situación actual del dispositivo industrial para la fabricación de yeso, y, por último, se ofrecen los resultados del estudio de localización-asignación para el mercado del yeso de la España peninsular.

6.2.- Artículo 3

Escavy, J.I. and Herrero, M.J. (2013). The use of location-allocation techniques for exploration targeting of high place-value industrial minerals: A market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources. *Ore Geology Reviews* (53): 504-516.



The use of location–allocation techniques for exploration targeting of high place-value industrial minerals: A market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources

J.I. Escavy*, M.J. Herrero

Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 October 2012

Received in revised form 18 January 2013

Accepted 28 February 2013

Available online 14 March 2013

Keywords:

Industrial minerals and rocks

Prospectivity

Location–Allocation

Economic geology

GIS

Gypsum

Spain

ABSTRACT

Prospectivity mapping is used to define favorable areas for mineral exploration. The location–allocation modeling can help in ranking exploration zones for high-volume low-price industrial minerals. This type of minerals are said to have a high place-value, meaning that they derive much of their value from the fact that extraction points are located close to the demand points. With this aim, a GIS-based location–allocation model of the gypsum resources in Spain is presented in this paper. Results point to the recognition of the most interesting areas that should be investigated and places where new gypsum facilities could be located. Moreover, the model allows evaluation of the relative economic interest of the new areas as compared with the existing ones.

Based on this modeling, the geological regions with the greatest potential to place new facilities are located in the northwestern (Cantabrian zone) and north-eastern (easternmost Catalonia) parts of the Iberian Peninsula, with potential market share values higher than 5.25%. Most of the economically interesting gypsum bearing units in these regions are of Mesozoic age, although Neogene deposits of the central part of Catalonia are not ruled out. In addition, the prospectivity analysis map leads to establish an area where the excess of gypsum factories results in a drastic decrease of the market share value within this region (<1.84%).

The maps obtained with this prospectivity analysis help in the area selection and the target identification phases of a mineral exploration. The model could easily be used for other similar high place-value industrial minerals and rocks.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

In this study we implement location–allocation mathematical methods on public available geologic, demographic, environmental and industrial datasets to delineate prospective gypsum zones in Spain. At the beginning of any mineral exploration activity the selection of an area is a key step (Lord et al., 2001). Rio Tinto Exploration plc (2011) structures exploration in five consecutive phases: (1) Area Selection (where to explore); (2) Target Identification (determine whether a deposit may exist); (3) Target Testing (assessing the nature of mineralization); (4) Resource Delineation (determining deposit size, grade and metallurgy) and (5) Resource Evaluation (judging whether a deposit will be economical). Prospectivity studies are a powerful tool used in the Area Selection and Target Identification phases of the exploration.

Mineral prospectivity is a predictive tool that can minimize the technical and financial risks associated with the decision making in the mineral industry (Porwal and Kreuzer, 2010). It is commonly used for exploration targeting at regional to camp scale. Prospectivity

mapping, as decision-support tool, permits to prioritize exploration targets based on the modeled prospectivity of the areas containing such target zones. Geographical information systems (GIS) provide the framework to apply spatial data analysis techniques (weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic, location–allocation, etc.) for prospectivity mapping by integrating exploration parameters such as geology, geochemistry, geophysics, land use, etc.

High-bulk low-price industrial minerals and rocks derive much of their values from extraction points being located close to the demand points, and therefore they are said to have a high place-value (Bates, 1960). For this type of industrial minerals, the quarry location determines the success or failure of the activity because of the high impact of the transport cost in the final price. Industrial minerals were grouped by Barker and McLemore (2004) depending on the transport effects on delivered costs. Gypsum, together with common clay, crushed stone, limestone and dolomites, sand and gravel, form the group named “Very High Transport Cost Importance”. These industrial minerals are only mined at points where the interaction of transport distance, geology and markets are best integrated.

Gypsum is one of the most employed industrial mineral/rock. It was the eighth largest mineral commodity produced in the world in

* Corresponding author.

E-mail addresses: jiescavy@ucm.es (J.I. Escavy), mjherrer@ucm.es (M.J. Herrero).

2010 and 2011, after aggregates, cement, iron ore, lime, salt, bauxite and phosphate rocks. World production of gypsum for these years was estimated at 147 and 148 million tons respectively (Salazar and McNutt, 2012). This rock is mainly used by the construction industry, for wallboard and plaster products manufacture, cement production, and, in a lower proportion, in agriculture, pharmacy and chemicals (Salazar and McNutt, 2012).

In Spain, gypsum is one of the most abundant outcropping rocks. The total area of the gypsum-bearing unit outcrops of Spain is 21,077 km², representing 4.2% of the total country surface (Escavy et al., 2012). The National Plan of Gypsum Exploration made by the Spanish Geological Survey (IGME) estimated gypsum possible resources in Spain to be above 60,000 million tons (Regueiro and Calvo, 1997). The Spanish mine production of ~7 million tons in 2010 (Minetur, 2012b) made this country the leading European gypsum producer, ranking fifth in the world, after China, Iran, United States and Thailand. About 2.7 million tons of the mined gypsum were exported in 2010, mostly to the United Kingdom (18.1%), Venezuela (13.7%), Nigeria (12.2%) and the United States (7.4%). The remaining exported rock (48.6%) was sent to 42 other countries (Mineco, 2012).

Several authors have analyzed prospectivity for different ores such as gold (Fallon et al., 2010; Joly et al., 2012), uranium (Kreuzer et al., 2010), nickel (González-Álvarez et al., 2010; Markwitz et al., 2010; Porwal et al., 2010), Pb–Zn (Feltrin, 2008), copper (Abedi and Norouzi, 2012), etc. The analyses are mostly made by weights-of-evidence (Agterberg et al., 1990; Bonham–Carter, 1994), and weighted logistic regression methods (Agterberg, 1989; Agterberg et al., 1990, 1993).

In the case of high-bulk, low unit-value industrial minerals, Robinson et al. (2004) and Robinson and Larkins (2007) made a prospectivity analysis for crushed-stone aggregate quarry development in North and South Carolina (USA) using these methods. They had as predictive variables the bedrock map units having appropriate quality for aggregates, the proximity to principal highways and railroad lines, and the population density. Their results showed that the lithology was the variable with more influence in the results, followed by the transportation and population density. The implementation of GIS assessing the relative magnitude of geographic and geologic factors to constrain the location of a quarry (in this case, limestone for cement production) permitted Kendall et al. (2008) to establish the rock quality, the land sterilization and the overburden thickness as the main constraining factors. No prioritization of areas to exploit was presented in any of these works.

These prospectivity studies covering high place-value industrial rocks take into account the distance to the closest road or railroad, but not the total distance to final markets. In the same manner, they do not take into account the location of other facilities acting as competitors. The success of a high place-value operation is dependent on the number and location of competitor facilities and the distance of each of them to markets. The prospectivity exploration criteria seem to depend on the unit value of the target: high unit-value ores use geology as the main exploration criteria, while low unit-value ores prospectivity studies take also into account geographical factors. We consider that market factors should, as well, be included in prospectivity analyses for high place-value minerals and rocks (Fig. 1), and the present work incorporates this new factor into a prospectivity analysis of the Spanish gypsum resources.

Location-allocation modeling estimates the optimal location of facilities, based on potential market capture of each location by the analyses of parameters such as location and demand of the customers, transport costs, etc. The location-allocation model may be directly exploited by the field exploration crew or incorporated as an additional decision variable in a conventional prospectivity analysis, together with other geological and demographical parameters.

So far, location-allocation techniques have not been applied for industrial mineral prospectivity, and no previous research papers

have been found in the literature. Malczewski (2006) searched and reviewed the scientific literature dealing with GIS-based multicriteria analysis (GIS-MCDA) until 2004. This author found that only 9 out of a total of 319 papers (2.8%) dealt with geology research, and none of these 9 papers was a location-allocation study.

2. Location-allocation analysis

In a competitive facility location model, in order to maximize market share, facilities attempt to serve as many customers as possible. Therefore, the main objective of any industrial site location-allocation analysis is to select a certain number of optimum locations to place facilities, and then allocate customers to each of them (Sule, 2001). There are three types of location analysis: (1) Continuous location theory, where the facility can be placed anywhere; (2) Discrete models, where the facility is placed at some discrete location; and (3) Network analysis, where the facility is positioned within a network. The former option is the most suitable for the industrial minerals sector whose products are transported through various networks such as road, railway, rivers, etc.

Location-allocation modeling was first proposed in the seventeenth century, when it was treated as a basic Euclidean spatial median problem (Farahani and Hekmatfar, 2009). Johan Heinrich von Thünen (1783–1850) looked for a strategy of facility location based on cost minimization dependent on distance and transport cost (Lambert, 1998). The location theory started formally in 1909, when Alfred Weber considered where to locate a single warehouse, lowering transport cost by minimizing distance to customers. The facility location problem with concurrent was first proposed by Hotelling (1929), who studied market capture by locating servers, and suggested that customers patronize the closest facility (*the beach ice-cream vendor problem*).

With the arrival of computers in the mid-1960s more realistic models and algorithms were produced (Hakimi, 1964; Reville and Laporte, 1996). Huff (1964, 1966) suggested that customers divide their patronage among the competing facilities according to a gravity-based formula: the probability that a customer selects a certain facility is proportional to its attractiveness and inversely proportional to a power of the distance to that facility. The gravity model defines, for each customer, a probability distribution of patronage for all the facilities in the area. Once this probability distribution is known, the market share of each facility can be evaluated by a summation over all the customers in the area. Drezner (1982) solved the single facility location problem in the plane, whereas Hakimi (1983, 1986, 1990) formulated these problems on a network.

Current location strategies are of three different types, depending on the relative location of a facility to the demand points: (1) Market positioned, where the facility is located near the final customer; (2) Production positioned, where the facility is located close to the supply sources; and (3) Intermediately positioned, where the facility is located in an intermediate point between clients and supply sources (Lambert, 1998). Where raw materials lose much of their weight during the manufacturing process, factories are often placed as near to the raw material sources as practicable (Sule, 2001). The paradigm of this is the limestone used for cement manufacture, that, when calcined, loses 44% of its weight as CO₂. Placing cement factories far from the limestone quarry results in paying for the CO₂ transport to the plant. In the case of gypsum, weight loss can reach up to 20%, depending on the initial humidity of the rock and the degree of dehydration reached. This is why the plaster factories are usually placed close to the gypsum quarries.

Our research develops a methodology based on potential market capture, useful to select areas for detailed exploration of high place-value industrial minerals. The main parameters used in our facility location-allocation analysis are: available gypsum resources, location of current plaster factories and their associated gypsum quarries,

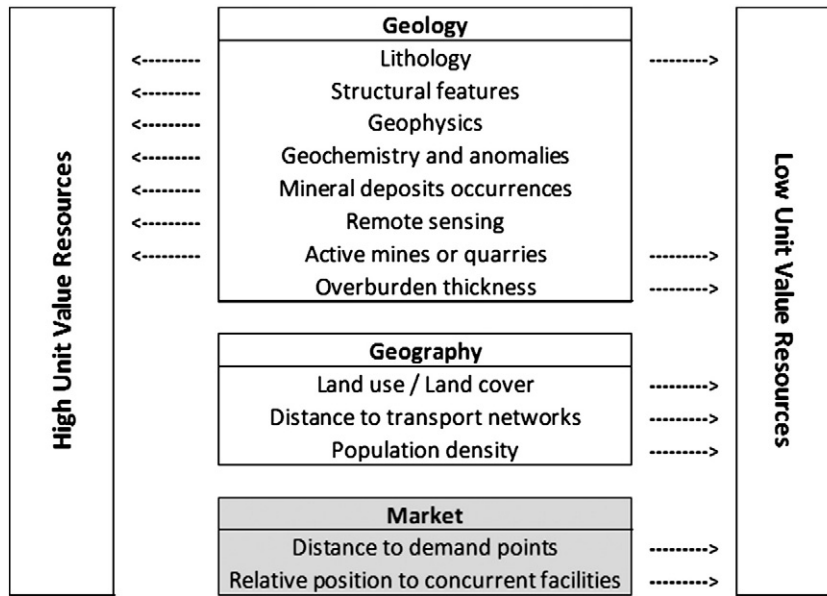


Fig. 1. Exploration criteria used in previous prospectivity studies. In our study, market (in gray) has been included as one of the main criteria to develop the prospectivity analysis for a high place-value ores such as gypsum.

and location (and magnitude) of the gypsum and plaster demand. To undertake the facility location analysis we have used ArcMAP Network Analyst, a module of ESRI's ArcGIS® suite.

The Network Analyst solver starts by generating an origin–destination matrix of shortest-path costs between all the facilities and demand point locations along a network (ESRI, 2010). For the facility location, given various candidate facilities (n) and several demand points (m), the process chooses a set from the candidate facilities (p), such that the sum of the weighted distances from each m to the closest p is minimized. Due to the vast amount of possible combinations that would be required, vertex substitution heuristics, which generate a group of good solutions, are used to solve this type of problems (Teitz and Bart, 1968). The heuristic process is based on the interchange or substitution process that was developed by Shin Lin (1965) for the Traveling Salesman Problem. Essentially, the process starts with a pattern of p random locations. Then the process selects a candidate point (n) and considers swapping this candidate for each of the selected p -facility site. When the process finds that a swap improves the overall weighted distance, it makes this p -swap. The process then continues by selecting other candidate sites and testing swaps. The heuristic finishes at the moment when no swap between candidates and a facility site exist. At this point the process already has a set of good solutions. Then, the metaheuristic analyzes this group of good solutions until no additional improvement is possible, and returns the best solution found (ESRI, 2010). Therefore, near-optimal results are obtained in a reasonable time by generating a cost-matrix, the randomization of the initial solutions, and the application of a vertex substitution heuristic and refining metaheuristic.

We have applied the location–allocation technique to the Spanish gypsum resources in order to identify the most economically interesting areas to quarry, according to their potential market share. For each facility (existing and candidates) we have assigned a corresponding demand that depends on the transport cost in relation to the distance by a cost function. ArcMAP® offers three possible cost functions to assign clients to each facility: Linear, Power and Exponential. The impact of the distance in the allocation of clients to facilities is lower using the Linear function, increases with the Power function and it is maximum with the Exponential one. To find the option that better adapts to our gypsum market, we have compared the market share distribution of active factories with the results obtained

when applying the three different ArcMAP cost functions to these same factories (Fig. 2). The best results are obtained when using the Power function, applying the square of the distance. These results are consistent with the previous results of Huffs (1964, 1966) and Drezner et al. (1999).

3. Gypsum in Spain, geology and market

3.1. Geological context

Gypsum rocks cover about 4.2% of the Iberian Peninsula surface; they are mostly sited in the central and eastern parts of Spain (Fig. 3). The age of the gypsiferous rocks ranges from Triassic to Quaternary (Escavy et al., 2012), being the more abundant outcropping periods the Neogene (11,385 km²), followed by the Upper Triassic (4197 km²). Both continental and marine evaporite rocks are found,

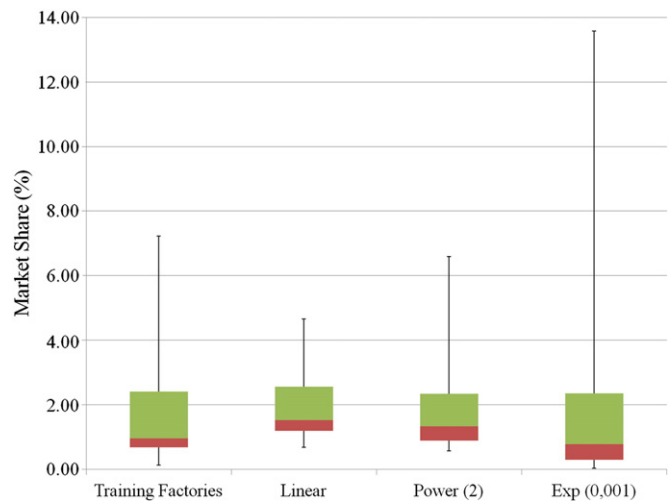


Fig. 2. Box-and-whisker plot made to compare the real market share distribution of current factories (training factories) with the results obtained when applying to these factories the three available cost functions (Power, linear and exponential). Note that when applying the square of the distance (Power) cost function it is obtained the more similar distribution to the real one (named training factories).

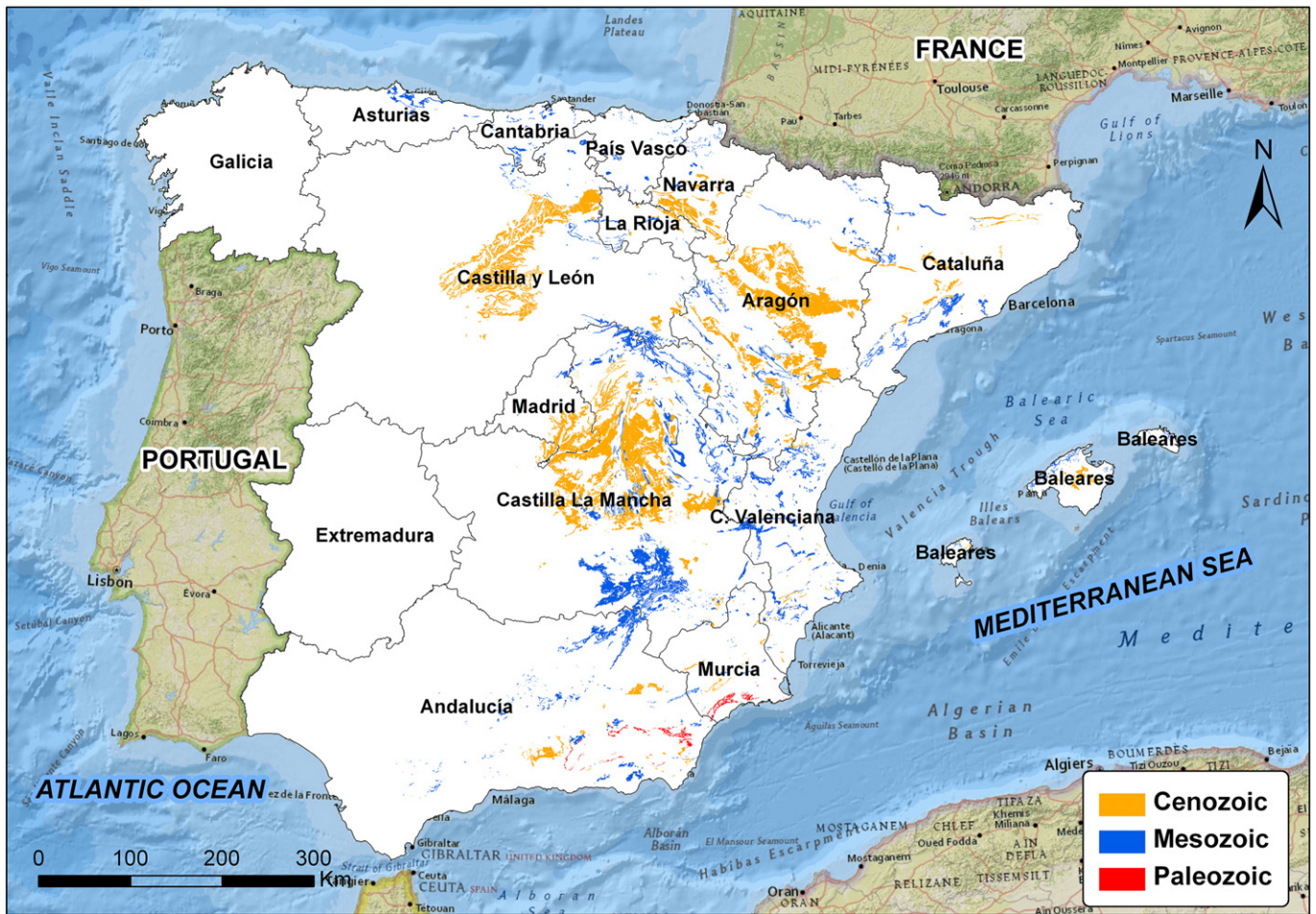


Fig. 3. Location of gypsum outcrops in Spain.

but the majority of the outcropping gypsiferous rocks are of continental origin.

The Gypsum Exploration National Plan, performed by the Spanish Geological Survey (IGME) between 1968 and 1989, estimated the possible resources of gypsum in Spain to be above 60,000 million tons (Regueiro and Calvo, 1997). These reserves would satisfy for more than 400 years the current gypsum world demand. According to this study, the regions accounting for the highest reserves are Aragón (12,500 million tons), Castilla-León (5400 million tons), and Madrid (4500 million tons), coinciding with the three main Cenozoic endorheic basins (Ebro, Duero and Tajo basins).

3.2. Demand

Gypsum is mainly used for wallboard and plaster products manufacture, cement production and agriculture. Most of the consumption is made by the construction industry. In the United States, during year 2011, 95% of the consumption was for building plasters, Portland cement and wallboard products (Salazar and McNutt, 2012). In Spain, in the year 2010, the mining statistics show that 38% of the gypsum mined was exported. The remaining 62% was dedicated to the local construction industry, about 75% of the domestic gypsum is consumed for building plasters and wallboard products manufacture, and the remaining 25% is added to cement (Minetur, 2012b).

The location of plaster and plasterboard demand is a function of the location of the urban areas, and, therefore, it appears dispersed all through the 7995 villages and cities of continental Spain (Fig. 4). Gypsum demand for cement production is located at the points

where the cement factories are placed (Fig. 5). We have used the cement production capacity of each cement factory for the gypsum demand allocation.

3.3. Offer

In Spain, gypsum mining activity reached its maximum in 2006, with a total production of 15.3 million tons (Fig. 6). From these, 11.8 million tons were for domestic consumption, whereas 3.5 million tons were exported (Herrero et al., in press). Five years later, exports remained similar (3.4 million tons), while domestic consumption suffered a sharp decline to 2.5 million tons that reduced the total quantity of Spanish gypsum mined to 5.9 million tons (Minetur, 2012b). In 2012, the increase of the rock mined for export would compensate the estimated drop of the domestic consumption: from January to July 2012 the exports increased 16%, compared with the same period of 2011 (Mineco, 2012), while domestic consumption is expected to fall about 13% compared to that of 2011 (Escavy et al., 2011).

In 2010, the most recent released mining statistics, there were 101 gypsum quarries in Spain that produced 6.99 million tons (Minetur, 2012b). Part of their production was exported (2.7 million tons), and the rest (4.3 million tons) was sent to feed plaster, cement factories and a few plasterboard plants. From the domestic consumption, the 54 plaster factories used 2.5 million tons, 0.99 million tons were used as cement addition and the rest went for wallboard production and other minor uses (INE, 2012). The location of the plaster factories is plotted on Fig. 7.

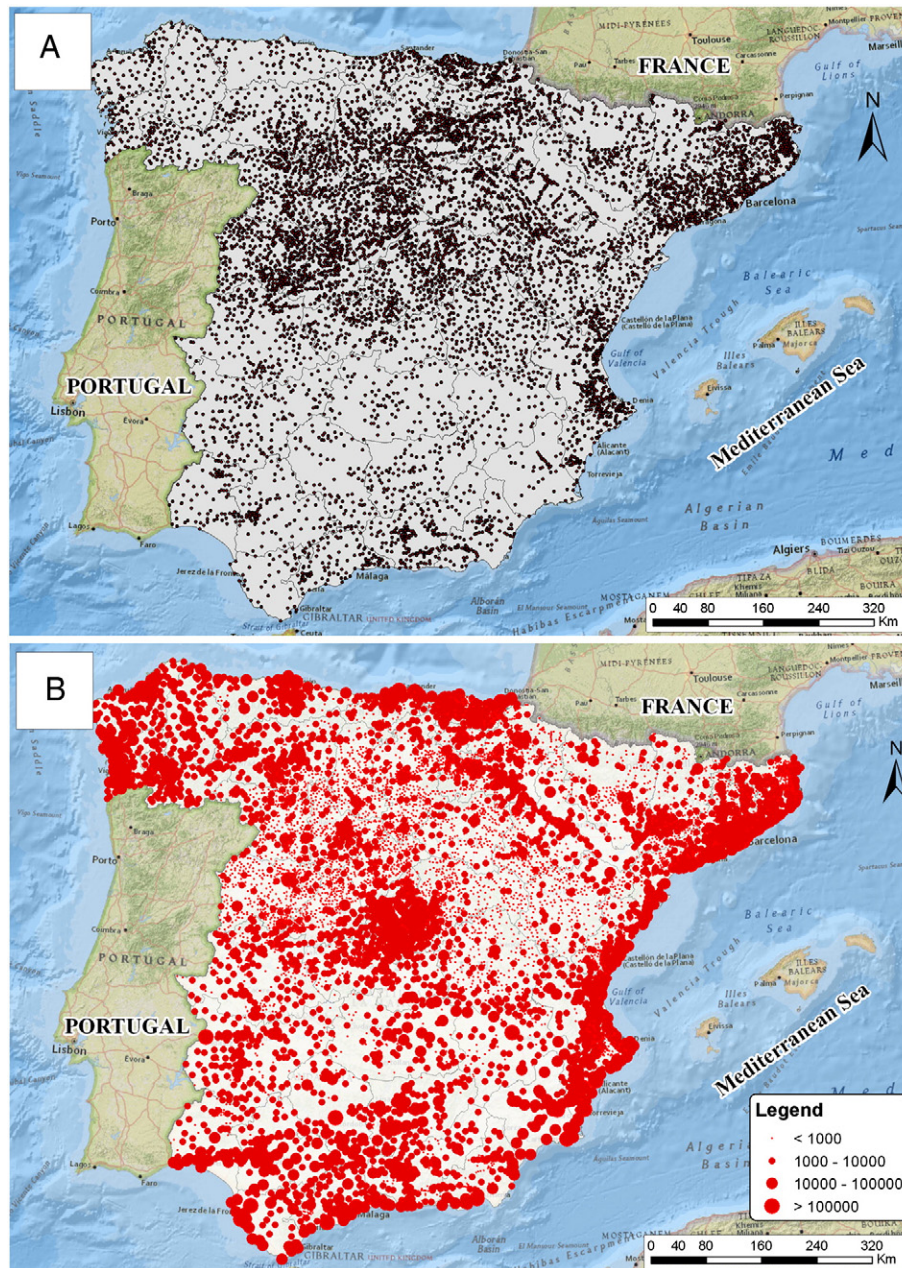


Fig. 4. (A) Location of urban areas in continental Spain; (B) urban areas ranked by population.

About 30% of the plaster market is supplied by two big companies that account 11 factories in total: Placo, the Spanish gypsum branch of the French company Saint Gobain, and Algiss, owned by the Spanish industrial group Uralita. The rest of the production is atomized, with 43 medium to small size operations with regional scopes (Escavy et al., 2011).

4. Sources of data

Geological information has been obtained from the Geological Map of Spain, scale 1:50,000, provided by the Spanish Geological Survey (IGME, 2012). A total of 1048 Maps were downloaded, most of them in vector format, but about 14% of the geological sheets were in georeferenced raster format. The gypsum-bearing units from the vector format geological maps have been identified and extracted. The gypsum-bearing units in raster format have been identified on the geological maps and digitized with ArcGIS software. The resultant

gypsum-bearing units have been merged together to obtain the map of the gypsum in Spain (Escavy et al., 2012).

The location of active plaster factories has been obtained combining information of the National Association of Gypsum Producers (ATEDY, 2012) and the National Mines Inventory (Minetur, 2012a). Cement factory locations have been obtained from the National Association of Cement Producers (Oficemen, 2012). Validation of the location has been done with satellite imagery of Google Earth© software (Robinson and Larkins, 2007).

Environmentally protected areas are excluded from the analysis because no mining activity can be performed within them. Their geographical positions and extensions have been obtained from the Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente web site (MAGRAMA, 2012). The downloaded vector maps contain the different protected areas and the level of protection according to the European, National, regional and local laws.

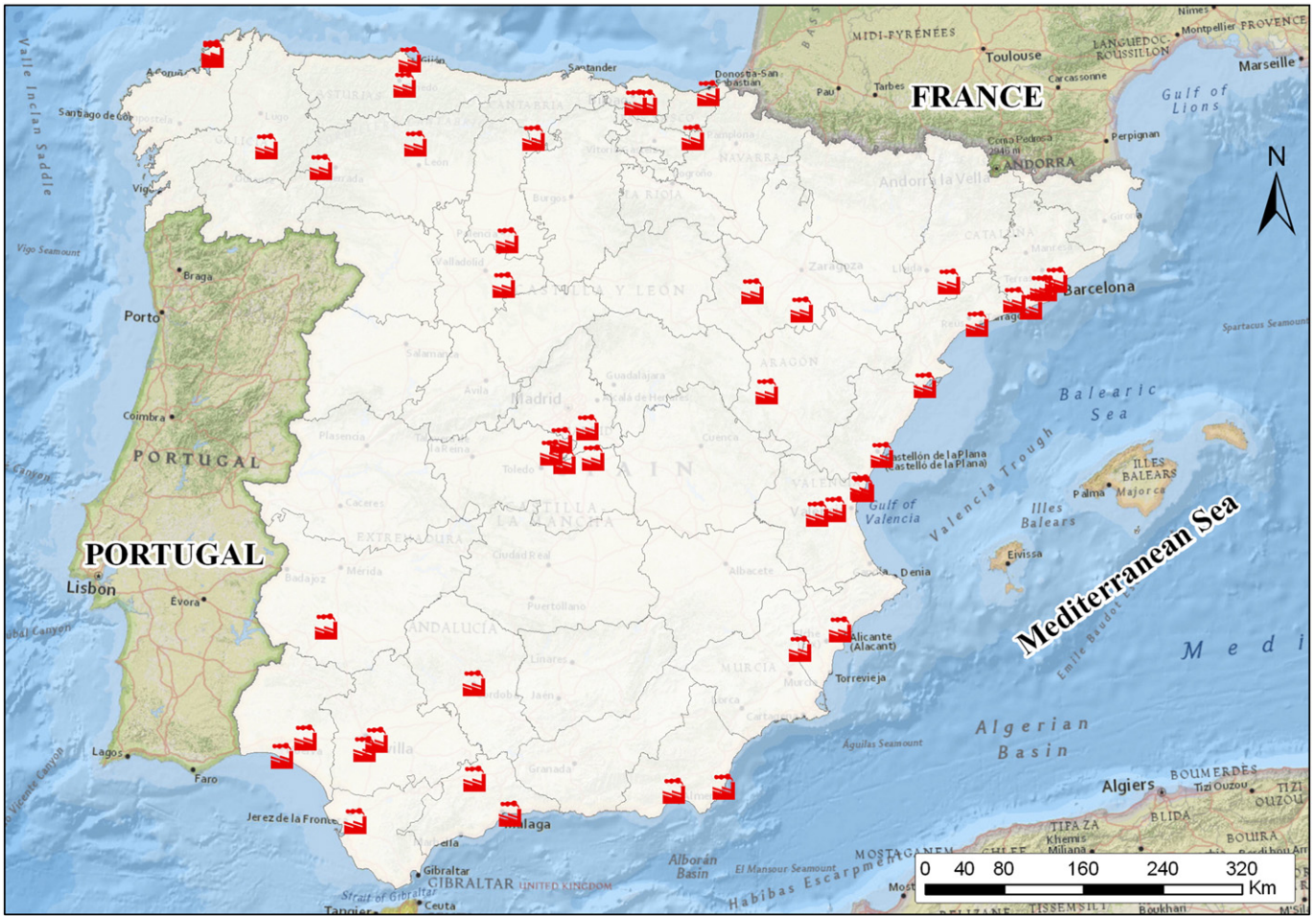


Fig. 5. Location of cement factories in continental Spain.

All the building materials are transported by road in Spain. Fifty one percent of goods transported by road in 2010 in Spain were minerals and building materials (FOMENTO, 2012). The roads map of

Spain in vector format has been downloaded from Cloudmade (Cloudmade, 2012) and information has been validated with satellite imagery.

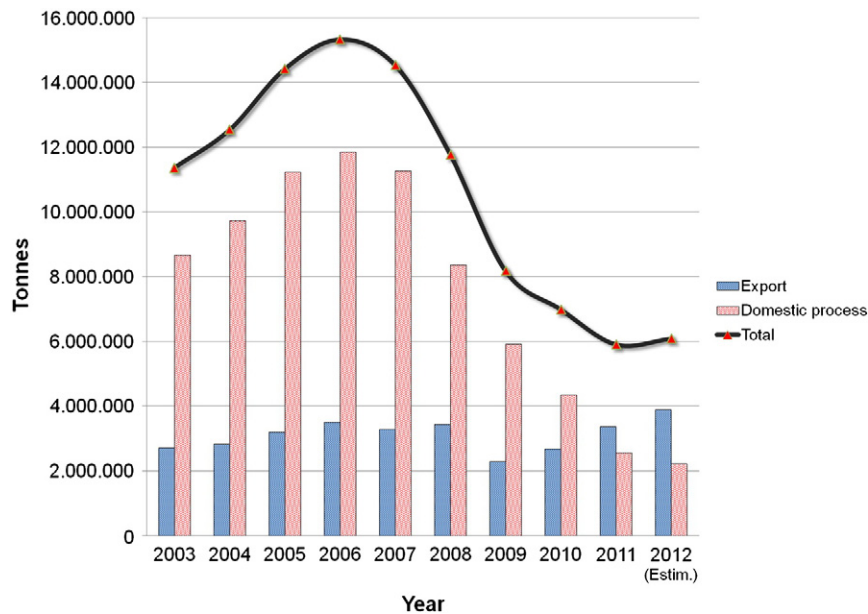


Fig. 6. Annual gypsum quarried in Spain.

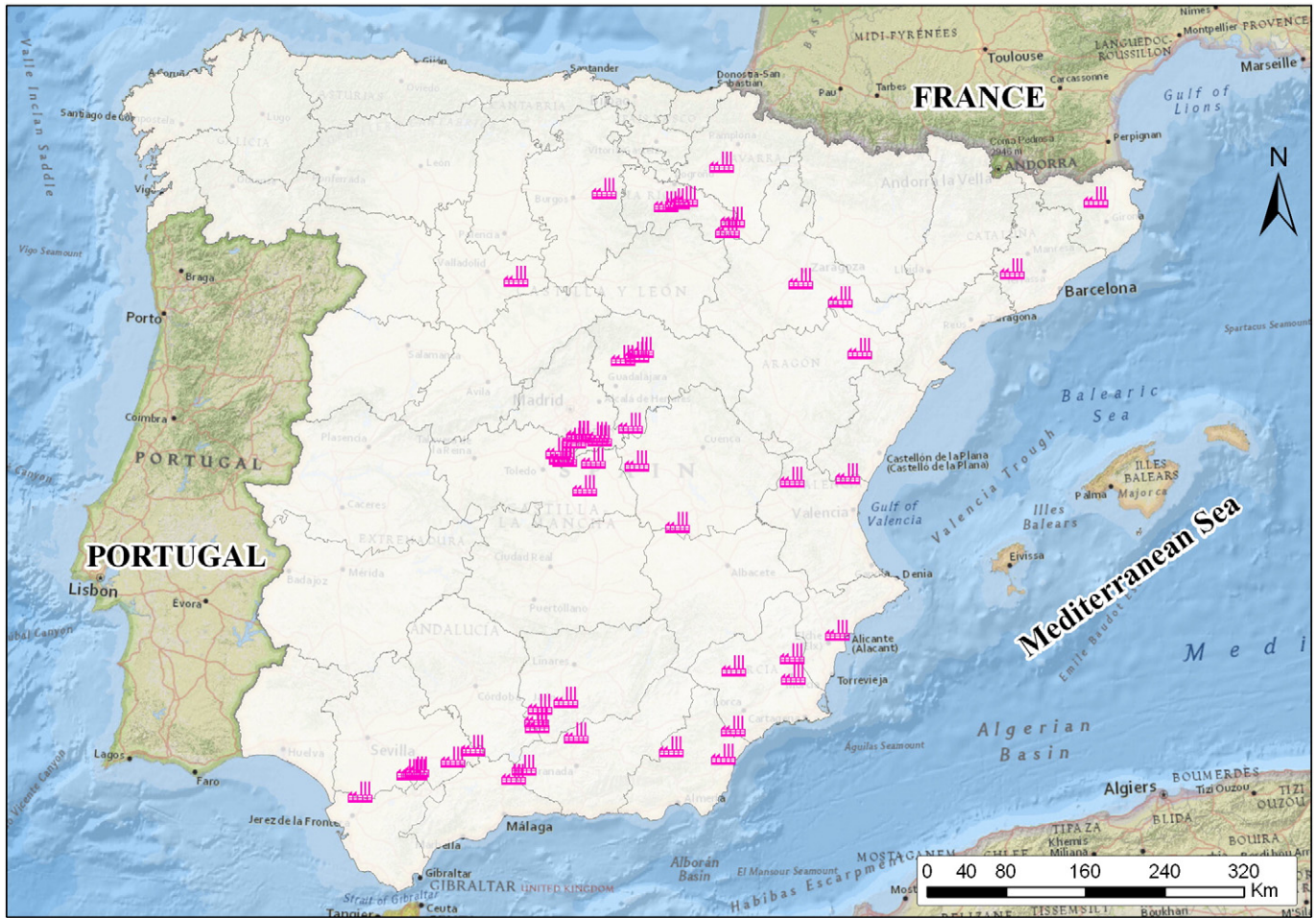


Fig. 7. Location of the Spanish plaster factories.

5. Results

5.1. Gypsum available for quarrying

As previously indicated, the total gypsum-bearing units outcrop area in Spain is 21,077 km², but certainly not all of it is exploitable, in some cases due to the low quality or low quantity of mineral in the deposit. There are other cases where varied restrictions to mining sterilize the resource (i.e. environmentally protected areas, urbanized land and their buffer zones).

Gypsum outcrops of the Balearic Islands have been removed because the perimeter of this study is restricted to continental Spain (Fig. 8A). Based on the geological map descriptions of the different gypsiferous units, those with evident non-economic gypsum content have been removed (i.e. descriptions like “gypsiferous marls”, “gypsiferous clays”, and “scattered gypsum crystals”) (Fig. 8B).

Environmentally protected areas have been also removed, particularly European Sites of Community Importance and Special Areas of Conservation, and Spanish Natural Reserves, Natural Monuments and Landscape Protected Areas (Fig. 8C). Paradoxically, some of the protected areas have as protection motivation their evaporitic nature and its impact in the landscape and the flora (i.e. karst landforms in gypsum and the development of gypsophiles and gypsovags plants).

There is a legal restriction in Spain (Decree 2414/1961) that prevents the opening of new quarries at less than 2 km from any urban area. Therefore, a buffer of 2000 m has been set around all cities and villages of the Spanish Peninsula. Finally, to exclude areas too close to current factories, a buffer distance of 40 km from the factories have been established (Fig. 8D). The target of the study is to find

“virgin” areas where, if installing a facility, the market capture would beat the existing ones.

After this process of removal of the low quality gypsum and the sterilized areas, the initial area of 21,700 km² of gypsiferous outcrops is reduced to 4371.6 km² of available gypsum (Fig. 8E).

5.2. Location–allocation study

Market variables, such as market capture, are regionalized variables that are distributed in a plane with some degree of spatial autocorrelation. In order to get a basis for contouring such type of continuous variable, a regular grid has been constructed over the available gypsum-bearing areas (Sinclair and Blackwell, 2004). This process has been done by creating a raster layer from the available gypsum-bearing units layer and the extraction of the center points of the raster cells. Center points where gypsum is present inherit the properties of the raster cells, and they are used for the market share calculation.

According to the vast dimension of the working area (the whole continental Spain) ArcGIS© recommends 2700 m as the optimal raster cell for this study. This cell size warranties that data storage and analysis can be performed efficiently. The centers of these 2700 m-side cells have been converted into a grid of points (3896 in total). The centers of those cells containing gypsum-bearing units are the raw material for modeling (Fig. 9). The location–allocation analysis has been made on each of these individual points, obtaining the market share captured for each one in the case of a facility being installed at that certain point.

Location–allocation studies are based on the variable distance. This variable has to be limited in order to avoid unnecessary

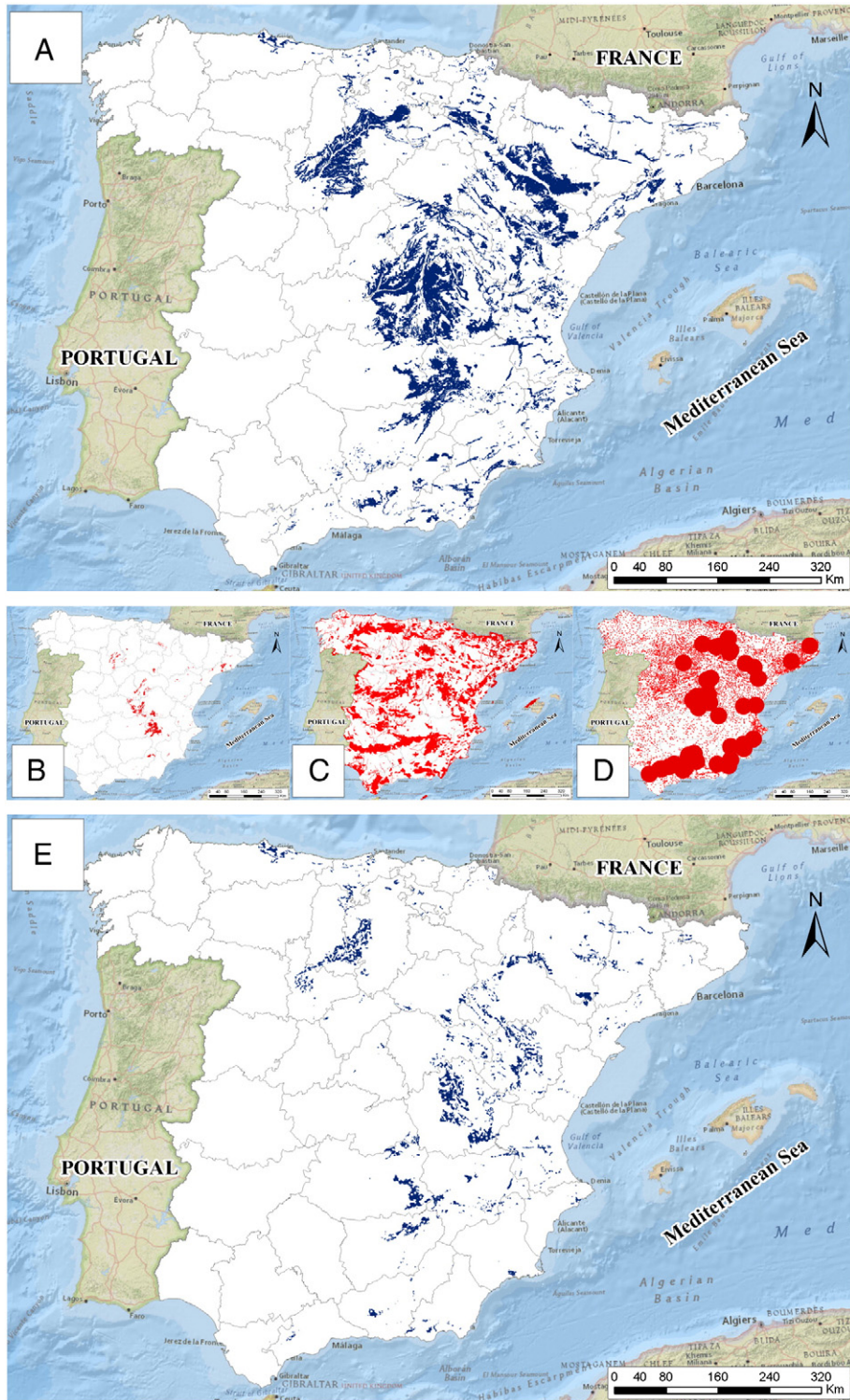


Fig. 8. Process followed to discriminate available gypsum areas from the total gypsum-bearing units cropping out in Spain. (A) Gypsum-bearing units in continental Spain. (B) Low gypsum content gypsiferous geological units. (C) Environmentally protected areas. (D) Buffer areas around urban areas and plaster factories. (E) Available gypsum-bearing areas.

calculations that would make the process more time consuming. This search radius has been set for this study in 500 km for two main reasons:

- In Spain, minerals and building materials are transported by road. According to the Government, 99% of the mineral and building materials travel less than 500 km (Fomento, 2011) (Table 1).
- The geographic extent of a market is the maximum distance so that

a product could be profitably shipped (Weiss, 1972). Nowadays, continental Spain's demand is fully satisfied by domestic production. Therefore, market size is at least as large as the larger minimum distance between a gypsum demand point (urban area or cement factory) and a gypsum supply point (gypsum factory). In our case, this distance appears to be 460 km. When increasing this distance to 500 km then we warranty that every single demand point could be served by at least two facilities.

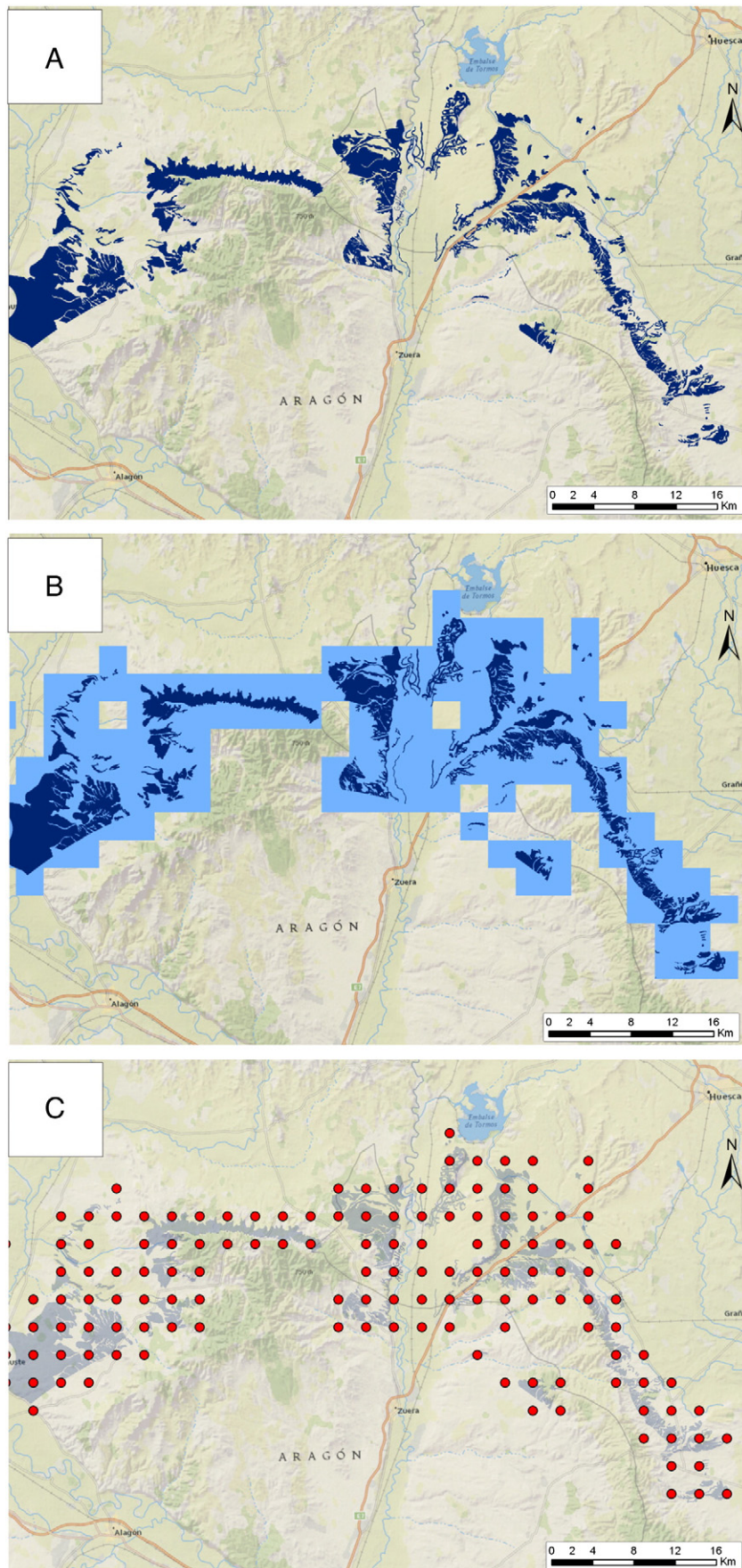


Fig. 9. Transformation process from geological map to point grid. A) Available gypsum-bearing units. B) Raster cells over gypsum-bearing units. C) Center points of each raster cell.

Table 1
Quantity of minerals and building materials transported by road in Spain, classified by distance (year 2010) (Fomento, 2011).

	<50 km	50 to 150 km	150 to 500 km	500 to 1000 km	1000 to 2000 km	>2000 km	Total
Domestic (tons*1000)	665,186	88,178	30,401	5763			78,9528
Internacional (tons*1000)			3681	1096	1020	77	5875
Total (tons*1000)	665,186	88,178	34,082	6859	1020	77	795,403
Cumul tonnage (tons*1000)	665,186	753,364	787,446	794,305	795,325	795,402	
Cumul. Percentage (%)	83.6	94.7	99.0	99.9	100.0	100.0	

A macro has been developed to evaluate the market capture for each candidate, taking into account the 54 existing plants. Each loop of the macro (Fig. 10) consists on: a) the selection of one candidate; b) merging of this candidate with the existing 54 factories; c) evaluation of the market share of each of the 55 points; d) export of the resulting market share value for the candidate into a database; e) the loop restarts. This loop is run for every candidate and finished when all the candidates have been processed. The final result is a database with the XY coordinates for each candidate (3896 points) and their corresponding market share value.

Market share values calculated for the 3896 possible locations (candidates) range from 0.82% to 6.70%, with the exception of an individual value of 9.26% that has been considered as an outlier. The population average is 2.16%, and the standard deviation is 1.36%. We have classified the candidates market share into four classes (Fig. 11) by means of the natural breaks method (Jenks, 1967). The class limits obtained are 1.84%, 3.24% and 5.25%. The upper limit of the lower class (1.84%) is similar to the market share average of the active factories. Therefore, all the candidates included in the lower class have a market share lower than the average of the installed factories. Candidates falling into the higher class, with values above 5.25% of market share, will outperform the market share of most of the current factories.

Two regions with high market share values (more than 5.25%) have been identified (Fig. 11): the north-east region (B) with a few dispersed points, and a more continuous region located in the north-west of the Iberian Peninsula (A), where gypsum-bearing units of different ages cover a vast area. A third region has no interest, due to the relatively low market captured (C). Facilities sited in this C area seem to be more vulnerable in periods of low gypsum demand, like the one Spain is currently living.

In both preferred regions, the gypsum bearing units are of Mesozoic age. The area with higher market share that appear located at the north-west of the Iberian Peninsula corresponds to gypsum sequences of middle to upper Triassic and Jurassic formations. The middle to upper Triassic age deposits are composed of a succession of 60 m thick unit of black and red marls, dolomites and gypsum (Fuentes Formation) (Gervilla et al., 1973; Martínez-García et al., 1998). Hettangian (Lower Jurassic) gypsum bearing outcrops in the northern Iberian Peninsula are represented by the Gijón Formation, a 150 m thick sequence composed of evaporites and dolomites at the surface (Julivert et al., 1973). Moreover, in the subsoil, the Hettangian evaporitic deposits are represented as well by the Puerto Palombrera Formation, with more than 250 m of dolostones and limestones that are interbedded with anhydrite beds (Aurell et al., 2002).

In the high market share region located towards the north-eastern part of Spain, the gypsum deposits are of middle Triassic, Cretaceous and Eocene ages. The Catalanian Coastal Range is the area where the Muschelkalk's Detrital-Evaporitic Intercalation (M2) outcrops shows the wider lateral continuity (Virgili, 1958). These deposits are composed of red clays and marls with gypsum, anhydrite, halite and minor carbonate layers, and range in thickness from 45 to 105 m. The most significant evaporitic components found in these lithologic units are gypsum and anhydrite (Salvany, 1990; Morad et al., 1995). The Cretaceous gypsum bearing units are Albian in age. They appear related to sand, red clays and lignites. The main outcrop is located in Tarragona province, where

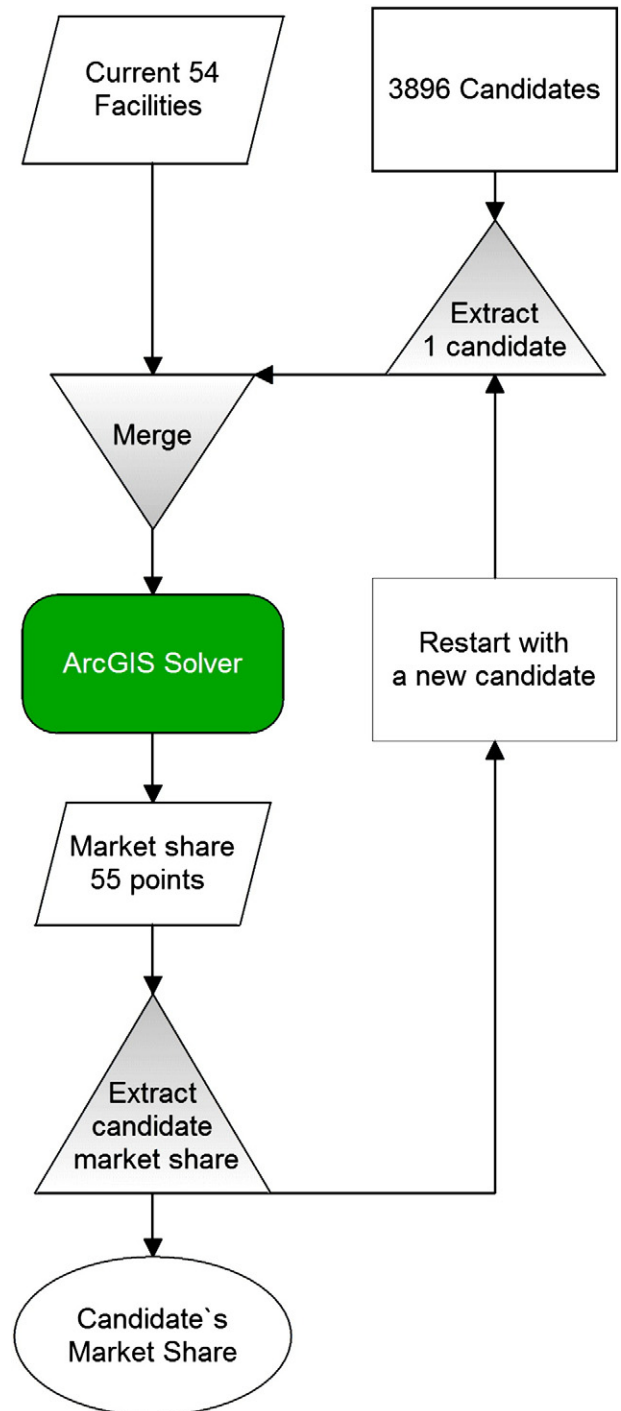


Fig. 10. Diagram of the macro used for the calculation of the market share of each candidate point.

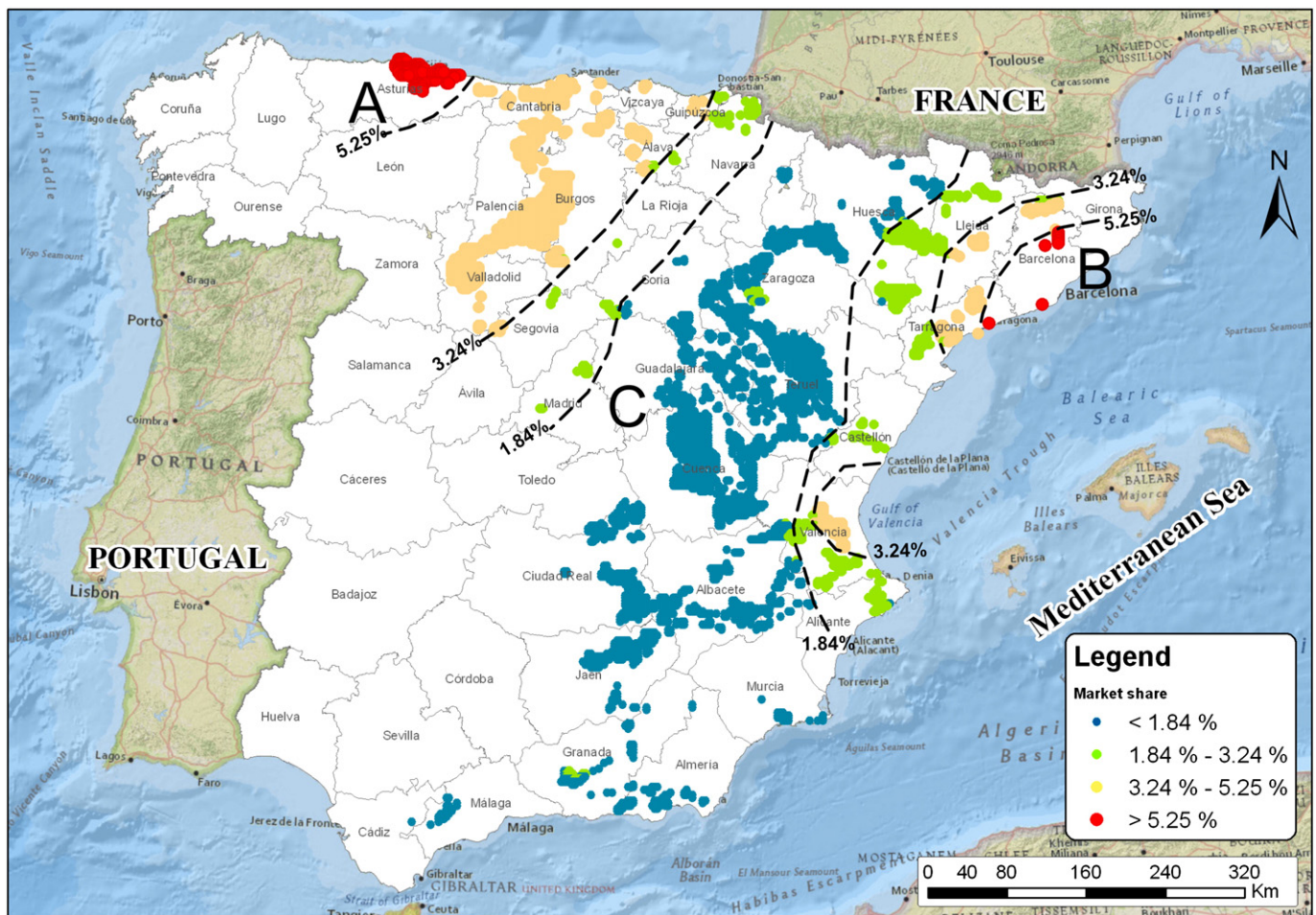


Fig. 11. Market share of the studied grid points; contours separate the different areas based on their market share.

scarce red gypsum and lignite layers are interbedded within yellow-brown marls and clays (Benzaquen et al., 1973). The Eocene gypsum bearing units are represented by the Copons Formation, composed of two Members, the lower one, Clariana Mb. characterized by 120 m of nodular gypsum beds interbedded with lacustrine marls (Ortí, 1990), that changes upwards into the detritic upper member (Sant Gallart Mb).

A broad central band that crosses Spain from the north to the south-southwest (C zone, Fig. 11) has market share values below 1.84%. This is due to the high number of installed facilities compared to the market demand to be satisfied. This area does not present major interest for the development of a new gypsum quarry. Factories and quarries already present in this area seem to be more vulnerable face to demand fall in crisis periods.

This analysis highlights the areas with a higher competitive advantage in terms of market capture and the less favorable ones. These results help in focusing the exploration to the more interesting areas. Moreover, they could be easily converted, if required, into raster format and be incorporated as an additional decision variable in a standard prospectivity study.

Location-allocation modeling takes into account exclusively the cost of transport and they must be used only to represent place value. Other cost factors such as production technology employed, economies of scale, quality of the raw materials, production costs, etc., may generate differences in the delivery prices and therefore, preferences in the clients. Other aspects (not price related) that will impact in the final choice of the customer are marketing, sales network, post selling service, etc. The employed ArcGIS software allows modulating all these factors, not related to the cost of delivery, by

coefficients that give more or less weight to each facility in the final customer decision.

6. Conclusions

This paper presents a methodology to identify and rank optimal areas for gypsum production from an economic point of view, with location-allocation modeling, by using geological maps, location maps of market actors, and transportation networks.

Facility location-allocation analysis serves to analyze the layout of industrial minerals markets in a quantitative manner. It permits to distinguish between areas with an excess of installed facilities from those with a lower coverage that would represent opportunities of capturing high portions of the market.

The results of this study have shown that not only geological parameters should be taken into account for prospectivity analyses of high place-value industrial minerals, but also other parameters such as location attractiveness.

Based on the calculated attainable potential market, location-allocation studies are decision-support tools that can help in the dimensioning of the quarry equipment and associated transformation industry.

This study proves that there is a margin of improvement in the Spanish gypsum market layout. With the location-allocation modeling we have identified optimal areas to place new facilities that would capture a significant portion of the market. The geological regions with the greatest potential to place new quarries (and associated plaster factories) are located in the northwestern (Cantabrian zone) and

north-eastern (easternmost Catalonia) parts of the Iberian Peninsula. These areas have market share values higher than 5.25%, and most of the exploitable gypsum deposits are of Mesozoic age (upper Triassic to Cretaceous formations). Neogene continental deposits of the eastern Ebro basin have as well some economic interest.

The prospectivity analysis map has permitted to delineate an overexploited area where the relative excess of gypsum factories decrease drastically the attainable market share value of this region for new facilities (<1.84%).

Acknowledgments

The authors thank the Laboratory G2R (Lorraine University, France), where most of the modeling was made and in particular Professor Luis Martinez for his useful comments and suggestions. We would like to thank Dr. Franco Pirajno, Dr. Jose Pedro Calvo for all the suggestions and comments that helped to improve this manuscript. Special thanks to Pepa Escavy for her encouragement and help during this research. We would like to acknowledge all those institutions that freely offered the information used for this work: IGME, INE, Ministerio de Fomento, USGS, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, MAGRAMA, Atedy, Oficemen, etc. This study was financed by the Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid (Project 396/2009-4153239).

References

- Abedi, M., Norouzi, G.H., 2012. Integration of various geophysical data with geological and geochemical data to determine additional drilling for copper exploration. *J. Appl. Geophys.* 83, 35–45.
- Agterberg, F.P., 1989. LOGDIA-FORTRAN 77 program for logistic regression with diagnostics. *Comput. Geosci.* 15 (4), 599–614.
- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., Cheng, Q., Wright, D.F., 1993. Weights of evidence modelling and weighted logistic regression for mineral potential mapping. In: Davis, J.C., Herzfeld, U.C. (Eds.), *Computers in Geology, 25 Years of Progress*. Oxford University Press, Oxford, pp. 13–32.
- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., Wright, D.F., 1990. Statistical pattern integration for mineral exploration. In: Gáal, G., Merriam, D.F. (Eds.), *Computers Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment of Metals and Petroleum*. Pergamon Press, Oxford, pp. 1–12.
- ATEDY, 2012. Asociación Técnica y Empresarial del Yeso. Madrid. <http://www.atedy.es/>. Date of access: 20/3/2012.
- Aurell, M., Meléndez, G., Oloriz, F., Bádenas, B., Caracuel, J., García-Ramos, J.C., Goy, A., Linares, A., Quesada, S., Robles, S., Rodríguez-Tovar, F., Rosales, I., Sandoval, J., Suarez de Centi, C., Tavera, J.M., Valenzuela, M., 2002. Jurassic. In: Gibbons, W., Moreno, T. (Eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 213–253.
- Barker, J.M., McLemore, V.T., 2004. Sustainable Development and Industrial Minerals. Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting (2004), Denver, Colorado, p. 5.
- Bates, R.L., 1960. *Geology of the Industrial Rocks and Minerals*. Harper & Brothers Publishers, New York.
- Benzaquen, M., Núñez, A., Martínez, W., 1973. Hoja geológica num. 446 (Valls). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon Press, Oxford (398 pp.).
- Cloudmade, 2012. Cloudmade. <http://downloads.cloudmade.com> (Date of access: 20/3/2012).
- Drezner, T., Drezner, Z., Salhi, S., 1999. Solving the Multiple Competitive Facilities Location Problem. *California State University, Fullerton*, p. 30 (<http://business.fullerton.edu/isds/zdrezner/mult.pdf>).
- Drezner, Z., 1982. Competitive location strategies for two facilities. *Reg. Sci. Urban Econ.* 12 (4), 485–493.
- Escavy, J.I., Herrero, M.J., Arribas, M.E., 2012. Gypsum resources of Spain: temporal and spatial distribution. *Ore Geol. Rev.* 49, 72–84.
- Escavy, J.I., Herrero, M.J., Bustillo, M., 2011. Spanish gypsum market: is life after death? In: IAS (Editor), *28th IAS Meeting of Sedimentology*, Zaragoza (Spain).
- ESRI, 2010. Network Analyst Tutorial. In: E.S.R. Institute (Editor), Redlands, California, pp. 119.
- Fallon, M., Porwal, A.K., Guj, P., 2010. Prospectivity analysis of the Plutonic Marymia Greenstone Belt, Western Australia. *Ore Geol. Rev.* 38, 208–218.
- Farahani, R.Z., Hekmatfar, M., 2009. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Feltrin, L., 2008. Predictive modelling of prospectivity for Pb–Zn deposits in the Lawn Hill Region, Queensland, Australia. *Ore Geol. Rev.* 34, 399–427.
- Fomento, 2011. In: Fomento, M.D. (Ed.), *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera*, 2010, p. 226 (Fomento, Madrid).
- FOMENTO, 2012. Ministerio de Fomento de España. Madrid. http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/ (Date of access: 10/3/2012).
- Gervilla, M., Berioz, C., Pignatelli, R., Baron, A., Coma, J.E., Felgueroso, C., Ramirez del Pozo, J., Giannini, G., 1973. Hoja geológica 29 (Oviedo). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- González-Álvarez, I., Porwal, A.K., Beresford, S.W., McCuaig, T.C., Maier, W.D., 2010. Hydrothermal Ni prospectivity analysis of Tasmania, Australia. *Ore Geol. Rev.* 38, 168–183.
- Hakimi, S.L., 1964. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Oper. Res.* 12, 450–459.
- Hakimi, S.L., 1983. On locating new facilities in a competitive environment. *Eur. J. Oper. Res.* 12 (1), 29–35.
- Hakimi, S.L., 1986. p-Median theorems for competitive locations. *Ann. Oper. Res.* 6, 77–98.
- Hakimi, S.L., 1990. Locations with spatial interactions: competitive locations and games. In: Francis, R.L., Mirchandani, P.B. (Eds.), *Discrete Location Theory*. Wiley-Interscience, New York, pp. 439–478.
- Herrero, M.J., Escavy, J.I., Bustillo, M., in press. The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry production (1998–2012). *Resources Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.02.005>.
- Hotelling, H., 1929. Stability in competition. *Econ. J.* 39, 41–57.
- Huff, D.L., 1964. Defining and estimating a trading area. *J. Mark.* 28 (3), 34–38.
- Huff, D.L., 1966. A programmed solution for approximating an optimum retail location. *Land Econ.* 42 (3), 293–303.
- IGME, 2012. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. www.igme.es (Date of access: 2/2/2012).
- INE, 2012. Instituto Nacional de Estadística. Madrid. www.ine.es. Date of access: 15/8/2012.
- Jenks, G.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*. International Cartographic Association, Ulm, pp. 186–190.
- Joly, A., Porwal, A.K., McCuaig, T.C., 2012. Exploration targeting for orogenic gold deposits in the Granites-Tanami Orogen: Mineral system analysis, targeting model and prospectivity analysis. *Ore Geol. Rev.* 48, 349–383.
- Julivert, M., Truyols, J., Ramirez del Pozo, J., Giannini, G., 1973. Hoja geológica 14 (Gijón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Kendall, A., Kesler, S.E., Keoleian, G.A., 2008. Geologic vs. geographic constraints on cement resources. *Resour. Policy* 33, 160–167.
- Kreuzer, O.P., Markwitz, V., Porwal, A.K., McCuaig, T.C., 2010. A continent-wide study of Australia's uranium potential. Part I: GIS-assisted manual prospectivity analysis. *Ore Geol. Rev.* 38, 334–366.
- Lambert, D.M., 1998. *Fundamentals of Logistics Management*. Irwin McGraw-Hill (611 pp.).
- Lin, S., 1965. Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem. *Bell System Technical Journal* 44 (10), 2245–2269.
- Lord, D., Etheridge, M.A., Willson, M., Hall, G., Uttley, P.J., 2001. Measuring exploration success: an alternative to the discovery-cost-per-ounce method of quantifying exploration success. *Soc. Econ. Geol. Newslett.* 45, 1–16.
- MAGRAMA, 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. <http://www.magrama.gob.es/es/> (Date of access: 15/8/2012).
- Malczewski, J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 20 (7), 703–726.
- Markwitz, V., Maier, W.D., González-Álvarez, I., McCuaig, T.C., Porwal, A.K., 2010. Magmatic nickel sulfide mineralization in Zimbabwe: review of deposits and development of exploration criteria for prospectivity analysis. *Ore Geol. Rev.* 38, 139–155.
- Martínez-García, E., Coquel, R., Gutiérrez-Claverol, M., Quiroga, J.L., 1998. Edad del “Tramo de transición” entre el Pérmico y el Jurásico en el área de Gijón (Asturias, NW de España). *Geogaceta* 24, 215–218.
- Mineco, 2012. Estadísticas del Comercio Exterior (Datacomex). Madrid. <http://datacomex.comercio.es/> (Date of access: 9/15/2012).
- Minetur, 2012a. Catastro Minero de España (Spanish Mining Inventory). Madrid. <http://www.minetur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/EstadisticaMinera.aspx> (Date of access: 5/6/2012).
- Minetur, 2012b. Estadística Minera de España (Spanish Mining Statistics). Madrid. <http://www.minetur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/EstadisticaMinera.aspx> (Date of access: 5/6/2012).
- Morad, S., Al-AASM, I.S., Longstaffe, F.J., Marfil, R., De Ros, L.F., Johansen, H., Marzo, M., 1995. Diagenesis of a mixed siliciclastic/evaporitic sequence of the Middle Muschelkalk (Middle Triassic), the Catalan Coastal Range, NE Spain. *Sedimentology* 42, 749–768.
- Oficemen, 2012. Agrupación de fabricantes de cemento de España. Madrid. http://www.oficemen.com/default.asp?id_cat=10 (Date of access: 15/6/2012).
- Ortí, F., 1990. Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. In: Ortí, F., Salvany, J. (Eds.), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante: Nuevas aportaciones y guía de superficie*. Enresa, Barcelona, pp. 62–66.
- Porwal, A.K., González-Álvarez, I., Markwitz, V., McCuaig, T.C., Mamuse, A., 2010. Weights-of-evidence and logistic regression modeling of magmatic nickel sulfide prospectivity in the Yilgarn Craton, Western Australia. *Ore Geol. Rev.* 38, 184–196.
- Porwal, A.K., Kreuzer, O.P., 2010. Introduction to the Special Issue: mineral prospectivity analysis and quantitative resource estimation. *Ore Geol. Rev.* 38, 121–127.
- Regueiro, M., Calvo, J.P., 1997. El yeso. Geología y yacimientos en España. *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.* 36 (6), 563–569.
- Revelle, C.S., Laporte, G., 1996. The plant location problem: new models and research prospects. *Oper. Res.* 44 (6), 864–874.
- Riotinto-Exploration, 2011. Exploration. In: Tinto, R. (Ed.), *Fact Sheet. Rio Tinto plc*, London.
- Robinson, G.R.J., Kapo, K.E., Raines, G.L., 2004. A GIS analysis to evaluate areas suitable for crushed stone aggregate quarries in New England, USA. *Nat. Resour. Res.* 13 (3), 143–159.

- Robinson, G.R.J., Larkins, P.M., 2007. Probabilistic prediction models for aggregate quarry siting. *Nat. Resour. Res.* 16 (2), 135–146.
- Salazar, K., McNutt, M.K., 2012. Mineral Commodity Summaries 2012. In: U.S.G. Survey (Editor). U.S. Department of the Interior, Reston, pp. 201.
- Salvany, J., 1990. Introducción a las evaporitas triásicas de las cadenas periféricas de la cuenca del Ebro: Catalanides, Pirineo y Región Cantábrica. In: Orti, F., Salvany, J. (Eds.), Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie, Enresa, Barcelona, pp. 9–20.
- Sinclair, A.J., Blackwell, G.H., 2004. Applied Mineral Inventory Estimation. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sule, D.R., 2001. Logistics of Facility Location and Allocation. Marcel Dekker Inc., New York.
- Teitz, M.B., Bart, P., 1968. Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *Oper. Res.* 16 (5), 955–961.
- Virgili, C., 1958. El Triásico de los Catalánides. *Bol. Geol. Min.* LXIX, 1–856.
- Weiss, L.W., 1972. The geographic size of markets in manufacturing. *Rev. Econ. Stat.* 54 (3), 14.

6.3.- Resultados Parciales

Gracias al empleo de técnicas de localización y asignación de clientes, en combinación con la información geológica, se ha podido realizar una clasificación de las zonas de yeso de la Península Ibérica, en función de su interés, desde el punto de vista económico, para la apertura de una instalación de fabricación de yeso.

De este estudio se desprende que, para las rocas y minerales industriales con poco valor unitario, el estudio geográfico del mercado es imprescindible para seleccionar las zonas a explorar. En España, se han encontrado dos zonas con valores potenciales de captura de mercado altos ($> 5,25\%$) si se instalara una fábrica de yeso cocido en esas zonas:

- a) una amplia región en el área norte del Principado de Asturias, en el noroeste de España (Fig. 6.1), con un valor máximo de cuota de mercado del 6,7%, y

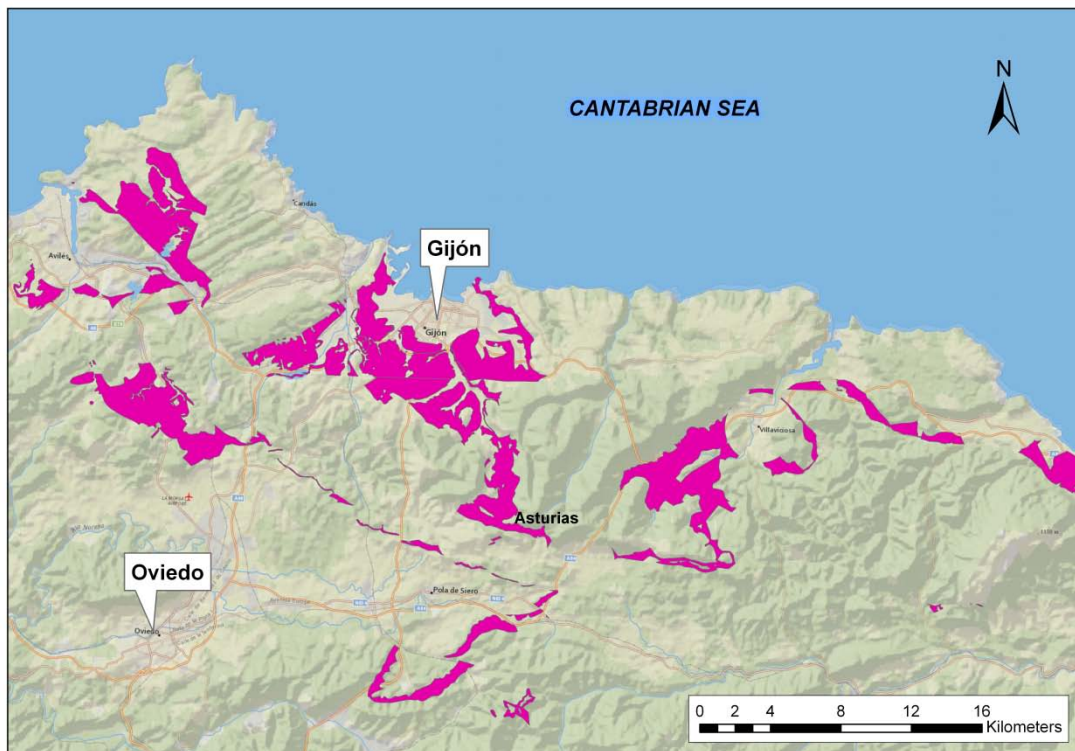


Figura 6.1.- Zonas de alto interés de exploración en el Principado de Asturias (cuota de mercado $> 5,25\%$).

b) varias pequeñas zonas aisladas en el noreste de España, en las provincias de Barcelona y Tarragona (Fig. 6.2) con un máximo de 6,2% de cuota de mercado.

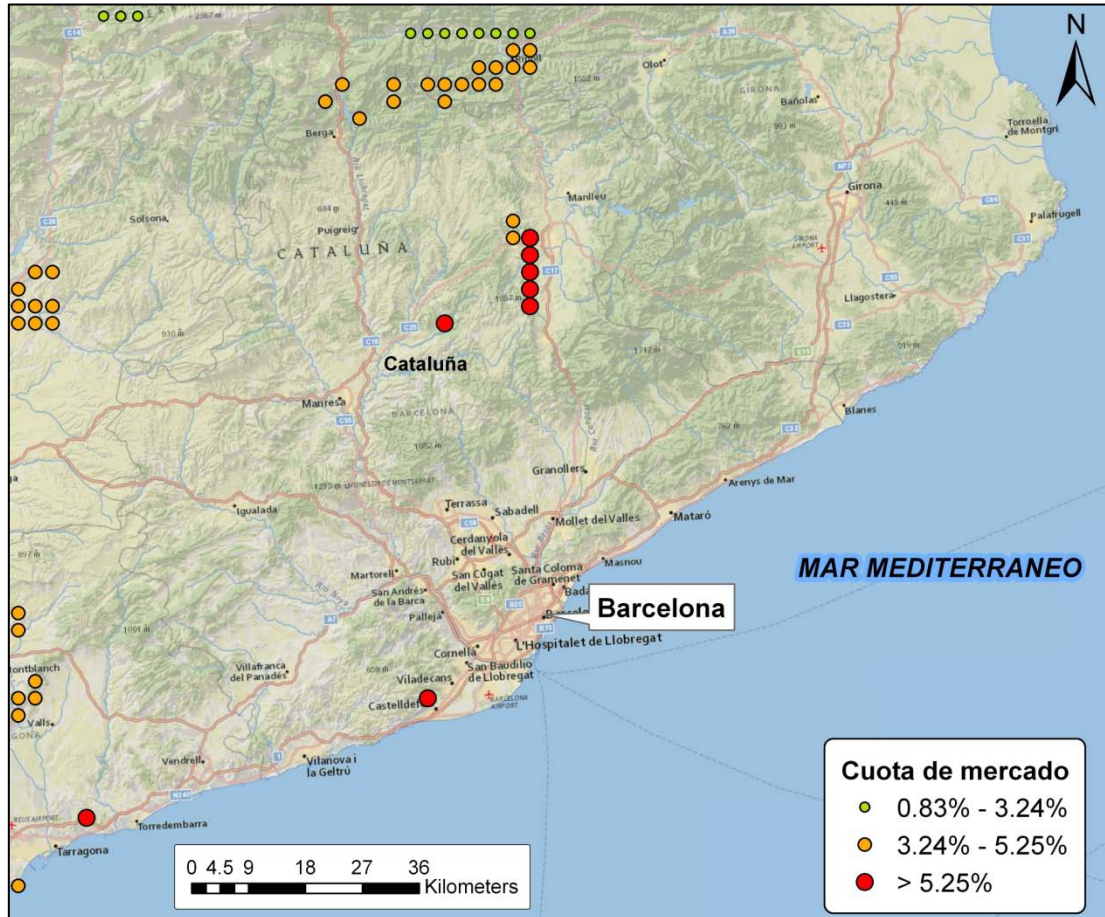


Figura 6.2.- Zonas de alto interés de exploración en el noreste de España.

El mapa de isocotas de mercado ha permitido definir una zona en la que las cuotas de mercado presentan valores bajos, por debajo de la media nacional ($< 1,84$) que comprende a grandes rasgos las Comunidades Autónomas de Aragón, Madrid, Castilla la Mancha, Andalucía y Murcia. En esta zona, el gran número de operadores y la gran competencia entre las fábricas ya establecidas es muy alta, lo que provoca menores beneficios en épocas de bonanza y una mayor dificultad para sobrevivir en épocas de crisis como la actual.

Esta herramienta también puede ser de gran utilidad a la hora de dimensionar correctamente las instalaciones industriales (fábrica, equipamiento de cantera, etc.) en base a la cuota de mercado y, por tanto, a la producción estimada en las distintas fases del ciclo económico.

7.- CONCLUSIONES

La superficie ocupada por materiales salinos en España asciende a 21.077 km², lo cual representa un 4,2% de la superficie del país. La inmensa mayoría de los materiales salinos que afloran son yesos, aunque en profundidad la variedad de mineralogías es enorme (anhidrita, halita, glauberita, thenardita, sales potásicas, etc.). La mayor parte de los afloramientos se encuentran en la mitad este del país, en lo que Riba y Macau (1962) denominaron la “España Yesosa”.

La superficie ocupada por derechos mineros para el beneficio del yeso asciende a 916 km², lo que supone un el 4,35% del total de la superficie yesífera de España y un 21% de la superficie de yeso explotable (4.372 km²). La superficie de yeso explotable se ha calculado restando al total de afloramientos las zonas esterilizadas desde el punto de vista minero, tanto por proximidad a municipios o fábricas de yeso ya establecidas, como por estar en zonas protegidas medioambientalmente.

Los yacimientos de evaporitas más antiguos que aparecen en España son de edad triásica (permo-triásica según algunos autores), aunque se han encontrado señales en el Cámbrico que indican condiciones de sedimentación evaporíticas. Los depósitos evaporíticos con mayor superficie de afloramiento son de edad neógena, aunque, por volumen total, los más abundantes son los de edad mesozoica, encontrándose la mayor parte en el subsuelo.

Desde el punto de vista genético, las evaporitas marinas dominan en el Triásico, Jurásico, Cretácico y Neógeno. Los depósitos de evaporitas continentales son frecuentes en el Neógeno y dominan en el Cuaternario. Por su parte, las evaporitas marinas mesozoicas han aportado una buena parte de los solutos empleados para la formación de las evaporitas continentales, tanto paleógenas como neógenas.

La diferencia entre la superficie ocupada por los materiales yesíferos obtenidos en el presente estudio (4,2% de España) y la extensión obtenida por Riba y Macau en 1962 (7,2%), tiene su origen en diversos factores:

- La diferencia en la escala de trabajo empleada (1:50.000 frente a 1:500.000 de Riba y Macau). Esto ha permitido obtener una mayor precisión a la hora de delinear y cuantificar la superficie de las unidades yesíferas.
- La diferencia de objetivos a la hora de calcular la superficie. Para el cálculo de la superficie de yeso con fines extractivos, se es más restrictivo que cuando el cálculo se realiza para delimitar zonas de riesgo para infraestructuras donde, por prudencia, se sobreestiman las zonas de riesgo.
- La incorporación al presente estudio de gran cantidad de información aparecida en numerosos trabajos de investigación e industriales realizados desde 1962, año del trabajo de Riba y Macau. Esta mayor información disponible ha permitido trabajar con una mayor precisión, tanto en la delimitación de las superficies evaporíticas, como en la definición de la edad de las mismas e, incluso, en el origen de los diferentes materiales salinos.

El clima global y una situación tectónica favorable parecen ser los factores principales que han controlado la presencia y características de los depósitos salinos de edad mesozoica. En el caso de los depósitos evaporíticos cenozoicos, su origen ha sido controlado por factores más locales (en el caso de las evaporitas continentales) y regionales (en el caso de las secuencias marinas). En particular, los efectos de la tectónica alpina, con la creación de grandes cuencas endorreicas y barreras orográficas, parecen haber tenido una gran influencia en la génesis de los depósitos continentales, mientras que sus efectos, cerrando parcialmente la entrada de agua del Atlántico al Mediterráneo, han favorecido la sedimentación de evaporitas marinas en los bordes de la cuenca mediterránea.

Desde el punto de vista del mercado, de mediados de los años 90 hasta la actualidad, se pueden identificar en España tres etapas en la producción de yeso en cantera. La primera, que transcurre desde mediados de los años 90 hasta 2006, se caracteriza por progresivos incrementos de la producción de yeso en cantera (de

9,9 Mt a 15,3 Mt), de la demanda interna (de 6,7 Mt a 11,8 Mt) y del número de canteras de yeso activas (de 110 a 123). De 2006 a 2010, el escenario es el inverso, con caídas en la producción en cantera (a 7,0 Mt), la demanda interna (4,3 Mt) y el número de canteras en funcionamiento (a 101).

En 2011 la demanda interna siguió cayendo, pero esa caída fue compensada por el fuerte aumento en las exportaciones. El total de yeso explotado en cantera ascendió moderadamente, alcanzando los 7,83 Mt. En el caso de 2012, la caída de la demanda interna se ha estimado en 760.000 t y en 2013 de otras 260.000 t. La caída de la demanda interna de yeso esperada en 2013 es la menos intensa desde el comienzo de la crisis, lo que podría anticipar, si no un cambio de ciclo, al menos una estabilización del mercado, frenándose la intensa caída que viene sufriendo desde el estallido de la burbuja inmobiliaria.

Los efectos de la crisis, en los distintos productores de yeso, son muy diferentes en función de si el destino de su producción es la exportación o el mercado interno y, en el caso de estos segundos, en qué región se encuentre.

Gracias al empleo de técnicas de localización y asignación de clientes, en combinación con la información geológica, se ha podido realizar una clasificación de las zonas de yeso de la Península Ibérica, en función de su interés desde el punto de vista económico para el establecimiento de una instalación de calcinación de yeso.

De este estudio se desprende que, para las rocas y minerales industriales con poco valor unitario, el estudio geográfico del mercado es imprescindible para seleccionar las zonas a explorar. En España, se han encontrado dos zonas con valores potenciales de captura de mercado altos (> 5,25%) si se instalara una fábrica de yeso cocido en esas regiones. Las zonas con mayor interés son:

- a) una amplia región en el área central del Principado de Asturias, en el noroeste de España, con un máximo de cuota de mercado del 6,7%, y
- b) varias pequeñas zonas aisladas en el noreste de España, en las provincias de Barcelona y Tarragona que alcanzan un máximo de 6,2%.

El mapa de isocotas de mercado ha permitido también definir una zona en la que las cuotas de mercado presentan valores bajos, por debajo de la media nacional ($< 1,84$), que comprende, a grandes rasgos, las Comunidades Autónomas de Aragón, Madrid, Castilla la Mancha, Andalucía y Murcia. En esta zona la competencia entre las fábricas ya establecidas es muy alta, lo que provoca menores beneficios en épocas de bonanza y una mayor dificultad para sobrevivir en épocas de crisis como la actual. La mayor parte de las canteras que han detenido su actividad, desde el principio de la crisis, y el total de fábricas de yeso cocido que han quebrado se encuentran en la zona de baja cuota de mercado y, por tanto, de alta competencia ($<1,84\%$), obtenida mediante el análisis de localización-asignación.

Esta herramienta es de gran utilidad y ayuda a la hora de dimensionar correctamente las instalaciones industriales (fábrica, equipamiento de cantera, etc.) en base a la cuota de mercado, pudiendo estimar cual sería la producción media y máxima en cada momento del ciclo económico.

7.1.- Relevancia de los resultados

El presente estudio, más allá de la identificación de ciertas zonas favorables para la instalación de una fábrica de yeso en la España peninsular, supone el primer intento para obtener una metodología para la priorización de zonas de exploración (prospectividad) de minerales industriales de alto valor de localización (los más utilizados en volumen por los seres humanos) mediante la combinación de factores geológicos y de mercado.

El estudio de los parámetros de mercado ofrece una visión de las zonas más favorables y menos atractivas para el establecimiento de unidades productivas. La combinación de los datos de mercado con los geológicos permite priorizar las zonas a investigar de mayor a menor atractivo. Estos estudios, denominados de prospectividad, se realizan de forma sistemática para la exploración de yacimientos metálicos, basándose éstos en criterios puramente geológicos. Este trabajo pretende abrir el terreno de los estudios de prospectividad al campo de los minerales industriales, especialmente de aquellos de bajo precio y altos volúmenes de producción.

7.2.- Futuras líneas de investigación

Las conclusiones del presente estudio están orientadas al caso del mercado de yeso en la España peninsular, sin embargo, la metodología aquí presentada podría aplicarse a cualquier mineral industrial de bajo coste y alto tonelaje, como la arcilla para la fabricación de ladrillos y tejas, caliza para la fabricación de cemento, áridos, etc. Las diferencias de cada uno de estos productos en los parámetros de cálculo deberían ser estudiados.

El impacto de las variaciones de precio del combustible en los estudios de localización de instalaciones también debería ser investigado en mayor detalle. Una valoración del impacto producido por el precio del combustible podría hacer más precisos los resultados, permitiendo realizar un estudio de sensibilidad del método. El incorporar el precio del combustible daría la posibilidad de obtener diferentes escenarios, del más favorable al más desfavorable, pudiendo incorporarse en el proceso de toma de decisiones de la empresa.

En un escenario en el que los precios de los combustibles fósiles pueden progresivamente ir subiendo, otros nuevos minerales industriales se irán incorporando a la categoría de rocas y minerales industriales de alto valor de localización, siendo susceptibles de ser estudiados siguiendo la metodología aquí presentada. La identificación de dichos materiales podría ser de gran utilidad en la industria para la realización de planes de desarrollo de proyectos mineros y planes de contingencia.

7.- CONCLUSIONS

The area occupied by saline materials in Spain amounts up to 21,077 km² that represents the 4.2% of the country's area. The vast majority of the outcrops are composed of gypsum, although an enormous variety of mineralogies (anhydrite, halite, glauberite, thenardite, potassium salts, etc.) occur at depth. Most of the outcrops are found in the eastern half of the country, area named by Riba and Macau (1962) as “the gypsiferous Spain”.

Mining rights for gypsum occupy 916 km² which represents 4.35% of the total area of gypsiferous Spain and 21% of the gypsum mineable surface (4,372 km²). The exploitable gypsum surface has been calculated by subtracting the sterilized areas from a mining point of view: i) low grade gypsum deposits, ii) those areas where mining is not permitted due to environmental protection, and iii) the areas next to urban areas or to existing gypsum facilities.

The oldest evaporites deposits appearing in Spain are of Triassic age (Permo-Triassic according to some authors) although in the Cambrian there are some evidences that indicate evaporite sedimentation conditions. Most of the outcrops of evaporite rocks are Neogene in age, but the most abundant evaporitic deposits in the subsoil are Mesozoic.

From the genetic standpoint, marine evaporites dominate the Triassic, Jurassic, Cretaceous and Neogene sequences. The continental evaporite deposits are common in the Neogene and dominate in the Quaternary. The marine evaporites of the Mesozoic have provided much of the solutes that have been used for the formation of continental evaporites, of both, Paleogene and Neogene ages.

The most recent study, previous to the one presented here, is the one performed by Riba and Macau (1962) more than fifty years ago. The differences found between the results of both studies are due to:

- The difference in the work scale employed (1:50,000 versus 1:500,000 of Riba and Macau). The scale used in the current study gave us a greater

accuracy to delineate and quantify the outcrops of the gypsum-bearing geological units.

- The difference of the objectives for the calculation. Calculation of the plaster surface for mining purposes is more restrictive than when the calculation is performed to delineate risk areas for infrastructures (where prudence recommends overestimating risk areas).
- The incorporation, in the present work, of a large amount of information delivered since 1962 in numerous industrial and research documents. The additional available information has allowed us to work with a greater accuracy in the delineation of the surfaces containing evaporites, and in the definition of the age and characteristics of the different saline bodies.

Climate and tectonic, both parameters at a global scale, seem to be the major factors controlling the presence and characteristics of Mesozoic evaporites. In the case of Cenozoic evaporites, its origin has been mainly controlled by local factors (in the case of continental evaporites) and regional (in the case of marine sequences). In particular, the effects of Alpine tectonics in the creation of large endorheic basins and mountain barriers seem to have had a great influence on the genesis of continental deposits, while its effects, partially closing the water inlet of the Atlantic to the Mediterranean, have favored the sedimentation of marine evaporites at the edges of the Mediterranean basin during the Messinian.

From the Spanish gypsum production point of view, from mid-90s to the present day, we can identify three phases. The first, which runs from mid-90s until 2006, is characterized by progressive increase in the production of gypsum (from 9.9 Mt to 15.3 Mt), domestic demand (6.7 Mt at 11.8 Mt) and the number of gypsum quarries in operation (from 110-123). From 2006 to 2010, the scenario inverts, with a decline in quarry production (7.0 Mt), domestic demand (4.3 Mt) and the number of quarries in operation, from 123 to 101.

In 2011 domestic demand continued to decline, but it was offset by strong growth in exports. The total mined gypsum raised moderately in 2012, reaching

7.83 Mt. For years 2012 and 2013, the fall in domestic demand is estimated to be 760,000 t and 260,000 t respectively. The expected fall in domestic demand for gypsum in 2013 is the less intense since the beginning of the crisis which could point to, if not a cyclical change, at least a stabilization of the market, slowing the collapse that has suffered since the bursting of the housing bubble.

The effects of the crisis on different gypsum producers are very different depending on whether the fate of its production is for export or the domestic market and, in the case of the second, the region where they are installed.

Through the use of techniques for locating and allocating customers in combination with geological information, we have been able to classify gypsum areas of the Iberian Peninsula on the basis of their interest from the economic point of view, to build a plaster factory with an associated gypsum quarry.

This study shows that, for industrial minerals with low unit value, a geographical study of the market is essential to select the areas to explore. In Spain we have found two areas with high potential market capture values (> 5.25%) in the case a plaster factory is installed in those areas. The most interesting areas are:

- a) a broad region in the central area of the Principado de Asturias, in northwestern Spain, and
- b) several small isolated areas in the northeast of Spain, in the provinces of Barcelona and Tarragona.

The market capture contour lines has helped to define an area in which the market shares presents low values, below the national average (<1.84%), comprising the autonomous regions of Aragon, Madrid, Castilla-La Mancha , Andalusia and Murcia. In this area, the degree of competition between established plants is very high, leading to lower profits in periods of economic boom, and more difficulty to survive during crisis such as the present one. Most of the quarries that have stopped their activity from the beginning of the crisis, and all the plaster factories that went into bankrupt, are in the defined as low market share area (<1.84%), obtained by the location-allocation study.

This tool has resulted after this study as being very useful to determine the capacity of production and the equipment size of the new facilities. Based on the potential market share, it is possible to estimate the maximum and average production for different moments of the economic cycle.

7.1.- Relevance of results

The present study, beyond identifying certain favorable areas for the installation of a gypsum factory in mainland Spain, it is the first attempt to obtain a methodology for prioritization of exploration areas (prospectivity) of high place-value industrial minerals (the most used in volume by humans), by combining geological and market factors.

The analysis of market parameters provides an overview of the most favorable and less attractive areas for the establishment of production facilities. The combination of geographic and economic market data with geology, has allowed prioritizing the areas to investigate, from high to low attractiveness. These prospectivity studies are systematically performed for exploration of metal deposits, based purely on geological information. The present work aims to open up the field of prospectivity studies to the industrial minerals, especially of those with low price and high volume production.

7.2.- Proposed future research lines

The results obtained from this study are oriented to the plaster market in mainland Spain. However, the methodology here presented could be applied to any industrial mineral or rock lying in the high place-value category, such as clay for making bricks and tiles, limestone for the manufacture of cement, aggregates, etc. The identification of the differences for each of these products in the calculation parameters would generate different research lines.

The impact of fuel price changes in facility location studies should also be studied in greater detail. A study of the impact of fuel prices could improve the accuracy of the results, allowing a study of sensitivity of the method to be made. Incorporating fuel prices would give the possibility to work in different scenarios, from the most to less favorable, and then to be incorporated into the decision-making process of the company.

In a scenario in which fossil fuel prices would gradually increase, new industrial minerals will join the high place-value category, being liable to be studied following the methodology presented herein. The identification of such materials would be of great usefulness for industry, to develop contingency plans for the mining projects.

8.- BIBLIOGRAFIA

- Abedi, M. y Norouzi, G.H. (2012). Integration of various geophysical data with geological and geochemical data to determine additional drilling for copper exploration. *Journal of Applied Geophysics*, 83: 35-45.
- Adell, F., Bascones, F., Martínez-Álvarez, L., Tena-Dávila, F., González, E. y Rodríguez-González, A. (1981). Hoja geológica num. 461 (Sigüenza), Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. IGME, Madrid.
- Agterberg, F.P. (1989). LOGDIA-FORTRAN 77 program for logistic regression with diagnostics. *Computers & Geosciences*, 15(4): 599-614.
- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., Cheng, Q. y Wright, D.F. (1993). Weights of evidence modelling and weighted logistic regression for mineral potential mapping. En: J.C. Davis y U.C. Herzfeld (Editores), *Computers in Geology, 25 Years of Progress*. Oxford University Press, Oxford, pp. 13-32.
- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. y Wright, D.F. (1990). Statistical pattern integration for mineral exploration. En: G. Gáal y D.F. Merriam (Editores), *Computers Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment of Metals and Petroleum*. Pergamon Press, Oxford, pp. 1-12.
- Alberto, F. y Navas, A. (1986). La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. I Cartografía de síntesis de las formaciones con yesos. *An. Aula Dei*, 18(1-2): 7-18.
- Aldaya, F., Puga, E., Díaz de Federico, A. y García, V. (1979). Hoja geológica num. 1042 (Lanjarón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Almagro, A. (1984). El yeso material mudéjar, III Simposio Internacional de Mudejarismo. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, pp. 453-457.

- Alonso, A., Meléndez, N. y Mas, R. (1991). Sedimentación lacustre durante el Cretácico en la Cordillera Ibérica, España. *Acta Geol. Hisp.*, 26(1): 35-54.
- Álvaro-López, M., García Argüeso, J.M., Manjón, M., Navidad, M., Cabañas, I., Uvalde, M.A., Sánchez, V., Yébenes, A. y Peláez, J.R. (1977). Hoja geológica 814 (Villanueva de la Fuente). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Álvaro, J.J., Rouchy, J.M., Bechstädt, T., Boucot, A., Boyer, F., Debrenne, F., Moreno-Eiris, E., Perejón, A. y Vennin, E. (2000). Evaporitic constraints on the southward drifting of the western Gondwana margin during Early Cambrian times. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160(1-2): 105-122.
- Alloza, R. y Marzo, P. (2005). Los Morteros Antiguos. *Kausis*, 3: 46-52.
- Anadón, P., Ortí, F. y Rosell, L. (1997). Unidades evaporíticas de la zona de Libros-Cascante (Mioceno, Cuenca de Teruel): Características estratigráficas y sedimentológicas. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22: 283-304.
- ANEFA (2012). Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos. <http://www.aridos.org/>. Madrid. Fecha de acceso: 11/2012.
- Arias, C., Bascones, L., Lendínez, A., Martín-Herrero, D., Tena-Dávila, M. y La Moneda, E. (1981). Hoja geológica 791 (Chinchilla de Monte Aragón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Armenteros, I., Corrochano, A., Alonso-Gavilán, G., Carballeira, J. y Rodríguez, J.M. (2002). Duero basin (northern Spain). Tertiary. En: W. Gibbons y T. Moreno (Editores), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 255-292.
- Arribas, J. (1986). Sedimentología y Diagénesis del Buntsandstein y Muschelkalk de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Provincias de Soria y Zaragoza), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 621 pp.
- Arribas, M.E. (1986). Petrología y análisis secuencial de los carbonatos lacustres del Paleógeno del sector N de la cuenca terciaria del Tajo (provincia de Guadalajara). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 10: 295-334.

- Arribas, J. y Díaz-Molina, M. (1996). Saline deposits associated with fluvial fans, Late Oligocene-Early Miocene, Loranca Basin, Central Spain. En: P. Friend y C. Dabrio (Editores), Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal kinematics. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 308-312.
- ATEDY (2012). Asociación Técnica y Empresarial del Yeso. Madrid. <http://www.atedy.es/>. Fecha de acceso: 20/3/2012.
- Aurell, M., Meléndez, G., Oloriz, F., Bádenas, B., Caracuel, J., García-Ramos, J.C., Goy, A., Linares, A., Quesada, S., Robles, S., Rodríguez-Tovar, F., Rosales, I., Sandoval, J., Suarez de Centi, C., Tavera, J.M. y Valenzuela, M. (2002). Jurassic. En: W. Gibbons y T. Moreno (Editores), The Geology of Spain. The Geological Society, London, pp. 213-253.
- Barker, J.M. y McLemore, V.T. (2004). Sustainable Development and Industrial Minerals, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting (2004), Denver, Colorado, pp. 5.
- Bartrina, T. y Hernández, E. (1990). Las unidades evaporíticas del Triásico del subsuelo del Maestrazgo. En: F. Orti y J. Salvany (Editores), Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie. ENRESA, Barcelona, pp. 34-38.
- Bates, R.L. (1960). Geology of the Industrial Rocks and Minerals. Harper & Brothers Publishers, New York, 441 pp.
- Bates, R.L. (1975). Introduction. En: S.J. Lefond (Editor), Industrial Minerals and Rocks. AIME, New York, pp. 3-7.
- Benzaquen, M., Núñez, A. y Martínez, W. (1973). Hoja geológica num. 446 (Valls). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Bernárdez, M.J. y Guisado, J.C. (2003). La minería romana del lapis specularis. Una minería de interior. En: L. Abad Casal (Editor), Investigaciones Arqueológicas en

- Castilla-La Mancha 1996-2002. Patrimonio Histórico. Arqueología; 18. Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Toledo, pp. 245-256.
- Bernardos, G. (2009). Creación y destrucción de la burbuja inmobiliaria en España. *Revista de Economía ICE, Información Comercial Española*, 850(La primera crisis global. Procesos, consecuencias, medidas.): 23-40.
- Bonham-Carter, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon Press, Oxford, 398 pp.
- Braga, J.C., Martín, J.M. y Aguirre, J. (2002). Southern Spain. Tertiary. En: W. Gibbons y T. Moreno (Editores), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 320-327.
- Bustillo, M. y Calvo, J.P. (2005). *Materiales de Construcción*. Fuelleo Editores, Madrid, 458 pp.
- Cabrera, J.M. (1991). Materiales de reparación: sus mecanismos de actuación y criterios de selección (limpieza y protección de fachadas), *Jornadas Sobre Restauración y Conservación de Monumentos*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, pp. 89-100.
- Calvo, J.P., Alonso-Zarza, A.M., García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Rodríguez-Aranda, J.P. y Sanz-Montero, M.E. (1996). Sedimentary evolution of lake systems through the Miocene of the Madrid Basin: paleoclimatic and Paleohydrological constraints. En: P. Friend y C. Dabrio (Editores), *Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal kinematics*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 272-277.
- Carranza, E.J.M. (2009). Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry Vol. 11*. Elsevier, Amsterdam, 351 pp.
- Cerulla, J. (1997). Extracción, explotación, minería y proceso de tratamiento del yeso. *Boletín de la Sociedad Española de la Cerámica y Vidrio*, 36(6): 571-577.

- Cloudmade (2012). Cloudmade. <http://downloads.cloudmade.com>. Fecha de acceso: 20/3/2012.
- Cortés, F. (2001). Breve historia de las aplicaciones del vidrio plano en la construcción. *Revista del Vidrio Plano*, 64: 10-19.
- Crangle, R.D. (2012). Gypsum (Advance Release), 2010 Minerals Yearbook. USGS, pp. 12.
- DataComex (2012). Estadísticas del Comercio Exterior de España. <http://datacomex.comercio.es/>. Madrid. Fecha de acceso: 11/2012.
- Davey, N. (1961). A history of building materials. Phoenix House, London, 260 pp.
- De la Peña, J.A. y Marfil, R. (1986). La sedimentación salina actual en las lagunas de la Mancha: una síntesis. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 10: 235-270.
- Del Olmo, P., Olivé, A., Gutiérrez, M., Aguilar, M.J., Leal, M.C. y Portero, J.M. (1983). Hoja geológica 438 (Paniza). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- DGPEM (2010). Estadística Minera de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid, pp. 28-36.
- Díaz-Molina, M. (1974). Síntesis estratigráfica preliminar de la serie terciaria de los alrededores de Carrascosa del Campo. *Estudios Geológicos*, 35: 241-251.
- Drezner, T., Drezner, Z. y Salhi, S. (1999). Solving the Multiple Competitive Facilities Location Problem, <http://business.fullerton.edu/isds/zdrezner/mult.pdf>. California State University, Fullerton, pp. 30.
- Drezner, Z. (1982). Competitive location strategies for two facilities. *Regional Science and Urban Economics*, 12(4): 485-493.
- Duca, J.V., Muellbauer, J. y Murphy, A. (2010). Housing Markets and the Financial Crisis of 2007-2009: Lessons for the Future, The London School of Economics and Political Sciences, London, 58 pp.

- Eckel, E.C. (1922). *Cements, limes, and plasters: their materials, manufacture, and properties*. J. Wiley & Sons, New York, 655 pp.
- Egeler, C.G., Kampschuur, W., Langenberg, C.W., Montenat, C., Pignatelli, R. y Rondeel, H.E. (1974). Hoja geológica 954 (Totana). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. IGME, Madrid.
- Elizaga, E., Gállego, I.C., García de Domingo, A. y López, F. (1984). Hoja geológica 843 (Hellín). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Escavy, J.I. y Herrero, M.J. (2013). The use of location-allocation techniques for exploration targeting of high place-value industrial minerals: A market-based prospectivity study of the Spanish gypsum resources. *Ore Geology Reviews*, 53: 504-516.
- Escavy, J.I., Herrero, M.J. y Arribas, M.E. (2012). Gypsum resources of Spain: Temporal and spatial distribution. *Ore Geology Reviews*, 49: 72-84.
- Escavy, J.I., Herrero, M.J. y Bustillo, M. (2011). Spanish gypsum market: is life after death? En: IAS (Editor), 28th IAS Meeting of Sedimentology, Zaragoza (Spain).
- Espinosa, J.M., Martín-Vivaldi, J.M., Martín-Alafont, J.M. y Pereda, M. (1974). Hoja geológica 997 (Aguilas). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Espinosa, J.M., Martín-Vivaldi, J.M., Martín-Alafont, J.M., Pereda, M., Perez, A. y López, M.J. (1974). Hoja geológica 976 (Mazarrón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- ESRI (2010). *Network Analyst Tutorial*. En: E.S.R. Institute (Editor), Redlands, California, pp. 119.
- European_Commission (2012a). *European Economic Forecast - Autumn 2012*. En: G.D.f.E.a.F. Affairs (Editor). European Union, pp. 191.

- European_Commission (2012b). Eurostat. Bruselas/Luxemburgo. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Fecha de acceso: 11/2012.
- Fallon, M., Porwal, A.K. y Guj, P. (2010). Prospectivity analysis of the Plutonic Marymia Greenstone Belt, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 38: 208-218.
- Farahami, R.Z. y Hekmatfar, M. (2009). *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Feltrin, L. (2008). Predictive modelling of prospectivity for Pb-Zn deposits in the Lawn Hill Region, Queensland, Australia. *Ore Geology Reviews*, 34: 399-427.
- Fernández-Calvo, C. (1981). *Sedimentología y Diagénesis del Cretácico Superior de la Mancha (Provincia de Cuenca)*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 297 pp.
- Fischer, A.G. (1982). Long-term climatic oscillations recorded in stratigraphy. En: W.H. Berger y J.C. Crowell (Editores), *Climate in Earth History*. National Academy of Sciences, Studies in Geophysics, Washington, D.C., pp. 97-104.
- Fomento (2011). *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, 2010*. En: Ministerio de Fomento (Editor). Fomento, Madrid, pp. 226.
- Fomento (2012). *Informe sobre el stock de vivienda nueva 2011*. En: Ministerio de Fomento (Editor), Madrid.
- Fomento (2013). Ministerio de Fomento de España. Madrid. http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/. Fecha de acceso: 10/3/2013.
- Gárate, I. (1999). *Artes de los yesos: yeserías y estucos*. Editorial Munilla-Lería, Madrid, 400 pp.

- García-Mondejar, J., Pujalte, V. y Robles, S. (1986). Características sedimentológicas, secuenciales y tectoestratigráficas del Triásico de Cantabria y Norte de Palencia. Cuadernos de Geología Ibérica, 10: 151-172.
- García-Vélez, A., García-Ruz, L., Muelas, A., Soubrier, J. y Forcat, C. (1981). Hoja geológica 746 (Llombay). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- García-Veléz, A. y Soubrier, J. (1981). Hoja geológica 795 (Játiva). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- García, S. (2010). Tabiquería de Yeso. Un negocio con futuro. Alimarket, 102: 56-65.
- Garrido-Megías, A. y Villena, J. (1977). El Trias germánico en España: paleogeografía y estudio secuencial. Cuadernos de Geología Ibérica, 4: 37-56.
- Gaspar, D. (1993). Morteros de cal y yeso. Durabilidad y aplicaciones, III Jornadas sobre conservación y tratamiento de la piedra en monumentos y en la construcción, Madrid.
- Gaspar, D. (1995). El Yeso. Aplicaciones en restauración. Propiedades y características. III Curso Internacional de Conservación y Restauración del Patrimonio: Yaserías y Estucos. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.
- GEA, (2000). Gran Enciclopedia Aragonesa Online. DiCom Medios. S.L. Zaragoza. <http://www.encyclopedia-aragonesa.com>. Fecha de acceso: 4/5/2013.
- Gervilla, M., Beroiz, C., Pignatelli, R., Barón, A., Coma, J.E., Felgueroso, C., Ramírez del Pozo, J. y Giannini, G. (1973). Hoja geológica 29 (Oviedo). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Gil, A., Fernández, J., García-Hernández, M. y Hirsch, F. (1987). Las Facies carbonatadas del Trías Medio de la Formación Hornos-Siles (Provincia de Jaén, Zona Prebética). Cuadernos de Geología Ibérica, 11: 445-458.
- Glaeser, E.L., Gottlieb, J. y Gyourko, J. (2010). Did Credit Market Policies Cause the Housing Bubble?, HARVARD Kennedy School Policy Briefs. John F, Kennedy

School of Government, Rappaport Institute for Greater Boston and Taubman Center for State and Local Government, pp. 12.

Gómez, J.J. y Goy, A. (1998). Las unidades litoestratigráficas del tránsito Triásico-Jurásico en la región de Lécera (Zaragoza). *Geogaceta*, 23: 63-66.

González-Álvarez, I., Porwal, A.K., Beresford, S.W., McCuaig, T.C. y Maier, W.D. (2010). Hydrothermal Ni prospectivity analysis of Tasmania, Australia. *Ore Geology Reviews*, 38: 168-183.

Gutiérrez, F., Calaforra, J.M., Cardona, F., Ortí, F., Durán, J.J. y Garay, P. (2008). Geológica and environmental implications of the evaporite karst in Spain. *Environmental Geology*(53): 951-965.

Hakimi, S.L. (1964). Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research*, 12: 450-459.

Hakimi, S.L. (1983). On locating new facilities in a competitive environment. *European Journal of Operational Research*, 12(1): 29-35.

Hakimi, S.L. (1986). p-Median Theorems for Competitive Locations. *Annals of Operations Research*, 6: 77-98.

Hakimi, S.L. (1990). Locations with Spatial Interactions: Competitive Locations and Games. En: R.L. Francis y P.B. Mirchandani (Editores), *Discrete Location Theory*. Wiley-Interscience, New York, pp. 439-478.

Hallam, A. (1977). Secular changes in marine inundation of USSR and North America through the Phanerozoic. *Nature*, 269: 769-772.

Hardie, L.A. (1996). Secular variations in seawater chemistry: An explanation for the coupled secular variation in the mineralogies of marine limestones and potash evaporites over the past 600 My. *Geology*, 24: 279-283.

Herrero, M.J., Escavy, J.I. y Bustillo, M. (2013). The Spanish building crisis and its effect in the gypsum quarry production (1998-2012). *Resources Policy*, In Press. DOI: 10.1016/j.resourpol.2013.02.005.

- Hotelling, H. (1929). Stability in competition. *Economic Journal*, 39: 41-57.
- Huff, D.L. (1964). Defining and Estimating a Trading Area. *Journal of Marketing*, 28(3): 34-38.
- Huff, D.L. (1966). A Programmed Solution for Approximating an Optimum Retail Location. *Land Economics*, 42(3): 293-303.
- IGME (2012). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. www.igme.es. Fecha de acceso: 2/2/2012.
- IGN (2012). Instituto Geográfico Nacional. Madrid. <http://www.ign.es/ign/main/index.do>. Fecha de acceso: 2012.
- INE (2012). Instituto Nacional de Estadística. Madrid. www.ine.es. Fecha de acceso: 15/8/2012.
- INE (2013). Instituto Nacional de Estadística. Madrid. www.ine.es. Fecha de acceso: 15/3/2013.
- Jeffrey, K. (2006). Characteristics of the Industrial Minerals Sector. En: J.E. Kogel, N.C. Trivedi, J.M. Barker y S.T. Krukowski (Editores), *Industrial Minerals & Rocks. Commodities, Markets, and uses*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, pp. 3-6.
- Jenks, G.F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Yearbook of Cartography*. International Cartographic Association, Ulm, pp. 186-190.
- Joly, A., Porwal, A.K. y McCuaig, T.C. (2012). Exploration targeting for orogenic gold deposits in the Granites-Tanami Orogen: Mineral system analysis, targeting model and prospectivity analysis. *ore Geology Reviews*, 48: 349-383.
- Julivert, M., Truyols, J., Ramirez del Pozo, J. y Giannini, G. (1973). Hoja geológica 14 (Gijón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.

- Kendall, A., Kesler, S.E. y Keoleian, G.A. (2008). Geologic vs. geographic constraints on cement resources. *Resources Policy*, 33: 160-167.
- Kingery, W.D., Vandiver, P.B. y Prickett, M. (1988). The Beginnings of Pyrotechnology, Part II: Production and Use of Lime and Gypsum Plaster in the Pre-Pottery Neolithic near East. *Journal of Field Archaeology*, 15(2): 219-244.
- Kreuzer, O.P., Markwitz, V., Porwal, A.K. y McCuaig, T.C. (2010). A continent-wide study of Australia's uranium potential. Part I: GIS-assisted manual prospectivity analysis. *Ore Geology Reviews*, 38: 334-366.
- Kuntze, R.A. (2009). Gypsum: connecting science and technology. ASTM International, Newburyport, 114 pp.
- Lambert, D.M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Irwin McGraw-Hill, 611 pp.
- Laya, H., Benayas, J. y Marfil, R. (1993). Yesos lenticulares de origen detrítico en suelo de la España central. *Cuaternario y Geomorfología*, 7: 49-56.
- Lendínez, A., Gabaldón, V. y Martín, A. (1991). Hoja geológica 435 (Arcos de Jalón). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Lendínez, A., Ruiz Fernández de la Lopa, V., Gabaldón, V. y Serrano, A. (1991). Hoja geológica 408 (Torrijo de la Cañada). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Lin, S. (1965). Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem. *Bell System Technical Journal*, 44(10): 2245-2269.
- López-Garrido, A.C., González Donoso, J.M., Linares, A. y García Hernández, M. (1975). Hoja geológica 887 (Orcera). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- López-Gómez, J., Arche, A. y Pérez-López, A. (2002). Permian and Triassic. En: W. Gibbons y T. Moreno (Editores), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 185-212.

- Lord, D., Etheridge, M.A., Willson, M., Hall, G. y Uttley, P.J. (2001). Measuring exploration success: an alternative to the discovery-cost-per-ounce method of quantifying exploration success. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 45: 1-16.
- MAGRAMA (2012). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. <http://www.magrama.gob.es/es/>. Fecha de acceso: 15/8/2012.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7): 703-726.
- Marchan, C. (2012). Quarry gypsum production 2012, Madrid.
- Marfil, R. (1970). Estudio Petrogenético del Keuper en el sector meridional de la Cordillera Ibérica. *Estudios Geológicos*, XXVI(2): 113-161.
- Marfil, R., Arribas, J., Arribas, M.E. y de la Peña, J.A. (1984). Sedimentación lacustre (Carbonatado-Salina) en la facies Autuniense de la Cordillera Ibérica. En: A. Obrador (Editor), *Publicaciones de Geología*, nº 20. Homenaje a Luís Sánchez de la Torre. Grupo Español de Sedimentología. Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 73-83.
- Markwitz, V., Maier, W.D., González-Álvarez, I., McCuaig, T.C. y Porwal, A.K. (2010). Magmatic nickel sulfide mineralization in Zimbabwe: Review of deposits and development of exploration criteria for prospectivity analysis. *Ore Geology Reviews*, 38: 139-155.
- Martín-Chivelet, J. (1994). Litoestratigrafía del Cretácico superior del Altiplano de Jumilla-Yecla (Zona Prebética). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18: 117-173.
- Martín-Chivelet, J., Berástegui, X., Rosales, I., Vilas, L., Vera, J.A., Caus, E., Gräfe, K., Mas, R., Puig, C., Segura, M., Robles, S., Floquet, M., Quesada, S., Ruiz-Ortiz, P., Fregenal, M.A., Salas, R., Arias, C., García, A., Martín-Algarra, A., Meléndez, N., Chacón, B., Molina, J.M., Sanz, J.L., Castro, J.M., García-Hernández, M., Carenas, B., García-Hidalgo, J., Gil, J. y Ortega, F. (2002). Cretaceous. En: W. Gibbons and

- T. Moreno (Editores), The Geology of Spain. The Geological Society, London, pp. 255-292.
- Martín, M., Canerot, J. y Leyva, F. (1979). Hoja geológica 517 (Argente). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie. I.G.M.E., Madrid.
- Martínez-García, E., Coquel, R., Gutiérrez-Claverol, M. y Quiroga, J.L. (1998). Edad del "Tramo de transición" entre el Pérmico y el Jurásico en el área de Gijón (Asturias, NW de España). *Geogaceta*, 24: 215-218.
- Matthews, W. (1999). Micromorphology Archive Report, Çatalhöyük, 13 pp.
- Mees, F., Castañeda, C., Herrero, J. y Van Ramst, E. (2011). Bloedite sedimentation in a seasonally dry saline lake (Salada Mediana, Spain). *Sedimentary Geology*, 238: 106-115.
- Menegaki, M.E. y Kaliampakos, D.C. (2010). European aggregates production: Drivers, correlations and trends. *Resources Policy*, 35: 235-244.
- Merriam, D.F. (2009). The Cause of the Housing Bubble, the Burst and the Recession Finally Revealed: It's Growth Management. <http://imlablog.wordpress.com/2009/11/09/the-cause-of-the-housing-bubble-the-burst-and-the-recession-finally-revealed-it%E2%80%99s-growth-management/>
- Meyer, D.A. y Zelnak, S.P.J. (1991). Structure and Economics. En: R.D. Barksdale (Editor), *The Aggregate Handbook*. National Stone Association, Washington DC, pp. 2.1-2.17.
- Mineco (2012). Estadísticas del Comercio Exterior (Datacomex). Madrid. <http://datacomex.comercio.es/>. Fecha de acceso: 9/15/2012.
- Mineco (2013). Estadísticas del Comercio Exterior (Datacomex). Madrid. <http://datacomex.comercio.es/>. Fecha de acceso: 10/3/2013.
- Minetur (2012). Catastro Minero de España (Spanish Mining Inventory). Madrid. <http://www.minetur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/EstadisticaMinera.aspx>. Fecha de acceso: 5/6/2012.

- Minetur (2013). Estadística Minera de España. Madrid.
<http://www.minetur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/EstadisticaMinera.aspx>. Fecha de acceso: 15/3/2013.
- Mingarro, F., Ordóñez, S., López de Azcona, M.C. y García del Cura, M.A. (1981). Sedimentoquímica de las lagunas de Los Monegros y su entorno geológico. Boletín Geológico y Minero, 92: 171-195.
- Mora, P. y Philippot, P. (1984). Conservation of wall paintings. Butterworths, London, 494 pp.
- Morad, S., Al-Aasm, I.S., Longstaffe, F.J., Marfil, R., De Ros, L.F., Johansen, H. y Marzo, M. (1995). Diagenesis of a mixed siliciclastic/evaporitic sequence of the Middle Muschelkalk (Middle Triassic), the Catalan Coastal Range, NE Spain. Sedimentology, 42: 749-768.
- Oficemen (2011). Anuario 2010, Oficemen, Madrid, 59 pp.
- Oficemen (2012). Agrupación de fabricantes de cemento de España. Madrid.
http://www.oficemen.com/default.asp?id_cat=10. Fecha de acceso: 15/6/2012.
- Ordóñez, S., Sánchez-Moral, S., García del Cura, M.A. y Rodríguez Badiola, E. (1994). Precipitation of salts from Mg^{2+} - Na^+ - SO_4^{2-} - Cl^- playa lake brines: the endorheic saline ponds of La Mancha, central Spain. En: R.W. Renaut and W.M. Last (Editores), Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes. SEPM Special Publication. SEPM, pp. 61-71.
- Ortí, F. (1974). El Keuper del Levante español. Estudios Geológicos, XXX: 7-46.
- Ortí, F. (1987). Aspectos Sedimentológicos de las evaporitas del Triásico y del Liásico Inferior en el E de la Península Ibérica. Cuadernos de Geología Ibérica, 11: 837-858.
- Ortí, F. (1990). Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. En: F. Ortí and J. Salvany (Editores), Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y

cadena periférica, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie. ENRESA, Barcelona, pp. 62-66.

Ortí, F., García-Veigas, J., Rosell Ortiz, L., Jurado, M.J. y Utrilla, R. (1996). Formaciones salinas de las cuencas triásicas en la Península Ibérica: caracterización petrológica y geoquímica. Cuadernos de Geología Ibérica, 20: 13-35.

Ortí, F. y Rosell, L. (2000). Evaporative systems and diagenetic patterns in the Calatayud Basin (Miocene, central Spain). *Sedimentology*, 47: 665-685.

Ovalle, A. (2004). Clasificaciones estadísticas internacionales incorporadas en el banco de datos de comercio exterior de América Latina y el Caribe de la CEPAL (Revisión 2). En: C. Naciones Unidas (Editor). Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp. 317.

Parras, D., Montejo, M., Ramos-Martos, N. y Sánchez, A. (2006). Analysis of pigments and coverings by X-ray diffraction (XRD) and micro Raman spectroscopy (MRS) in the cemetery of Tutugi (Galera, Granada, Spain) and the settlement Convento 2 (Montemayor, Córdoba, Spain). *Spectrochimica Acta Part A*, 64: 1133-1141.

Pérez, A., Luzón, A., Roc, A.C., Soria, A.R., Mayayo, M.J. y Sánchez, J.A. (2002). Sedimentary facies distribution and genesis of a recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta Lake, Iberian Chain, NE Spain. *Sedimentary Geology*, 148: 185-202.

Playá, E., Ortí, F. y Rosell, L. (2000). Marine to non-marine sedimentation in the upper Miocene evaporites of the Eastern Betics, SE Spain: sedimentological and geochemical evidence. *Sedimentary Geology*, 133: 135-166.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 960 pp.

Portero, J.M., Aznar, J.M., Díaz-Molina, M., Pérez-González, A., Gallardo, J., González-Lodeiro, F., Aguilar, M.J. y Leal, M.C. (1990). Hoja geológica 486

- (Jadraque). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Porwal, A.K., González-Álvarez, I., Markwitz, V., McCuaig, T.C. y Mamuse, A. (2010). Weights-of-evidence and logistic regression modeling of magmatic nickel sulfide prospectivity in the Yilgarn Craton, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 38: 184-196.
- Porwal, A.K. y Kreuzer, O.P. (2010). Introduction to the Special Issue: Mineral prospectivity analysis and quantitative resource estimation. *Ore Geology Reviews*, 38: 121-127.
- Poulin, R., Pakalnis, R.C. y Sinding, K. (1994). Aggregate resources: Production and environmental constraints. *Environmental Geology*, 23: 221-227.
- Pueyo, J.J. (1978/79). La precipitación evaporítica actual en las lagunas saladas del área: Bujaraloz, Sástago, Caspe, Alcañiz y Calanda. *Revista del Instituto de Investigaciones Geológicas*, 33: 5-56.
- Pueyo, J.J. (1981). Depósitos evaporíticos actuales del litoral mediterráneo de la Península Ibérica. En: J.J. Pueyo (Editor), *Génesis de las formaciones evaporíticas. Modelos andinos e ibéricos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 135-147.
- Pueyo, J.J. y de la Peña, J.A. (1981). Los lagos salinos españoles. Sedimentología, hidroquímica y diagénesis. En: J.J. Pueyo (Editor), *Génesis de las formaciones evaporíticas. Modelos andinos e ibéricos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 163-192.
- Puga, E., Nieto, J.M., Díaz de Federico, A., Portugal, E. y Reyes, E. (1996). The intra-orogenic Soportújar Formation of the Mulhacen Complex; evidence for the polycyclic character of the Alpine orogeny in the Betic Cordilleras. *Eclogae Geologicae Helvetiae* (89): 129-162.

- Quintero, I., Mansilla, H. y Martínez-Díaz, C. (1982). Hoja geológica 315 (Santo Domingo de Silos). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- RAE (2013). Diccionario de la Lengua Española. Madrid. www.rae.es. Fecha de acceso: 5/1/2013.
- Ramos, A. (1979). Estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico al oeste de Molina de Aragón (Provincia de Guadalajara), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 313 pp.
- Regueiro, M. y Calvo, J.P. (1997). El yeso. Geología y yacimientos en España. Boletín de la Sociedad Española de la Cerámica y Vidrio, 36(6): 563-569.
- Revelle, C.S. y Laporte, G. (1996). The Plant Location Problem: New Models and Research Prospects. Operations Research, 44(6): 864-874.
- Riba, O. y Macau, F. (1962). Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España. I Coloquio Internacional Sobre las Obras Públicas en los Terrenos Yesíferos Servicio Geológico de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 33 pp.
- Ríos, J.M. (1963). Materiales salinos del suelo español. En: J.M. Rios García (Editor), Memorias del Instituto Geológico y Minero de España. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 166.
- Riotinto-Exploration (2011). Exploration. Fact Sheet. En: R. Tinto (Editor). Rio Tinto plc, London.
- Robinson, G.R.J., Kapo, K.E. y Raines, G.L. (2004). A GIS Analysis to Evaluate Areas Suitable for Crushed Stone Aggregate Quarries in New England, USA. Natural Resources Research, 13(3): 143-159.
- Robinson, G.R.J. y Larkins, P.M. (2007). Probabilistic Prediction Models for Aggregate Quarry Siting. Natural Resources Research, 16(2): 135-146.

- Robles, S. y Pujalte, V. (2004). El Triásico de la Cordillera Cantábrica. En: J.A. Vera (Editor), Geología de España. SGE-IGME, Madrid, pp. 274-276.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., De Boer, P. y Soria, A.R. (2012). Controls on marine-erg margin cycle variability: aeolian-marine interaction in the mid-Cretaceous Iberian Desert System, Spain. *Sedimentology*, 59: 466-501.
- Rodríguez-Perea, A., Ramos-Guerrero, E., Pomar, L., Paniello, X., Obrador, A. y Martí, J. (1987). El Triásico de las Baleares. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 295-321.
- Rouchy, J.M. y Blanc-Valleron, M.M. (2009). Les évaporites: matériaux singuliers, milieux extrêmes. Vuibert, Société géologique de France, Paris.
- Royer, D.L., Berner, R.A., Montanez, I.P., Tabor, N.J. y Beerling, D.J. (2004). CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today*, 14: 4-10.
- Rubio, R. (2010). Yeserías de la Alhambra. Historia, técnica y conservación. Editorial de la Universidad de Granada, Granada, 306 pp.
- Salazar, K. y McNutt, M.K. (2011). Mineral Commodity Summaries 2011. En: U.S.G. Survey (Editor). U.S. Department of the Interior, Reston, pp. 201.
- Salazar, K. y McNutt, M.K. (2012). Mineral Commodity Summaries 2012. En: U.S.G. Survey (Editor). U.S. Department of the Interior, Reston, pp. 201.
- Salvany, J. (1990). Introducción a las evaporitas triásicas de las cadenas periféricas de la cuenca del Ebro: Catalanides, Pirineo y Región Cantábrica. En: F. Orti and J. Salvany (Editores), Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie. ENRESA, Barcelona, pp. 9-20.
- Salvany, J. y Ortí, F. (1987). El Keuper de los Catalánides. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 215-236.

- Santisteban, J.I., García del Cura, M.A., Mediavilla, R. y Dabrio, C.J. (2003). Estudio preliminar de los sedimentos recientes de las lagunas de Villafáfila. *Geogaceta*, 33: 51-54.
- Sanz, D. (2009). Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 295 pp.
- Savoy, M. (1996). Development of a model for forecasting the consumption of aggregates in the Lower Mainland, Coriolis Consulting Corp, Vancouver, 51 pp.
- Schmitt, E. (2010). Weights of Evidence Mineral Prospectivity Modelling with ArcGIS.
- Schreiber, B.C. y El Tabakh, M. (2000). Deposition and early alteration of evaporites. *Sedimentology*, 47: 215-238.
- Schreiber, B.C., Philp, R.P., Benali, S., Helman, M.L., De la Peña, J.A., Marfil, R., Landais, P., Cohen, A.D. y Kendall, C.G.S.C. (2001). Characterisation of organic matter formed in hypersaline carbonate/evaporite environments: hydrocarbon potential and biomarkers obtained through artificial maturation studies. *Journal of Petroleum Geology*, 24(3): 309-338.
- Serra, D. (1996). Estrategias de Localización de Servicios en Régimen de Competencia. En: J. Puerto Albandoz (Editor), *Lecturas en teoría de localización*. Universidad de Sevilla, Sevilla., pp. 197-216 p.
- Sharpe, R. y Cork, G. (2006). Gypsum and Anhydrite. En: J.E. Kogel, N.C. Trivedi, J.M. Barker and S.T. Krukowski (Editores), *Industrial Minerals & Rocks. Commodities, Markets, and uses*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, pp. 519-540.
- Shaviv, N.J. y Veizer, J. (2003). Celestial driver of Phanerozoic climate? *GSA Today*, 13: 4-10.
- Sinclair, A.J. y Blackwell, G.H. (2004). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press, Cambridge, 381 pp.

- Sopeña, A. (1979). Estratigrafía del Pérmico y Triásico del Noroeste de la Provincia de Guadalajara, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 329 pp.
- Stanley, S.M. y Hardie, L.A. (1998). Secular oscillations in the carbonate mineralogy of reef-building and sediment-producing organisms driven by tectonically forced shifts in seawater chemistry *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 144: 3-19.
- Suárez-Rodríguez, A., García-Espina, R., Armenteros, I., Barba, P., Herrero, A., Galán, L.A. y Baltuille, J.M. (2008). Hoja geológica 347 (Peñaranda de Duero). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda serie. I.G.M.E., Madrid.
- Sule, D.R. (2001). *Logistics of Facility Location and Allocation*. Marcel Dekker Inc, New York, 446 pp.
- Teitz, M.B. y Bart, P. (1968). Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research*, 16(5): 955-961.
- USGS (2009). International Stratigraphic Chart. <http://www.stratigraphy.org/2009>.
Fecha de acceso:
- Vail, P.R., Mitchum, R.M., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubbs, J.N. y Hatleud, W.G. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of the sea level. En: C.E. Payton (Editor), *Seismic stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*. Geologists Memoirs. American Association of Petroleum Geologists, pp. 49-212.
- Veizer, J., Godderis, Y. y Francois, L.M. (2000). Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon. *Nature*, 408: 698-701.
- Vera, J.A., Vilas, L., Ruiz-Ortiz, P., Martín-Chivelet, J., Arias, C., Molina, J.M., Castro, J.M., Chacón, B. y García-Hernández, M. (2002). Betics (Cretaceous). En: W. Gibbons y T. Moreno (Editores), *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 255-292.

- Villanueva, L. (2004). Evolución histórica de la construcción con yeso. *Informes de la Construcción*, 56(493): 5-11.
- Villanueva, L. (2005). Las tres edades de la construcción. *Informes de la Construcción*, 57(498): 41-45.
- Villanueva, L., Mora, S. y Sanz, D. (2005). La construcción medieval y renacentista en las puertas del conjunto amurallado de Moya (Cuenca). *Materiales históricos y técnicas constructivas*. En: S. Huerta (Editor), *Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Instituto Juan de Herrera, Cádiz, pp. 1115-1121.
- Virgili, C. (1955). El tramo rojo intermedio del Muschelkalk de los Catalánides. *Memorias y Comunicaciones del Instituto Geológico Provincial*. Barcelona, XIII: 37-78.
- Virgili, C. (1958). El Triásico de los Catalánides. *Boletín Geológico y Minero*, LXIX: 1-856.
- Vozil, I. (1985). Restoration and display of Egyptian stucco mummy masks from the period of the Roman Empire. En: I. Eri y G. Sarkozy (Editores), *Fifth international restorer seminar*. Volume 2. Központi Muzeumi Igazgatóság, Budapest, pp. 227-236.
- Warren, J. (2006). *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer, Berlin, 1035 pp.
- Warren, J. (2010). Evaporites through Time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth Science Reviews*, 98. Elsevier, 124 pp.
- Weiss, L.W. (1972). The Geographic Size of Markets in Manufacturing. *Review of Economic & Statistics*, 54(3): 14.
- World_Bank (2012). World Bank. New York. <http://www.worldbank.org/>. Fecha de acceso: 6/9/2012.

ANEXO I

FÁBRICAS DE YESO Y ESCAYOLA EN ESPAÑA

LISTADO DE LAS FÁBRICAS DE YESO Y ESCAYOLA EN ESPAÑA Y ORTOFOTOS

Núm.	Municipio	Provincia	Com. Auton.	Long.	Lat.	Huso	Propietario
1	Antas	Almeria	Andalucia	594720	4126736	30S	YESOS ESCAY, DERV
2	Serón	Almeria	Andalucia	540459	4135664	30S	ESC. SERONYE
3	Puente Genil	Córdoba	Andalucia	342260	4135323	30S	ESC. SAAVEDRA
4	Campotejar	Granada	Andalucia	446341	4148398	30S	Y. TROYA E HIJOS
5	Loja	Granada	Andalucia	393545	4115842	30S	YESOS EL TIGRE
6	Jaen	Jaen	Andalucia	435503	4184106	30S	YESOS JIMENEZ
7	Martos	Jaen	Andalucia	409872	4177260	30S	ALGISS
8	Alcaudete	Jaén	Andalucia	406680	4158375	30S	ESCAYESCOS
9	Alcaudete	Jaén	Andalucia	406063	4164587	30S	ALCAYESOS
10	Archidona	Málaga	Andalucia	383247	4106422	30S	Y.LAS LAGUNAS
11	Aguadulce	Sevilla	Andalucia	321946	4123901	30S	YESESA
12	Lebrija	Sevilla	Andalucia	762564	4088288	29S	LEBRIPLAK
13	Moron de la Frontera	Sevilla	Andalucia	283808	4111255	30S	S. GOBAIN - PLACO
14	Moron de la Frontera	Sevilla	Andalucia	285337	4113806	30S	Y. AFIMOSA
15	Calanda	Teruel	Aragón	732425	4536134	30T	YESOS BRUMOS
16	Cuarte de Huerva	Zaragoza	Aragón	672870	4606750	30T	YESOS DIEZ IBANEZ
17	Gelsa	Zaragoza	Aragón	713037	4588038	30T	S. GOBAIN - PLACO
18	Gelsa	Zaragoza	Aragón	712814	4588224	30T	ESYEDEBRO
19	San Clemente	Cuenca	C. La Mancha	548500	4360524	30S	A.Y. SAN CLEMENTE
20	Villarrubio	Cuenca	C. La Mancha	507256	4422577	30S	ALGISS
21	Almoguera	Guadalajara	C. La Mancha	501173	4460901	30T	YESOS SEGURA
22	Cendejas de la Torre	Guadalajara	C. La Mancha	512280	4537087	30T	YESOS LA TORREÑA
23	Espinosa de Henares	Guadalajara	C. La Mancha	493549	4528842	30T	HEBOR ESPAÑOLA
24	Jadraque	Guadalajara	C. La Mancha	507284	4532301	30T	YEJASA
25	Alameda de la Sagra	Toledo	C. La Mancha	431215	4429620	30T	Y. LA MARUXIÑA
26	Alameda de la Sagra	Toledo	C. La Mancha	431510	4429581	30T	Y. JUAREZ HDEZ.
27	Añover de Tajo	Toledo	C. La Mancha	434745	4427952	30S	ESC. FIDENSA
28	Noblejas	Toledo	C. La Mancha	463666	4425178	30S	YEMASA -YETOSA

Núm.	Municipio	Provincia	Com. Auton.	Long.	Lat.	Huso	Propietario
29	Num. de la Sagra	Toledo	C. La Mancha	427895	4435246	30T	HERMANOS JEREZ
30	Tembleque	Toledo	C. La Mancha	454870	4397660	30S	YEMASA -YETOSA
31	Villalomez	Burgos	C. y León	474410	4697158	30T	YESOS ALBI
32	Villamediana	Palencia	C. y León	387493	4656463	30T	YESOS MATÉ
33	Quint. de Onesimo	Valladolid	C. y León	385572	4608905	30T	Y. QUINTANILLA
34	Odena	Barcelona	Cataluña	386474	4606795	31T	ESC. CASANOVAS
35	Beuda	Gerona	Cataluña	475733	4673098	31T	ALGISS
36	Alfaro	La Rioja	La Rioja	604414	4668541	30T	HILAYES
37	Lagun. de Jubera	La Rioja	La Rioja	556793	4689448	30T	ESCAYOLAS EBRO
38	Leza de Rio Leza	La Rioja	La Rioja	548488	4687080	30T	LUIS PEREZ ULECIA
39	Viguera	La Rioja	La Rioja	537203	4684261	30T	S. GOBAIN - PLACO
40	Morata de Tajuña	Madrid	Madrid	466780	4451182	30T	YESOS EL 50
41	San Martín de la V.	Madrid	Madrid	448573	4452452	30T	Y. HNOS. CASTAÑO
42	San Martín de la V.	Madrid	Madrid	448791	4452418	30T	YESAMSA
43	San Martín de la V.	Madrid	Madrid	449176	4452092	30T	S. GOBAIN - PLACO
44	Valdelaguna	Madrid	Madrid	469794	4447691	30T	YESCESA
45	Valdemoro	Madrid	Madrid	444054	4445630	30T	ALGISS
46	Cehegin	Murcia	Murcia	603779	4217809	30S	ARIDOS PATETA
47	Fortuna	Murcia	Murcia	664146	4227786	30S	YESOS RUBIO
48	Murcia	Murcia	Murcia	665728	4207323	30S	MEDY GUILLEN
49	Puerto Lumbreras	Murcia	Murcia	604473	4155145	30S	YESOS MILLAN
50	Cintruenigo	Navarra	Navarra	599117	4657804	30T	SULF. LA RIBERA
51	Mañeru	Navarra	Navarra	593410	4724176	30T	ALGISS
52	San V. del Raspeig	Alicante	Valencia	709912	4251668	30S	ALGISS
53	Soneja	Castellon	Valencia	720389	4409654	30S	S. GOBAIN - PLACO
54	Tuejar	Valencia	Valencia	664209	4406005	30S	Y. MONRABAL
55	Moron de la Front.	Sevilla	Andalucia	277287	4111064	30S	EYMSA
56	Cuenca	Cuenca	C. La Mancha	573099	4433472	30T	YESOS PONCE
57	Ablitas	Navarra	Navarra	613949	4647622	30T	HOR. PAMPLONA

- El número indica el orden de aparición en las fichas de Ortofotos
- Coordenadas en UTM
- Imágenes de satélite tomadas de Sigpac (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
- Las fábricas de la 55 a la 57 ya no producen por cese de actividad o concurso de acreedores

1

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Almería

Municipio:

Antas

Longitud (UTM): **594.720**

Latitud (UTM): **4.126.736**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



2

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Almería

Municipio:

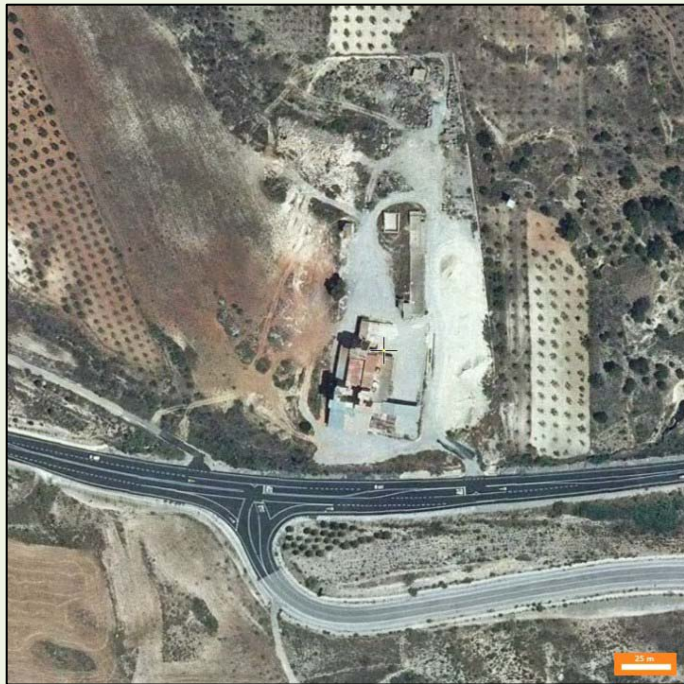
Serón

Longitud (UTM): **540.459**

Latitud (UTM): **4.135.664**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



3

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Córdoba

Municipio:

Puente Genil

Longitud (UTM): **342.260**

Latitud (UTM): **4.135.323**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



4

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Granada

Municipio:

Campotejar

Longitud (UTM): **446.341**

Latitud (UTM): **4.148.398**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



5

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Granada

Municipio:

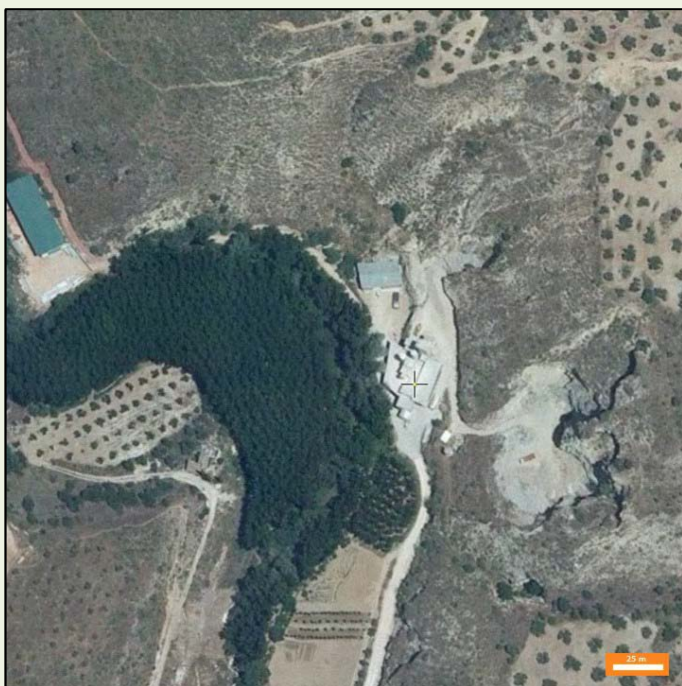
Loja

Longitud (UTM): **393.545**

Latitud (UTM): **4.115.842**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



6

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Jaén

Municipio:

Jaén

Longitud (UTM): **435.503**

Latitud (UTM): **4.184.106**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



7

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Jaén

Municipio:

Martos

Longitud (UTM): **409.872**

Latitud (UTM): **4.177.260**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



8

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Jaén

Municipio:

Alcaudete

Longitud (UTM): **406.680**

Latitud (UTM): **4.158.375**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



9

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Jaén

Municipio:

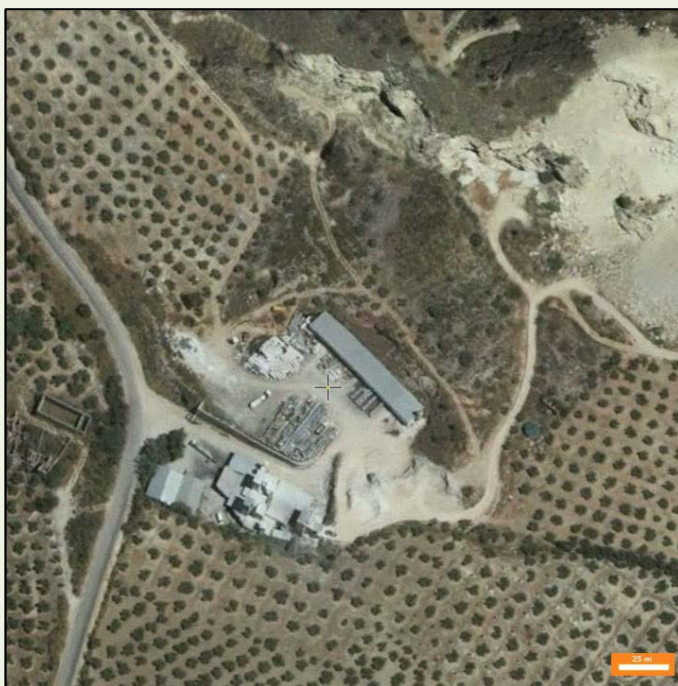
Alcaudete

Longitud (UTM): **406.063**

Latitud (UTM): **4.164.587**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



10

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Málaga

Municipio:

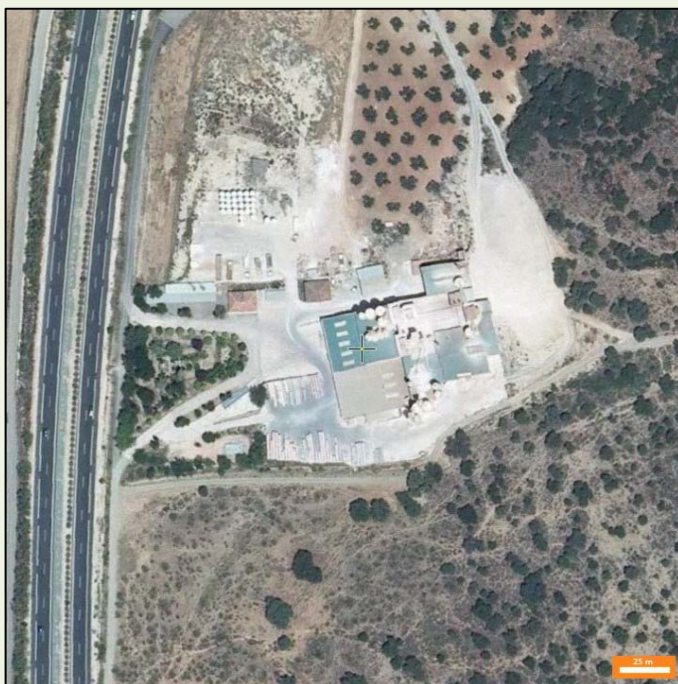
Archidona

Longitud (UTM): **383.247**

Latitud (UTM): **4.106.422**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



11

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Sevilla

Municipio:

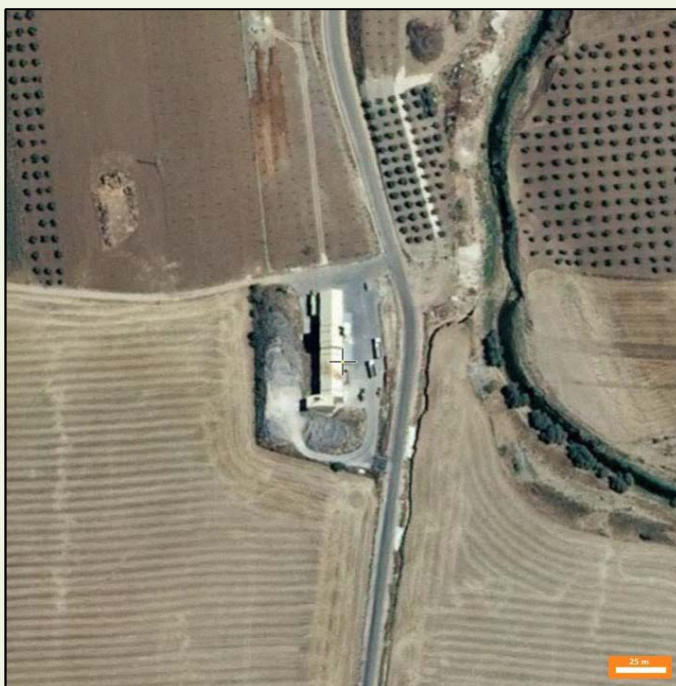
Aguadulce

Longitud (UTM): **321.946**

Latitud (UTM): **4.123.901**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



12

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Sevilla

Municipio:

Lebrija

Longitud (UTM): **762.564**

Latitud (UTM): **4.088.288**

HUSO: **29S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



13

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Sevilla

Municipio:

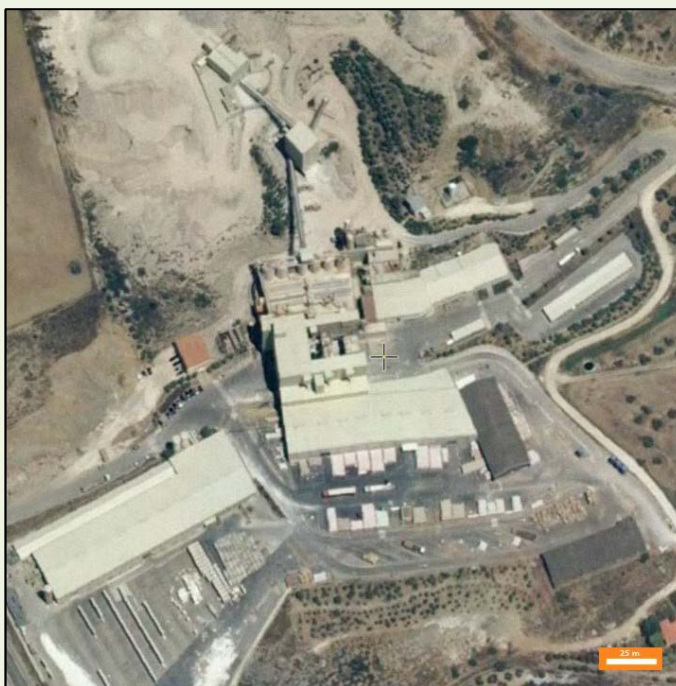
Morón de la Frontera

Longitud (UTM): **283.808**

Latitud (UTM): **4.111.255**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



14

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Sevilla

Municipio:

Morón de la Frontera

Longitud (UTM): **285.337**

Latitud (UTM): **4.113.806**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



15

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Teruel

Municipio:

Calanda

Longitud (UTM): **732.425**

Latitud (UTM): **4.536.134**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



16

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Zaragoza

Municipio:

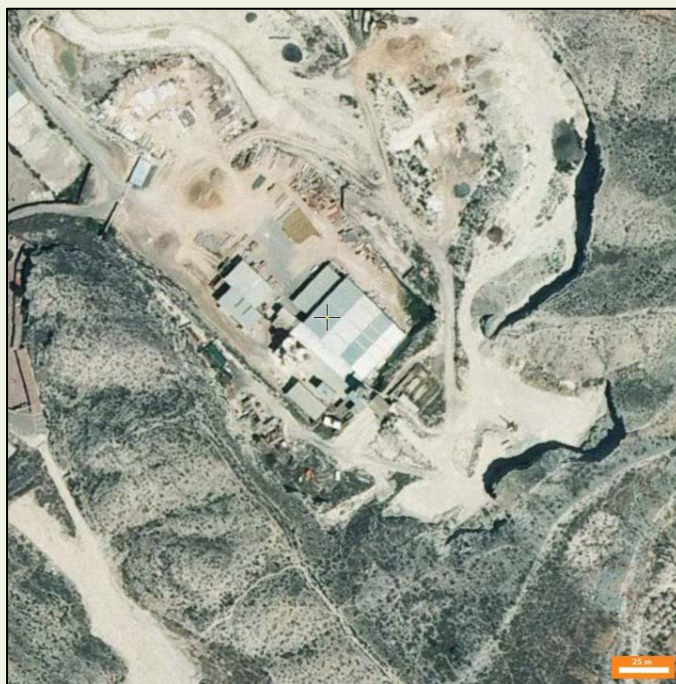
Cuarte de Huerva

Longitud (UTM): **672.870**

Latitud (UTM): **4.606.750**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



17

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Zaragoza

Municipio:

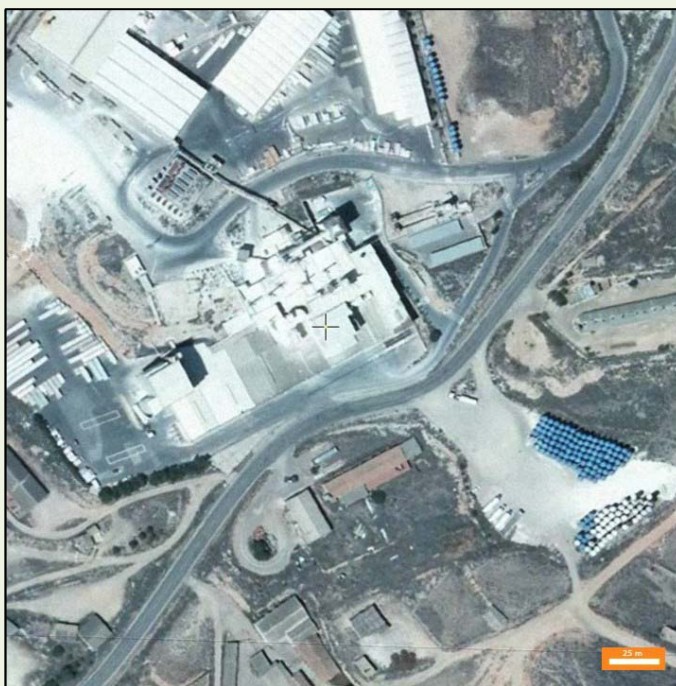
Gelsa

Longitud (UTM): **713.037**

Latitud (UTM): **4.588.038**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



18

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Zaragoza

Municipio:

Gelsa

Longitud (UTM): **712.814**

Latitud (UTM): **4.588.224**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



19

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Cuenca

Municipio:

San Clemente

Longitud (UTM): **548.500**

Latitud (UTM): **4.360.524**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



20

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Cuenca

Municipio:

Villarrubio

Longitud (UTM): **507.256**

Latitud (UTM): **4.422.577**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



21

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Guadalajara

Municipio:

Almoguera

Longitud (UTM): **501.173**

Latitud (UTM): **4.460.901**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



22

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Guadalajara

Municipio:

Cendejas de la Torre

Longitud (UTM): **512.280**

Latitud (UTM): **4.537.087**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



23

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Guadalajara

Municipio:

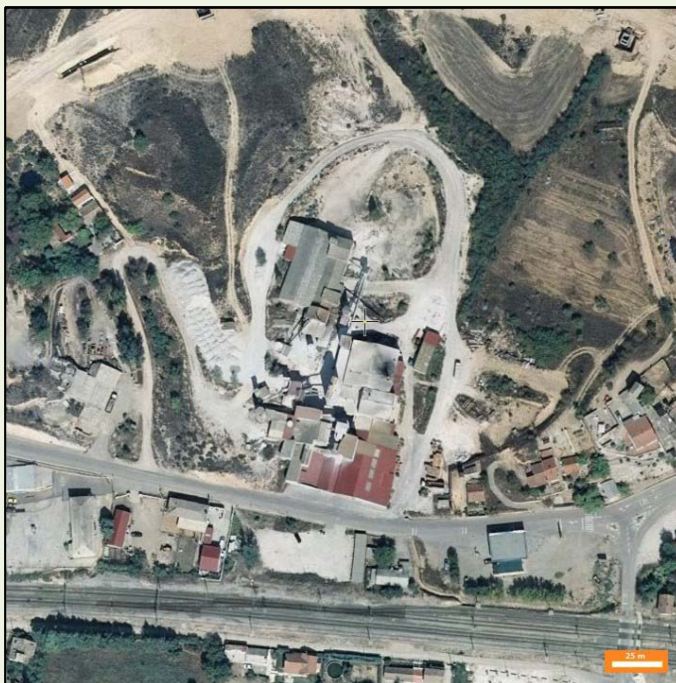
Espinosa de Henares

Longitud (UTM): **493.549**

Latitud (UTM): **4.528.842**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



24

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Guadalajara

Municipio:

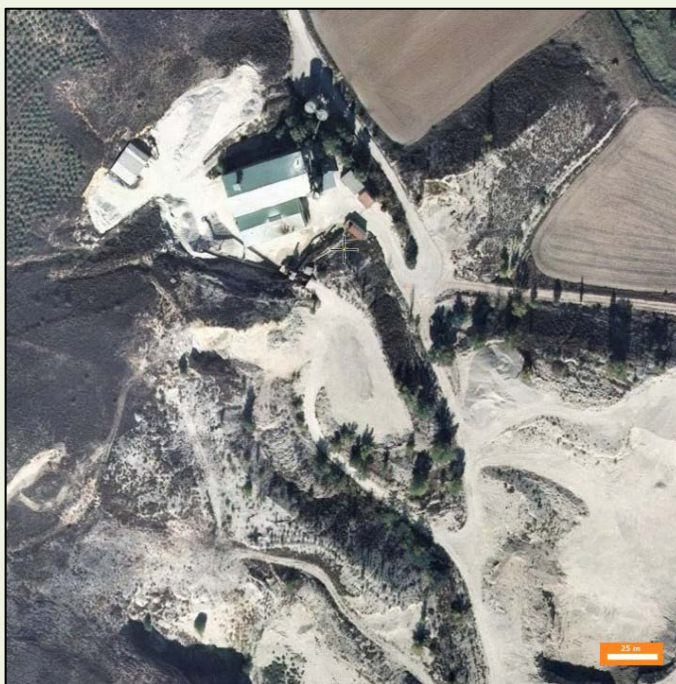
Jadraque

Longitud (UTM): **507.284**

Latitud (UTM): **4.532.301**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



25

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

Alameda de la Sagra

Longitud (UTM): **431.215**

Latitud (UTM): **4.429.620**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



26

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

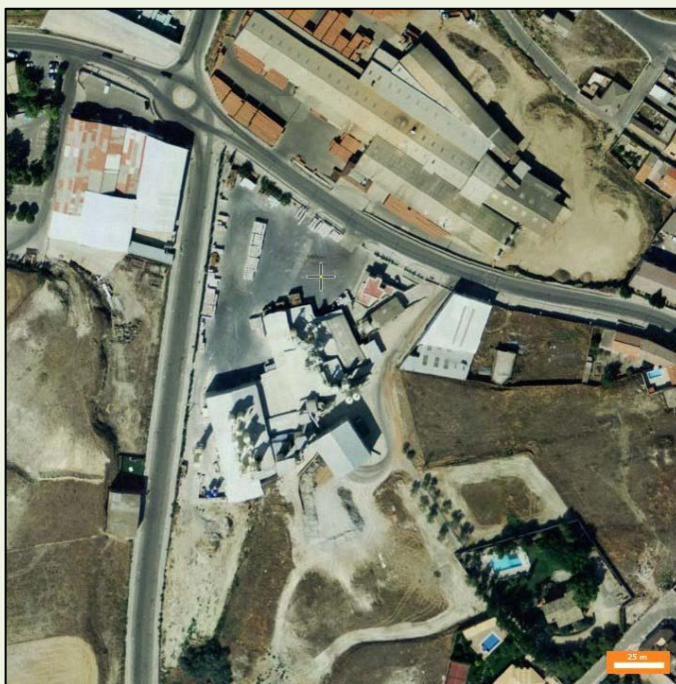
Alameda de la Sagra

Longitud (UTM): **431.510**

Latitud (UTM): **4.429.581**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



27

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

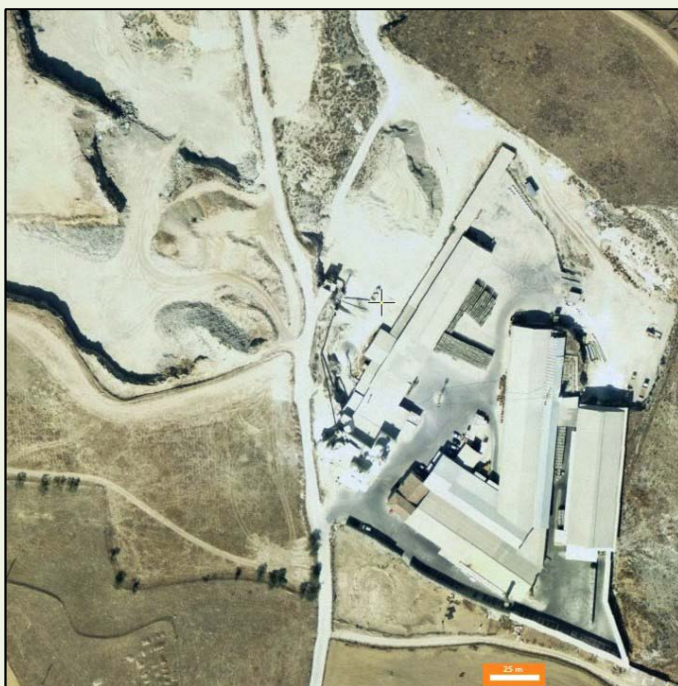
Añoover de Tajo

Longitud (UTM): **434.745**

Latitud (UTM): **4.427.952**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



28

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

Noblejas

Longitud (UTM): **463.666**

Latitud (UTM): **4.425.178**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



29

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

Numancia de la Sagra

Longitud (UTM): **427.895**

Latitud (UTM): **4.435.246**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



30

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Toledo

Municipio:

Tembleque

Longitud (UTM): **454.870**

Latitud (UTM): **4.397.660**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



31

Comunidad Autónoma:

Castilla y León

Provincia:

Burgos

Municipio:

Villalomez

Longitud (UTM): **474.410**

Latitud (UTM): **4.697.158**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



32

Comunidad Autónoma:

Castilla y León

Provincia:

Palencia

Municipio:

Villamediana

Longitud (UTM): **387.493**

Latitud (UTM): **4.656.463**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



33

Comunidad Autónoma:

Castilla y León

Provincia:

Valladolid

Municipio:

Quintanilla de Onésimo

Longitud (UTM): **385.572**

Latitud (UTM): **4.608.905**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



34

Comunidad Autónoma:

Cataluña

Provincia:

Barcelona

Municipio:

Odena

Longitud (UTM): **386.474**

Latitud (UTM): **4.606.795**

HUSO: **31T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



35

Comunidad Autónoma:

Cataluña

Provincia:

Gerona

Municipio:

Beuda

Longitud (UTM): **475.733**

Latitud (UTM): **4.673.098**

HUSO: **31T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



36

Comunidad Autónoma:

La Rioja

Provincia:

La Rioja

Municipio:

Alfaro

Longitud (UTM): **604.414**

Latitud (UTM): **4.668.541**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



37

Comunidad Autónoma:

La Rioja

Provincia:

La Rioja

Municipio:

Lagunilla de Jubera

Longitud (UTM): **556.793**

Latitud (UTM): **4.689.448**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



38

Comunidad Autónoma:

La Rioja

Provincia:

La Rioja

Municipio:

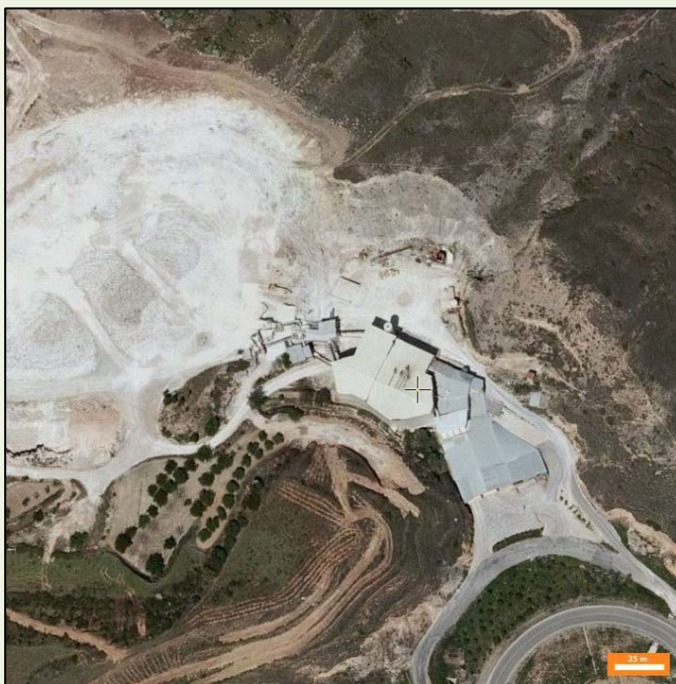
Leza de Río Leza

Longitud (UTM): **548.488**

Latitud (UTM): **4.687.080**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



39

Comunidad Autónoma:

La Rioja

Provincia:

La Rioja

Municipio:

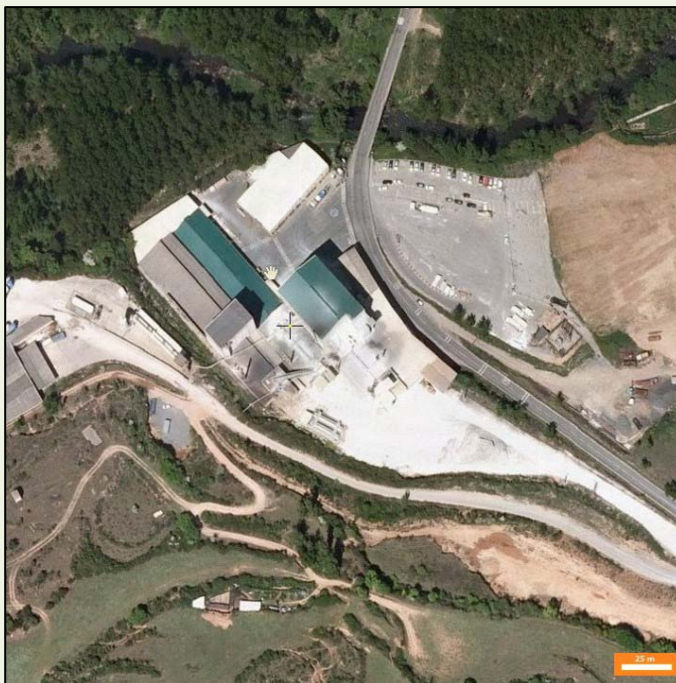
Viguera

Longitud (UTM): **537.203**

Latitud (UTM): **4.684.261**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



40

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

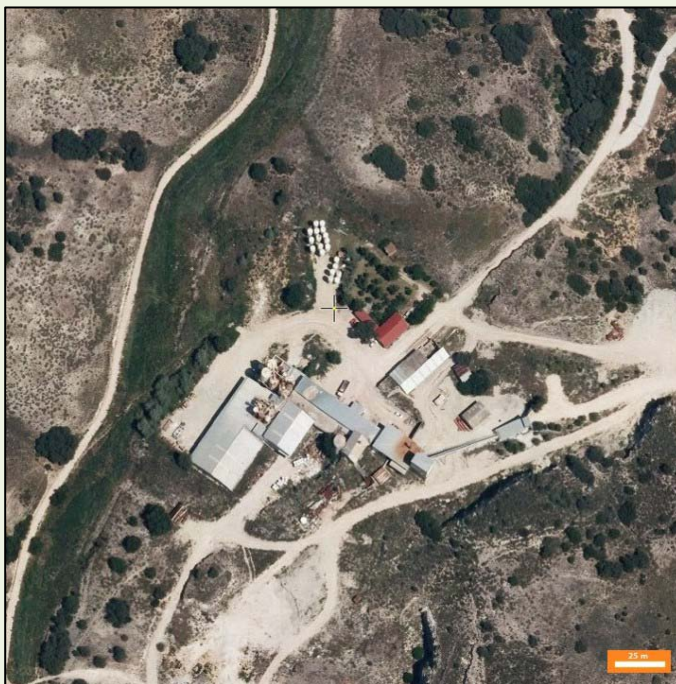
Morata de Tajuña

Longitud (UTM): **466.780**

Latitud (UTM): **4.451.182**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



41

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

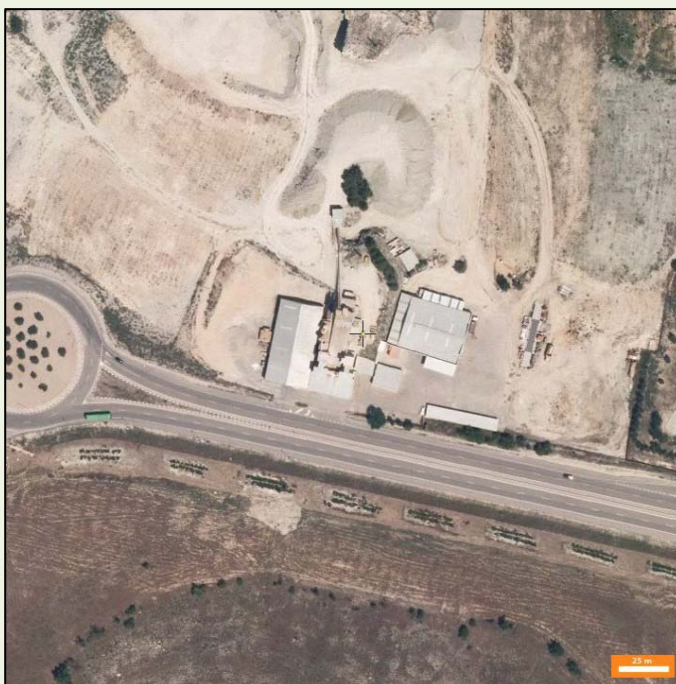
San Martín de la Vega

Longitud (UTM): **448.573**

Latitud (UTM): **4.452.452**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



42

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

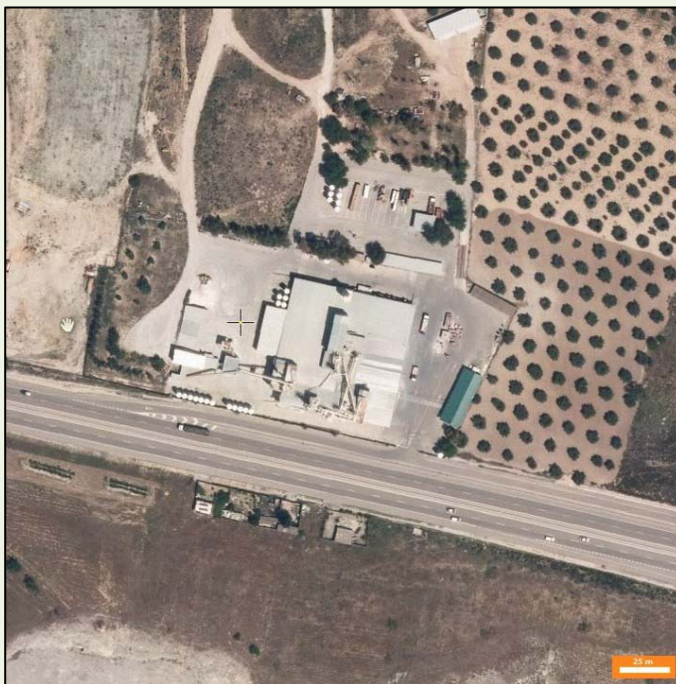
San Martín de la Vega

Longitud (UTM): **448.791**

Latitud (UTM): **4.452.418**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



43

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

San Martín de la Vega

Longitud (UTM): **449.176**

Latitud (UTM): **4.452.092**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



44

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

Valdelaguna

Longitud (UTM): **469.794**

Latitud (UTM): **4.447.691**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



45

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

Valdemoro

Longitud (UTM): **444.054**

Latitud (UTM): **4.445.630**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



46

Comunidad Autónoma:

Murcia

Provincia:

Murcia

Municipio:

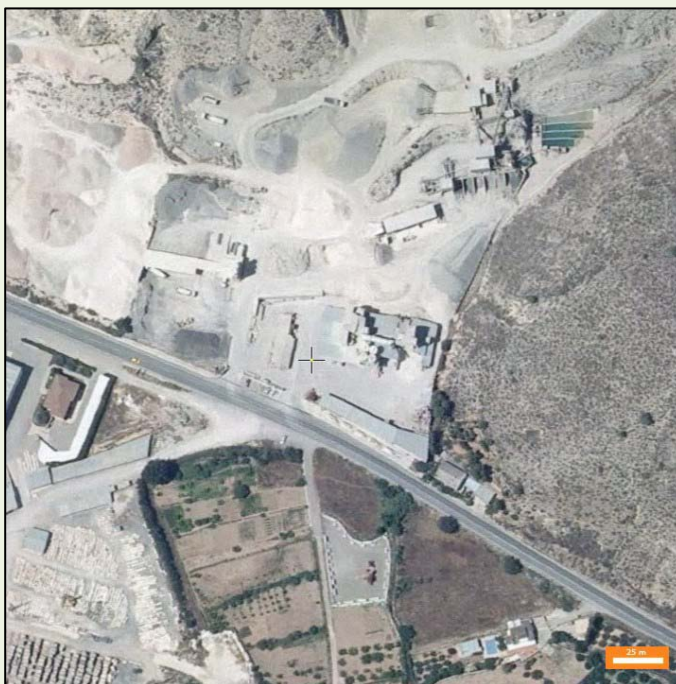
Cehegín

Longitud (UTM): **603.779**

Latitud (UTM): **4.217.809**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



47

Comunidad Autónoma:

Murcia

Provincia:

Murcia

Municipio:

Fortuna

Longitud (UTM): **664.146**

Latitud (UTM): **4.227.786**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



48

Comunidad Autónoma:

Murcia

Provincia:

Murcia

Municipio:

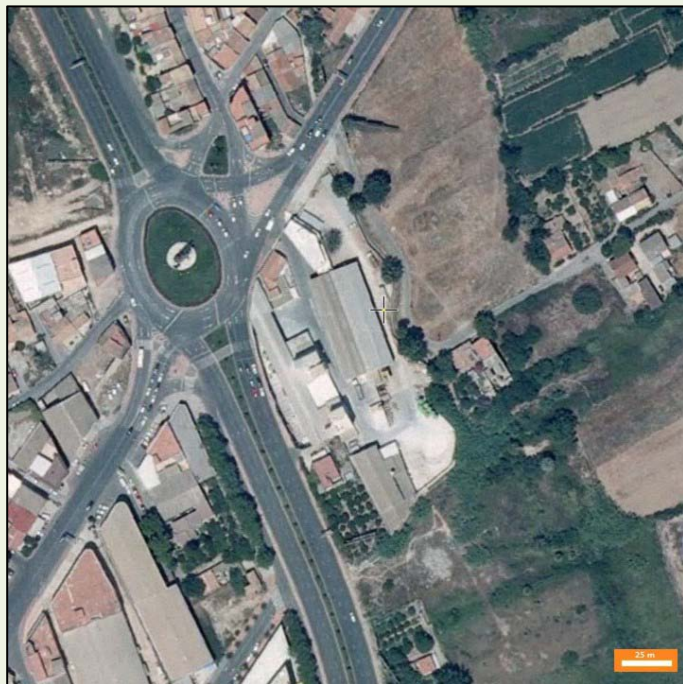
Murcia

Longitud (UTM): **665.728**

Latitud (UTM): **4.207.323**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



49

Comunidad Autónoma:

Murcia

Provincia:

Murcia

Municipio:

Puerto Lumbreras

Longitud (UTM): **604.473**

Latitud (UTM): **4.155.145**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



50

Comunidad Autónoma:

Navarra

Provincia:

Navarra

Municipio:

Cintruenigo

Longitud (UTM): **599.117**

Latitud (UTM): **4.657.804**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



51

Comunidad Autónoma:

Navarra

Provincia:

Navarra

Municipio:

Mañeru

Longitud (UTM): **593.410**

Latitud (UTM): **4724176**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



52

Comunidad Autónoma:

Valencia

Provincia:

Alicante

Municipio:

San Vicente del Raspeig

Longitud (UTM): **709.912**

Latitud (UTM): **4.251.668**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



53

Comunidad Autónoma:

Valencia

Provincia:

Castellón

Municipio:

Soneja

Longitud (UTM): **720.389**

Latitud (UTM): **4.409.654**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



54

Comunidad Autónoma:

Valencia

Provincia:

Valencia

Municipio:

Tuejar

Longitud (UTM): **664.209**

Latitud (UTM): **4.406.005**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



55

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Sevilla

Municipio:

Morón de la Frontera

Longitud (UTM): **277.287**

Latitud (UTM): **4.111.064**

HUSO: **30S**

SITUACIÓN: **INACTIVA**



56

Comunidad Autónoma:

Castilla-La Mancha

Provincia:

Cuenca

Municipio:

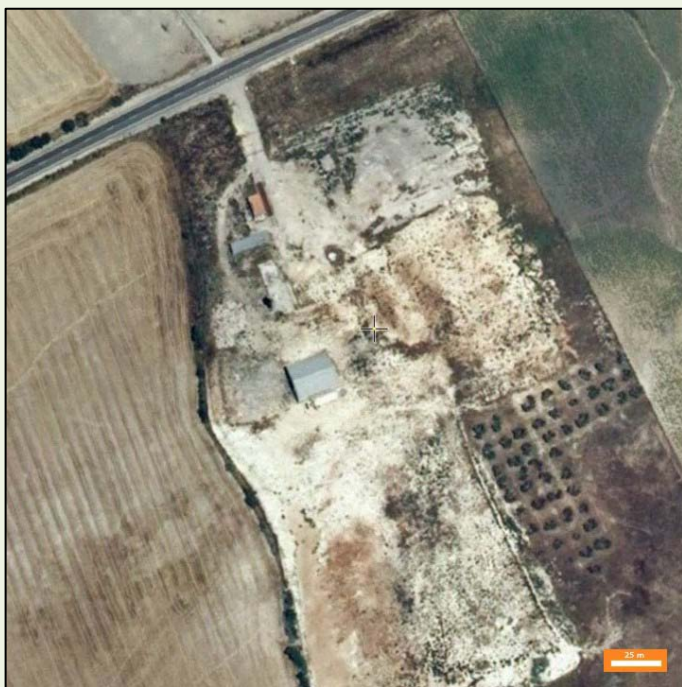
Cuenca

Longitud (UTM): **573.099**

Latitud (UTM): **4.433.472**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **INACTIVA**



57

Comunidad Autónoma:

Navarra

Provincia:

Navarra

Municipio:

Ablitas

Longitud (UTM): **613.949**

Latitud (UTM): **4.647.622**

HUSO: **30T**

SITUACIÓN: **INACTIVA**



ANEXO II

FÁBRICAS DE PLACA DE YESO EN ESPAÑA

LISTADO DE LAS FÁBRICAS DE PLACA DE YESO EN ESPAÑA Y ORTOFOTOS

Núm.	Municipio	Provincia	Com. Aut.	Long.	Lat.	Huso	Propietario
1	Escuzar	Granada	Anadalucía	422846	4429990	30	Knauff
2	Gelsa	Zaragoza	Aragón	713298	4588870	30	Pladur
3	Quinto	Zaragoza	Aragón	707210	4590683	30	S. Gobain Placo
4	Orejo	Cantabria	Cantabria	440147	4805313	30	Fermacell
5	Guixers	Lerida	Cataluña	385706	4665297	31	Knauff
6	San Martín de la V.	Madrid	Madrid	447410	4451707	30	S. Gobain Placo
7	Valdemoro	Madrid	Madrid	444053	4445629	30	Pladur

- El número indica el orden de aparición en las fichas de Ortofotos
- Coordenadas en UTM

1

Comunidad Autónoma:

Andalucía

Provincia:

Granada

Municipio:

Escuzar

Longitud (UTM): **422.846**

Latitud (UTM): **4.429.990**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



2

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Zaragoza

Municipio:

Gelsa

Longitud (UTM): **713.298**

Latitud (UTM): **4.588.870**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **INACTIVA**



3

Comunidad Autónoma:

Aragón

Provincia:

Zaragoza

Municipio:

Quinto de Ebro

Longitud (UTM): **707.210**

Latitud (UTM): **4.590.683**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



4

Comunidad Autónoma:

Cantabria

Provincia:

Cantabria

Municipio:

Orejo

Longitud (UTM): **440.147**

Latitud (UTM): **4.805.313**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **INACTIVA**



5

Comunidad Autónoma:

Cataluña

Provincia:

Lérida

Municipio:

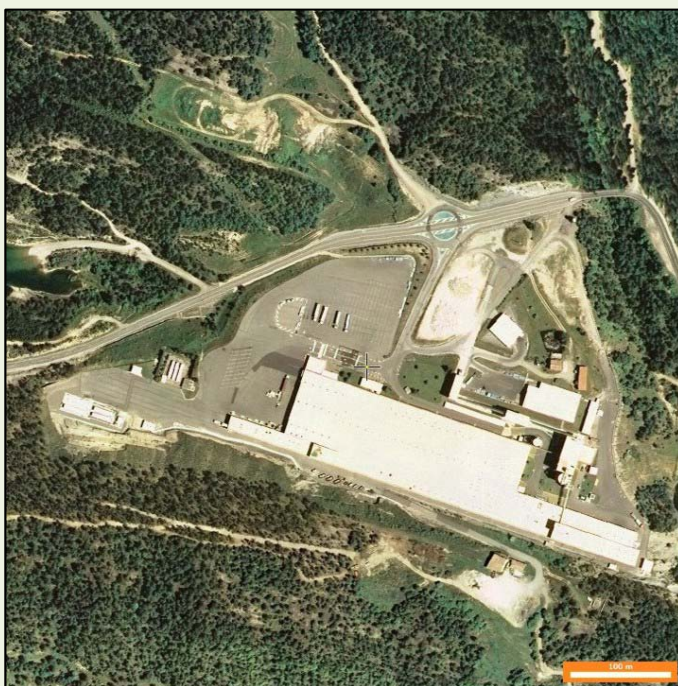
Guixers

Longitud (UTM): **385.706**

Latitud (UTM): **4.665.297**

HUSO: **31**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



6

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

San Martín de la Vega

Longitud (UTM): **447.410**

Latitud (UTM): **4.451.707**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



7

Comunidad Autónoma:

Madrid

Provincia:

Madrid

Municipio:

Valdemoro

Longitud (UTM): **444.053**

Latitud (UTM): **4.445.629**

HUSO: **30**

SITUACIÓN: **ACTIVA**



ANEXO III

LISTADO DE DERECHOS MINEROS EN ESPAÑA PARA EL RECURSO “YESO”

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
EPYSA II	JOSE RODRIGUEZ FDEZ.	MURCIA	Autorizado	AA	0	1075	7	Has.	A
LA SOLANA	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Autorizado	AA	0	746	0.1	Has.	A
LA SOLANA	ANT. RUBIO ALFONSO	MURCIA	Autorizado	AA	0	1080	7	Has.	A
YESOS ALFA	VALENCIANA DE CEMEN.	ALICANTE	Autorizado	AA	0	777	0.1	Has.	A
CABEZO DEL PINAR	JESUS ALIAGA	ALICANTE	Autorizado	AA	0	226	0.1	Has.	A
CABEZO GORDO	ESCAYOLAS MARIN	CUENCA	Autorizado	AA	0	7	4.3	Has.	A
CABEZOS BLANCOS	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Autorizado	AA	0	423	1.66	Has.	A
CANTERA CHIRIVELL	YESOS TORRIQUE	TOLEDO	Autorizado	AA	0	27	0.05	Has.	A
CANTERA MECA IV	HNOS. RIERA CANALS	BALEARES	Autorizado	AA	0	256	10	Has.	A
CASASOLA	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Autorizado	AA	0	820	19.61	Has.	A
CASTELLET	H. DE MIGUEL MUÑOZ	MURCIA	Autorizado	AA	0	1327	6.31	Has.	A
CERRO CABEZAGORDA	CEMEX ESPAÑA	VALENCIA	Autorizado	AA	0	1070	3	Has.	A
CLOT DEN DALMAU	MAQU. Y ESCAYOLA	MURCIA	Autorizado	AA	0	1019	1.39	Has.	A
EL ALABASTRE	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Autorizado	AA	0	747	30	Has.	A
EL PINAR	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Autorizado	AA	0	111	0.1	Has.	A
EL ROMERO	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Autorizado	AA	0	692	0.1	Has.	A
EL TOLO	MINAS VOLCAN	MURCIA	Autorizado	AA	0	1165	7	Has.	A
ELIA Y EL REY (AGR.)	JUAN GIMENEZ MTNEZ.	TOLEDO	Autorizado	AA	0	550	40	Has.	A
LA MECA	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Autorizado	AA	0	25	12.19	Has.	A
LA MECA	HERNANDEZ HERRERA	TOLEDO	Autorizado	AA	0	4	1.1	Has.	A
LA SERRATA	P. PASTOR QUIRANT	ALICANTE	Autorizado	AA	0	867	7.5	Has.	A
LA SOLANA	MIGUEL ESPINOSA	VALENCIA	Autorizado	AA	0	934	0.4	Has.	A
LAS AMOLADORAS	RAMON ALIAGA ALIAGA	ALICANTE	Autorizado	AA	0	238	0.1	Has.	A
LAS CABEZUELAS	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Autorizado	AA	0	652	0.1	Has.	A
LAS CARLICAS	F. DIAZ CORBIN	VALENCIA	Autorizado	AA	0	988	3.3	Has.	A
LAS LOMAS	AYTO. DE ALBARRACIN	TERUEL	Autorizado	AA	0	371	1	Has.	A
LOMA BLANCA	BOSCH CAMPOS, EMILIO	VALENCIA	Autorizado	AA	0	1216	1.55	Has.	A
LOMA VIUDAS	M. ESC. Y DER. YESO	MURCIA	Autorizado	AA	0	1428	15.22	Has.	A
LYDIA	HNOS. RIERA CANALS	BALEARES	Autorizado	AA	0	180	49	Has.	A
MANZANILLA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Autorizado	AA	0	453	4.58	Has.	A
MARIA LUISA	HNOS. DIAZ CHILLERON	TOLEDO	Autorizado	AA	0	91	35	Has.	A
SAN JORGE	YESOS PONCE	CUENCA	Autorizado	AA	0	72	2.5	Has.	A
SES VINYES	YESOS SAN MARTIN	Madrid	Otorgado	AA		A187	21	Has.	A
SOMAT	S.-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	AA		A072	335	Has.	A

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
VALDELAGUA	YESOS SAN MARTÍN	Madrid	Otorgado	AA		A333	34	Has.	A
VALLEJILLO DE MOYA	YESOS DEL TAJUÑA	Madrid	Otorgado	AA		A160	8	Has.	A
ABAD I	C. PORT. VALDERRIBAS	Madrid	Otorgado	AA		A105	2	Has.	A
ABARRIO	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Otorgado	CE	0	2441	78	C.M.	C
ABARRIO I	ESCAYOLAS ALBA	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3309	193	Has.	C
ABUELA	FCO. IZDO. JIMENEZ	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3309	193	Has.	C
ALBA	BPB IBERPLACO	ZARAGOZA	Otorgado	CE	0	2438	38	C.M.	C
ANA MARIA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2279	2	C.M.	C
ANA MARIA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2574	3	C.M.	C
AUDACIA TERCERA	APLIC. MINERALES	BURGOS	Otorgado	CE	10	4509	4.509.475	M2	C
BAÑON	COM. IND. DE ALMERIA	ALMERIA	Otorgado	CE	10	39826	4.3	C.M.	C
BLANCFORT	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	10	39826	4.3	C.M.	C
BONO	COM. IND. DE ALMERIA	ALMERIA	Otorgado	CE	20	39826	18.5	C.M.	C
BROIS	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	20	39826	18.5	C.M.	C
CABEZO GORDO	MINA LA CAMOCHA	Asturias	Otorgado	CE		13755	137	C.M.	C
CAMARA	PLACIDO UBEDA LOPEZ	TERUEL	Otorgado	CE	1	6203	6	C.M.	C
CANT. YESO SAN JOSE	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	0	3539	3	C.M.	C
CARLOS	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Otorgado	CE	0	2424	5	C.M.	C
CAUDETE	BPB IBERPLACO	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3402	311	Has.	C
CERRO MOJON	ANT. RUBIO ALFONSO	MURCIA	Otorgado	CE	0	21498	2	C.M.	C
CERRO PALANCHO II	CEMEX ESPAÑA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3440	53	C.M.	C
CERRO PALANCHO II	COMP. GENERAL YESERA	ALMERIA	Otorgado	CE	10	40005	17	C.M.	C
COGYSA FRACCION 1	YESOS MANCHA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3349	16	C.M.	C
COLLADO BLANCO	JUAN JESUS FERNANDEZ	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1627	5	C.M.	C
CUESTA BLANCA	ROCALICAL, S.L.	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1627	5	C.M.	C
CUFFI	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	0	3560	2	C.M.	C
CUTILLAS DOS	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	10	3510	6	C.M.	C
Dª LA ALHONDIGUILLA	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	0	3540	2	C.M.	C
Dª A MONSERRAT	YESOS MATÉ	PALENCIA	Otorgado	CE	1	3374	1.134.684	M2	C
DEMASIA A "GABACHO"	APLICA. MINERALES	BURGOS	Otorgado	CE	10	4358	7.044.169	M2	C
DEMASIA A "JORGE"	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	0	3543	56.4	Has.	C
DEMASIA A "ROMANI"	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3427	0.94	C.M.	C
DEMASIA A "VILLAR"	LAFARGE ASLAND	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3346	7.23	C.M.	C
DEMASIA A "YMPERI"	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2166	2.93	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
DEMASIA A HISPANIA	ASLAND CYMSA	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2178	6.87	C.M.	C
DEMASIA A LA VIRGEN	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2276	1.95	C.M.	C
DEM. A VALDELACUEVA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2272	2.4	C.M.	C
DEM. A YESOS EL 50	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2273	2.36	C.M.	C
DE. JUAREZ HERNANDEZ	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2356	5.88	C.M.	C
EDUARDO	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		3098-001	1	C.M.	C
EL ALJEZAR	BPB IBERPLACO	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3404	5.55	Has.	C
EL CAMPILLO	ESCAYOLAS FIDENSA	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3439	2.18	C.M.	C
EL CAMPILLO	YESOS EL 50	Madrid	Otorgado	CE		3071-001	8	C.M.	C
EL CAMPILLO	YESOS JUAREZ HNDEZ.	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3423	3.72	Has.	C
EL CIGARRON	KNAUF GMBH	LERIDA	Otorgado	CE	0	4184	1	C.M.	C
EL CIGARRON DOS	YESOS MONRABAL	VALENCIA	Otorgado	CE	0	2817	2	C.M.	C
EL PRADO	JUAN JESUS FERNANDEZ	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1623	4	C.M.	C
EL PRADO	ROCALICAL	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1623	4	C.M.	C
EL PRADO	YESOS IBÉRICOS	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1623	4	C.M.	C
ELCORRALEJO	YESOS DE ALMERIA	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39841	12	C.M.	C
EPYSA IV	YESOS DE ALMERIA	ALMERIA	Otorgado	CE	0	40224	4	C.M.	C
ESPARTINAS II	ALE. ALCARAZ PASEIRO	LA RIOJA	Otorgado	CE	3	3308	569	Has.	C
EXPLOTAC. REUNIDAS	BPB IBERPLACO	LA RIOJA	Otorgado	CE	3	3308	569	Has.	C
FAMOSA 1º FRACCION	YESOS MONRABAL	VALENCIA	Otorgado	CE	0	2741	3	C.M.	C
FUENTE VIEJA	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Otorgado	CE	0	2443	68	C.M.	C
GABACHO	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2836-001	11	C.M.	C
HISPANIA	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2852-011	12	C.M.	C
HORNOS IBERICOS III	EXPLOT. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Otorgado	CE	1	40442	9	C.M.	C
HORNOS IBERICOS III	MINA LA CAMOCHA	Asturias	Otorgado	CE		18259	74	C.M.	C
IBERYESO	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Otorgado	CE	0	2322	14	C.M.	C
IDYSA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2166	1	C.M.	C
JORBA I	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2811-001	5	C.M.	C
JORGE	ALMERIA GYPSUM	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39807	33	C.M.	C
JUAREZ HERNANDEZ	EXPLOT. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39807	33	C.M.	C
LA ALHONDIGUILLA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	1	2695	12	C.M.	C
LA CORTÉS	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Otorgado	CE	0	3895	4	C.M.	C
LA MARUXIÑA	ASLAND CYMSA	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2178	7	C.M.	C
LA NOU	Y. JUAREZ HERNANDEZ	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3423	54.5	Has.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
LA TIONERA	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3427	1	C.M.	C
LAS BEATAS Y DEMASÍA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2536	4	C.M.	C
LAS CABEZUELAS I	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3422	6	Has.	C
LAS TORCAS	BPB IBERPLACO	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3404	31.5	Has.	C
LLANO DEL OLIVAR	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3476	55.8	Has.	C
LOLITA	HERNANDEZ DIAZ	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3405	38.8	Has.	C
LOS ALGEZARES	HERMANOS JEREZ	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3407	19.3	Has.	C
LOS CAÑALES	HERGIA	ZARAGOZA	Otorgado	CE	0	2807	12	C.M.	C
LOS CASTILLARES 2	YESOS IBERICOS	Navarra	Otorgado	CE		3208	4	C.M.	C
LOS CASTILLARES 2	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2276	1	C.M.	C
LOS CASTILLARES 3	YEJASA	GUADALAJARA	Otorgado	CE	0	2202	9	C.M.	C
LOS PARDOS	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2823-001	1	C.M.	C
LOS PARDOS	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2823-004	1	C.M.	C
LOS PARDOS	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2823-002	2	C.M.	C
LOS YESARES	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	CE		2823-003	1	C.M.	C
MAJADAS VIEJAS	CEMEX ESPAÑA	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1494	6	C.M.	C
MAJADAS VIEJAS	FCO. DIAZ CORBIN	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1494	6	C.M.	C
MAJADAS VIEJAS II	I. RODRIGUEZ GARCIA	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1494	6	C.M.	C
MAJADAS VIEJAS II	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39924	12	C.M.	C
MANILA	C. M. FUENTE DEL P.	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39774	23	C.M.	C
MARCO ANTONIO 2ª FR.	MEDIGYPS	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39774	23	C.M.	C
MARIA	C. M. FUENTE DEL P.	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39789	18	C.M.	C
MARIA MORALES	MEDIGYPS	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39789	18	C.M.	C
MARIA MORALES	YESOS MATÉ	PALENCIA	Otorgado	CE	0	3371	4.254.888	M2	C
MARIN	ESYEDEBRO	ZARAGOZA	Otorgado	CE	20	2696	30	C.M.	C
MARIN FRACCIÓN I	YESOS SEGURA	GUADALAJARA	Otorgado	CE	0	2147	9	C.M.	C
MARINA	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39913	8.3	C.M.	C
MARINA	YESOS MARIA MORALES	ALMERIA	Otorgado	CE	0	39913	8.3	C.M.	C
MARISA FRAC.1ª	ESCAYOLAS MARIN	CUENCA	Otorgado	CE	0	1018	3	C.M.	C
MARISA FRAC.2ª	FADESA	CUENCA	Otorgado	CE	1	1018	3	C.M.	C
MARISA FRAC.3ª	CARLOS PAUNER CHULVI	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1395	4	C.M.	C
MARISA FRAC.4ª	IBERYESO, S.A.	ALBACETE	Otorgado	CE	0	1395	4	C.M.	C
MARTA	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	10	39827	19.1	C.M.	C
MARYLEN	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	20	39827	5	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
MATHIAS	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	30	39827	2	C.M.	C
MATHIAS 2	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Otorgado	CE	40	39827	1	C.M.	C
MOLÀ	EXPL. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Otorgado	CE	10	39925	9.7	C.M.	C
MOLINO SANTO	KNAUF GMBH	LERIDA	Otorgado	CE	0	4188	1	C.M.	C
MONICA	KNAUF GMBH	LERIDA	Otorgado	CE	0	10095	1	C.M.	C
MONTE ESPARTINAS	IBERYESO	VALENCIA	Otorgado	CE	0	2368	29.67	Has.	C
MONTERRAT	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	CE	0	3542	4	C.M.	C
MONTERRAT II-I	SAINT-GOBAIN PLACO	CUENCA	Otorgado	CE	0	1026	5	C.M.	C
MORENITA-1 (0-1-1)	CARBONES PEDRAFORCA	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3729	3	C.M.	C
NOELIA	LAFARGE ASLAND	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3346	10	C.M.	C
NOELIA	CARBONES PEDRAFORCA	TOLEDO	Otorgado	CE	11	3479	2	C.M.	C
NOELIA 1B	YESOS SEGURA	GUADALAJARA	Otorgado	CE	10	2531	3	C.M.	C
NOELIA 2B	FCO. IZDO. JIMENEZ	LA RIOJA	Otorgado	CE	1	3411	113	Has.	C
NUEVO CHINCHÓN VALD.	SULFAT. DE LA RIBERA	LA RIOJA	Otorgado	CE	1	3411	113	Has.	C
NURIA 1	HILAYES, S/L	LA RIOJA	Otorgado	CE	23	3454	28	Has.	C
PABLO	HILAYES, S/L	LA RIOJA	Otorgado	CE	22	3454	85	Has.	C
PAMIAN	C. PORT. VALDERRIBAS	Madrid	Otorgado	CE		2856-011	5	C.M.	C
PEDRERAS	PREF ESCAYOLA VALLS	LERIDA	Otorgado	CE	10	4126	5	C.M.	C
PEÑAS ALBAS II	YESOS PAMIAN	GRANADA	Otorgado	CE	0	30251	2	C.M.	C
PEREZ	YESOS BRUMOS	TERUEL	Otorgado	CE	0	5808	11	C.M.	C
PIZCA	FCO. DIAZ CORBIN	VALENCIA	Otorgado	CE	0	2404	26.53	Has.	C
PIZCA	J. HERNANDEZ PERELLO	VALENCIA	Otorgado	CE	0	2427	32.44	Has.	C
PLA DE LES VINYES	LUIS PEREZ ULECIA	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3328	65	Has.	C
ROMERO	SAINT-GOBAIN PLACO	CUENCA	Otorgado	CE	0	1041	4	C.M.	C
ROMERO	JUAN M. PEREZ LOPEZ	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3366	86	Has.	C
RUICES	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2272	1	C.M.	C
SALOBRAL	HILAYES	LA RIOJA	Otorgado	CE	2	3318	95	Has.	C
SAN JOSÉ	JAV. RUIZ ECHEVARRIA	LA RIOJA	Otorgado	CE	2	3318	95	Has.	C
SANT FELIU	YESOS HINOS. CASTAÑO	Madrid	Otorgado	CE		2815-001	2	C.M.	C
SANTA AGUEDA 4ª FR.	ANTON. RUBIO ALFONSO	MURCIA	Otorgado	CE	0	21755	4	C.M.	C
SANTA AGUEDA 3ª FR.	KNAUF GMBH	LERIDA	Otorgado	CE	0	4028	20	C.M.	C
SANTA AGUEDA 3ª FR.	EXPLOT. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Otorgado	CE	40	39592	915	Has.	C
SANTA BARBARA 2B	KNAUF GMBH	ALMERIA	Otorgado	CE	40	39592	915	Has.	C
SANTA ENGRACIA A	EXPLOT. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Otorgado	CE	30	39592	272	Has.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
SANTA ENGRACIA A	KNAUF GMBH	ALMERIA	Otorgado	CE	30	39592	272	Has.	C
SANTA ISABEL	YESOS VENTAS BLANCAS	LA RIOJA	Otorgado	CE	10	3455	113	Has.	C
2ª AMP. LLANO OLIVAR	HORMIGONES REINOSA	CANTABRIA	Otorgado	CE	0	16337	3	C.M.	C
SESEÑA I	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2278	2	C.M.	C
SOLEDAD II	CARMEN LOMO MARTIN	GUADALAJARA	Otorgado	CE	20	2144	8	C.M.	C
SOLEDAD III	BPB IBERPLACO	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3936	37	C.M.	C
SOLEDAD VII	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Otorgado	CE	0	2988	33	C.M.	C
SOLLER I	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3562	10	C.M.	C
SOMAT	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Otorgado	CE	1	3887	5	C.M.	C
TAMPICO	ANGEL FDEZ. ÁLVAREZ	BALEARES	Otorgado	CE	0	2159	1	C.M.	C
TORRERO 2	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	2	2574	10	C.M.	C
TORRERO I	MINA LA CAMOCHA	Asturias	Otorgado	CE		18421	20	C.M.	C
ULECIA	C. B. MONTES DE TOR.	ZARAGOZA	Otorgado	CE	0	2892	41	C.M.	C
VALDELACUEVA	PEDRO PEREZ ULECIA	LA RIOJA	Otorgado	CE	0	3321	56	Has.	C
VALDERRIBAS	ESCAYOLAS FIDENSA	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3439	3	C.M.	C
VEREDA DEL ESPARTO	BPB IBERPLACO	TOLEDO	Otorgado	CE	0	3474	5.4	Has.	C
VILLALOMEZ	YESOS ALBI	BURGOS	Otorgado	CE	10	4130	6.202.759	M2	C
VILLAR	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2273	1	C.M.	C
VILLAR I	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	3	2574	2	C.M.	C
VIRGEN DE GRACIA	YESOS LAS LAGUNAS	GRANADA	Otorgado	CE	0	30223	4	C.M.	C
VIRGEN DE LA SOLEDAD	YESOS GARCÍA	Madrid	Otorgado	CE		2686-011	5	C.M.	C
VIRGEN DE RUS	A. YES. SAN CLEMENTE	CUENCA	Otorgado	CE	0	1045	2	C.M.	C
VISTA GENIL FRAC. 1	YESOS Y COMPLEMENTOS	CORDOBA	Otorgado	CE	1	12981	4	C.M.	C
YESOS EL 50	YESOS EL 50	Madrid	Otorgado	CE		2668	8	C.M.	C
YESOS MARIN	ESCAYOLAS MARIN	CUENCA	Otorgado	CE	0	1181	2	C.M.	C
YMPERI	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	CE	0	2356	6	C.M.	C
ABLITAS	CALERAS DE LISKAR	Navarra	Otorgado	CE		3446	4	C.M.	C
ALGEZARES I	INEMA ING. ASESORES	CUENCA	Otorgado	PI	0	1419	24	C.M.	C
AMPL. A BAÑUELOS	CONREFAG	TERUEL	Otorgado	PI	0	5957	122	C.M.	C
ANA MARIA	CONREFAG	ZARAGOZA	Otorgado	PI	0	2898	252	C.M.	C
ANA MARIA	CONREFAG	ZARAGOZA	Otorgado	PI	0	2891	20	C.M.	C
CANTERAS I	EXPL. IND. Y GEOTEC.	VALENCIA	Otorgado	PI	0	3010	6	C.M.	C
CARGAS I	PANDOLS	TARRAGONA	Otorgado	PI	0	2292	5	C.M.	C
COG'YA	ESCAYOLAS MARIN	CUENCA	Otorgado	PI	0	1363	2	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
COGYSA CENTRO	CIA. GENERAL YESERA	ALICANTE	Otorgado	PI	0	2617	178	C.M.	C
CUEVA CARDIEL	YESOS IBERICOS	GERONA	Otorgado	PI	0	3510	49	C.M.	C
DEM. "LOS ALGEZARES"	ARIDOS CUTILLAS	MURCIA	Otorgado	PI	0	21832	64	C.M.	C
FLORIDA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Otorgado	PI	2	2596	145	C.M.	C
LA HOYA	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Otorgado	PI	0	4080	21	C.M.	C
LA VIRGEN	PIEDRAS DEL PAS	BURGOS	Otorgado	PI	0	4735	15.496.794	M2	C
LAS CABEZUELAS II	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Otorgado	PI	0	4141	15	C.M.	C
LAS LINARES	YESOS DEL TAJUÑA	Madrid	Otorgado	PI		3269-010	4	C.M.	C
LOS ALGEZARES	JOSEP TARGA ESTRADA	TARRAGONA	Otorgado	PI	0	10036	4	C.M.	C
LOS CASTILLARES 3	IBERYESO MED	MURCIA	Otorgado	PI	0	21981	24	C.M.	C
MEDITERRANEO	C. SUIZA-ESP. DE YE.	BURGOS	Otorgado	PI	0	4646	18.583.504	M2	C
PEÑAS ALBAS I	YESO INVERSIONES	CUENCA	Otorgado	PI	0	1422	8	C.M.	C
PURIFICACION	AYTO. ALAMEDA SAGRA	TOLEDO	Otorgado	PI	0	4131	1	C.M.	C
RIBAFRECHA	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Otorgado	PI	0	4131	1	C.M.	C
ROMANI	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Otorgado	PI	0	4109	7	C.M.	C
SAN JOSE DOS	CEMEX ESPAÑA	VALENCIA	Otorgado	PI	0	2929	36	C.M.	C
SAN MARTÍN	MINERSA	TOLEDO	Otorgado	PI	0	4147	22	C.M.	C
SANTA AGUEDA 4ª F.	HORMIGONES DEL SELLA	Asturias	Otorgado	PI		30775	7	C.M.	C
SANTA LUCIA	DOMINGO VEA MUNILLO	LA RIOJA	Otorgado	PI	13	3455	311	Has.	C
SANTA MARINA	GREG. VILLAR SANZ	LA RIOJA	Otorgado	PI	13	3455	311	Has.	C
TOST	C. B. MO. DE TORRERO	ZARAGOZA	Otorgado	PI	0	3008	18	C.M.	C
VADELAGUNA	KNAUF GMBH	LERIDA	Otorgado	PI	0	4232	22	C.M.	C
VILLACONEJOS	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Otorgado	PI		3338-010	47	C.M.	C
VYESA	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Otorgado	PI	0	2476	71	C.M.	C
VYESA I	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Otorgado	PI	0	2475	142	C.M.	C
VYESA II	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Otorgado	PI	0	2474	142	C.M.	C
VYESA III	BPB IBERPLACO	ALICANTE	Otorgado	PI	0	2537	69	C.M.	C
FUENTES	ZÓ. LÓPEZ VILLARREAL	SEGOVIA	Trámite	AA	0	97	24.764	Has.	A
AMP. LAS AMOLADORAS	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Trámite	AA	0	5029	9.15	Has.	A
DIEGO	RIA 2002	TERUEL	Trámite	AA	0	10103	1	Has.	A
FUENTE ARDACHO	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Trámite	AA	0	100	2.86	Has.	A
LOMA VIUDAS	YESOS IBERICOS	ALICANTE	Trámite	AA	0	4993	0.1	Has.	A
LYDIA 988-BIS	FCO. DIAZ CORBIN	VALENCIA	Trámite	AA	0	1272	3.78	Has.	A
MANZANILLA	P. V. S. DE ALBARRA.	TERUEL	Trámite	AA	0	10113	2.22	Has.	A

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
MARIA JO	P. V. S. DE ALBARRA.	TERUEL	Trámite	AA	0	10109	2.2	Has.	A
VALVERDE	YESAPRE	Navarra	Trámite	CE		35500	1	C.M.	C
DEM. SAN JOSÉ 2815	YESOS HINOS. CASTAÑO	Madrid	Trámite	CE		3097-001	3	C.M.	C
ESPARTINAS I	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Trámite	CE		2940-001	24	C.M.	C
EXPL. REUNIDAS FR II	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Trámite	CE		2852-012	48	C.M.	C
LA TJONERA	YESOS DEL TAJUÑA	Madrid	Trámite	CE		3269-011	4	C.M.	C
SAN JUAN	J.L. MTNEZ. ZAMORANO	Madrid	Trámite	CE		3333-011	5	C.M.	C
ABARRIO 2	CONREFAG	ZARAGOZA	Trámite	CE	0	2898	99	C.M.	C
ALBA	CANTERA VILLALLANO	PALENCIA	Trámite	CE	10	3486	1.682.909	M2	C
AMPL. A YESOS ALFA	BPB IBERPLACO	ZARAGOZA	Trámite	CE	0	3497	1	C.M.	C
ANA	PREF. CANTEBRO	CANTABRIA	Trámite	CE	1	16577	5	C.M.	C
CADRETE	YESOS DIEZ IBAÑEZ	ZARAGOZA	Trámite	CE	0	3093	12	C.M.	C
CAMPELL	PANDOLS	TARRAGONA	Trámite	CE	0	9101	3	C.M.	C
LOS ALGEZARES	IBERYESO	MURCIA	Trámite	CE	1	21981	15	C.M.	C
DEM. SANTA MARINA	CARMEN LOMO MARTIN	GUADALAJARA	Trámite	CE	0	2563	173.1	Has.	C
LA ALBERCA	AUDITORIA AMBIENTAL	VALENCIA	Trámite	CE	0	3005	4	C.M.	C
LA CORTÉS	PIEDRAS DEL PAS	BURGOS	Trámite	CE	10	4735	5.635.783	M2	C
LOS ONS	PANDOLS	TARRAGONA	Trámite	CE	10	2293	4	C.M.	C
PINELL	PANDOLS	TARRAGONA	Trámite	CE	10	2292	3	C.M.	C
RUICES	CEMEX ESPAÑA	VALENCIA	Trámite	CE	0	2929	6	C.M.	C
SAN JOSÉ TRES	ANTON. RUBIO ALFONSO	MURCIA	Trámite	CE	0	22355	1	C.M.	C
SANTA BARBARA 1B	YESOS VENTAS BLANCAS	LA RIOJA	Trámite	CE	9	3455	85	Has.	C
SANTA ENGRACIA 1A	DOMINGO VEA MUNILLO	LA RIOJA	Trámite	CE	12	3455	141	Has.	C
TOST	KNAUF GMBH	LERIDA	Trámite	CE	10	4232	22	C.M.	C
ZUERA	HORMIGONES GIRAL	ZARAGOZA	Trámite	CE	0	3041	22	C.M.	C
CARMEN	TTES. Y EXC. SONIA	Asturias	Trámite	PI		30794	2	C.M.	C
BREA DE TAJO	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Trámite	PI		3340-010	300	C.M.	C
COLIMENAR	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Trámite	PI		3343-010	105	C.M.	C
TAJO	SAINT-GOBAIN PLACO	Madrid	Trámite	PI		3339-010	11	C.M.	C
BAÑON II	PLACIDO UBEDA LOPEZ	TERUEL	Trámite	PI	0	6281	21	C.M.	C
BEGOÑA	EXPLOT. RIO DE AGUAS	ALMERIA	Trámite	PI	0	40600	121	C.M.	C
CABEZO NEGRO	MARBLE CUBE	MURCIA	Trámite	PI	0	22246	6	C.M.	C
CARIG	CYCOSA	GERONA	Trámite	PI	0	10086	6	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
CERRO DE SAL	BPB IBERPLACO	VALENCIA	Trámite	PI	0	3070	3	C.M.	C
COGYSA III	ESCAYOLAS CASANOVAS	BARCELONA	Trámite	PI	0	10187	41	C.M.	C
CRISTINA	CÑIA. IN. DE ALMERIA	ALMERIA	Trámite	PI	0	39825	81	C.M.	C
DANIELA	FULSAN	MURCIA	Trámite	PI	0	22336	12	C.M.	C
EPYSA III	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	3472	12	C.M.	C
EPYSA VI FRAC. 2ª	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	3475	3	C.M.	C
FORNOLS	KNAUF GMBH	LERIDA	Trámite	PI	0	10219	15	C.M.	C
GEOMAT	GEOMAT IBERIA	BURGOS	Trámite	PI	0	4864	13.949.366	M2	C
GUIXERS	KNAUF GMBH	LERIDA	Trámite	PI	0	10130	13	C.M.	C
JORBA-II	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Trámite	PI	20	4080	4	C.M.	C
LA ESTACION 1	JESUS SANCHEZ FERRER	ALBACETE	Trámite	PI	0	1835	110	Has.	C
LA ESTACION I	CANTERAS DEL ARGOS	MURCIA	Trámite	PI	0	22280	72	C.M.	C
LA HOYA	SUSANA MUEDRA MATEU	VALENCIA	Trámite	PI	0	2967	20	C.M.	C
LARIO	PAV. ASF. LARIO	MURCIA	Trámite	PI	0	22298	20	C.M.	C
LAURA	P. DEL MEDITERRANEO	MURCIA	Trámite	PI	0	22258	11	C.M.	C
LIMARIA	CÑIA. GRAL. YESERA	ALMERIA	Trámite	PI	0	39808	24	C.M.	C
MAGDA	YOANEV	MURCIA	Trámite	PI	0	22091	6	C.M.	C
MANUELA	PAV. AUX. PIRINEO	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	3503	11	C.M.	C
MARISA	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Trámite	PI	0	39827	100	C.M.	C
MARTA	C. PROYING ACT. EMP.	MURCIA	Trámite	PI	0	22262	55	C.M.	C
MIJA	SAINT GOBAIN PLACO	CUENCA	Trámite	PI	0	1450	27	C.M.	C
PENCHO	P. Y RIE. ASFALTICOS	MURCIA	Trámite	PI	0	22234	12	C.M.	C
PINOS 1	KNAUF GMBH	BARCELONA	Trámite	PI	0	10190	4	C.M.	C
PLACO III	BPB IBERPLACO	BURGOS	Trámite	PI	0	4863	6.479.188	M2	C
PUJOL BERNAT	BPB IBERPLACO	BARCELONA	Trámite	PI	0	4081	5	C.M.	C
RAQUEL	P. DEL MEDITERRANEO	MURCIA	Trámite	PI	0	22259	10	C.M.	C
RUS	EXP. IND. Y GEOTECHN.	CUENCA	Trámite	PI	0	1417	26	C.M.	C
SANDRA I	CONREFAG	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	2965	298	C.M.	C
SOLIBERNATS	KNAUF GMBH	LERIDA	Trámite	PI	0	10213	28	C.M.	C
TORREJONCILLO	SECCION INMOMINERA	CUENCA	Trámite	PI	0	1402	54	C.M.	C
TOST-2 BIS	KNAUF GMBH	LERIDA	Trámite	PI	20	10254	26	C.M.	C
VERONICA	C. PROYING ACT. EMP.	MURCIA	Trámite	PI	0	22263	50	C.M.	C
VICTORIA	SAINT-GOBAIN PLACO	ALMERIA	Trámite	PI	0	40505	67	C.M.	C
YESOS ALFA V	BPB IBERPLACO	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	3473	2	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT. GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
YESOS ALFA VI	BPB IBERPLACO	ZARAGOZA	Trámite	PI	0	3474	2	C.M.	C
ALHONDIGUILLA II	HERNANDEZ HERRERA	TOLEDO	Caducado	AA	0	5	0.72	Has.	A
CABRERA	BPB IBERPLACO	CASTELLON	Caducado	AA	0	390	6.76	Has.	A
CHINCHÓN VALDERRIBAS	C PORT. VALDERRIBAS	Madrid	Caducado	AA		A130			A
DOÑA ISABELITA	YESOS SAN MARTÍN	Madrid	Caducado	AA		A274	40.000	M2	A
ELIA	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Caducado	AA	0	677	8.08	Has.	A
FRAILE	GER. FRAILE BLAZQUEZ	LA RIOJA	Caducado	AA	0	96	0.36	Has.	A
LA ALHONDIGA	BPB IBERPLACO	TOLEDO	Caducado	AA	0	206	0.794	Has.	A
LA MARAÑOSA	M. MARTÍN DE LA HERA	Madrid	Caducado	AA		A196			A
LA PAJARITA	MARC. CARDERO EMILIO	Madrid	Caducado	AA		A101			A
MONTARCO	MAN. MARÍN MARTÍNEZ	Madrid	Caducado	AA		A102	424.860	M2	A
PLANTA DEL REY	LA MARUXIÑA	TOLEDO	Caducado	AA	0	682	23.78	Has.	A
VAL DEL CEMENTERIO	YESOS DIEZ IBAÑEZ	ZARAGOZA	Caducado	AA	0	23	10	Has.	A
VIDORRETA	P. ALONSO VIDORRETA	LA RIOJA	Caducado	AA	0	93	0.22	Has.	A
LOS CASTILLARES 1	ESCAYOLAS DEL JARAMA	Madrid	Caducado	CE		2822-001	1	C.M.	C
LOS CASTILLARES 1	ESCAYOLAS DEL JARAMA	Madrid	Caducado	CE		2822-002	1	C.M.	C
LOS CASTILLARES 1	ESCAYOLAS DEL JARAMA	Madrid	Caducado	CE		2822-003	1	C.M.	C
LOS CASTILLARES 1	ESCAYOLAS DEL JARAMA	Madrid	Caducado	CE		2822-004	1	C.M.	C
DEM. A LOS GAVIANES	LOS GAVIANES	Asturias	Caducado	CE		24640	1	C.M.	C
DEM. SANTA MARINA	CARMEN LOMO MARTIN	GUADALAJARA	Caducado	CE	10	2144	173.1	Has.	C
EL PEDREGAL	LOS GAVIANES	Asturias	Caducado	CE		24349	1	C.M.	C
EPYSA III	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Caducado	CE	0	2442	12	C.M.	C
EPYSA V	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Caducado	CE	0	2444	4	C.M.	C
EPYSA VI	YESOS IBERICOS	ZARAGOZA	Caducado	CE	0	2445	5	C.M.	C
FELISA	LOS GAVIANES	Asturias	Caducado	CE		24681	2	C.M.	C
GETAFE I FRACCIÓN I	TOLSA	Madrid	Caducado	CE		2930-011	8	C.M.	C
HONDO DE VALDECARROS	J. ALONSO SÁNCHEZ	Madrid	Caducado	CE		2790-001	2	C.M.	C
LAS ALJECERAS	BERNA. MATÉ GONZÁLEZ	PALENCIA	Caducado	CE	0	3166	1.134.779	M2	C
LAS ALJECERAS	YESOS MATÉ	PALENCIA	Caducado	CE	0	3166	1.134.779	M2	C
LO INESPERADO	C. CASERO CHIMENO	PALENCIA	Caducado	CE	0	2686	370.209	Has.	C
LOS GAVIANES Y DEMA.	LOS GAVIANES	Asturias	Caducado	CE		24329	24	C.M.	C
LOS HUERTOS	YESOS PONCE	CUENCA	Caducado	CE	0	1322	1	C.M.	C
PAJARES	J.J. MTNEZ. GARNACHO	Madrid	Caducado	CE		2669	10	C.M.	C
PEPA	LOS GAVIANES	Asturias	Caducado	CE		25096	13	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
PLA DE ANDANI	BPB IBERPLACO	LERIDA	Caducado	CE	0	3932	6	C.M.	C
SANTA MARINA	CARMEN LOMO MARTIN	GUADALAJARA	Caducado	CE	0	2144	5	C.M.	C
SANVICENTE	YESOS IBÉRICOS	Madrid	Caducado	CE		2863-011	5	C.M.	C
VIRGEN DEL PILAR	OBRAICON	LA RIOJA	Caducado	CE	1	3403	14	Has.	C
VIRGEN DEL PILAR 1B	ESLOSA	LA RIOJA	Caducado	CE	5	3403	28	Has.	C
SANTA QUITERIA	TOMÁS GARCÍA TRANS.	ALBACETE	Caducado	PE	1	1816	342	C.M.	C
LOS BLANCARES	YESAPRE	Navarra	Caducado	PI		35040	13	cm	C
2ª AMPL. YESOS EL 50	YESOS EL 50	Madrid	Caducado	PI		3285-010		CM	C
ALBERTO	MINAS Y CANT. BLASEN	CUENCA	Caducado	PI	0	1403	24	C.M.	C
ALIAGUILLA	GEAZYSA UTE	CUENCA	Caducado	PI	0	1387	12	C.M.	C
ALMUDENA	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Caducado	PI	0	4076	43	C.M.	C
ALTO CAMPOO	BPB IBERPLACO	PALENCIA	Caducado	PI	0	3533	1.681.894	M2	C
AMPL. A GUADALUPE	EMER. QUINTANA NUÑEZ	PALENCIA	Caducado	PI	0	3518	2.521.929	M2	C
AMPL. A GUADALUPE	INV. QUINTANA NUÑEZ	PALENCIA	Caducado	PI	0	3518	2.521.929	M2	C
APARICIO	L. DE SILICES Y ARC.	VALENCIA	Caducado	PI	0	2451	15	C.M.	C
APARICIO	TEYGE	VALENCIA	Caducado	PI	0	3024	15	C.M.	C
ARANJUEZ	YESOCENTRO	Madrid	Caducado	PI		3061-010	34	CM	C
BLANCFORT	YESOS BLANCFORT	GERONA	Caducado	PI	0	3530	39	C.M.	C
BLANCFORT	YESOS BLANCFORT	GERONA	Caducado	PI	10	3530	14	C.M.	C
CASA SAN BARTOLOME	DIAFER	TOLEDO	Caducado	PI	0	4117	8	C.M.	C
CERRO DE SAL	YESOS MONRABAL	VALENCIA	Caducado	PI	0	2856	3	C.M.	C
COGOLLUDO	A. BLANCO DE LA SOTA	GUADALAJARA	Caducado	PI	0	2445	247	C.M.	C
COVADONGA	MINA LA CAMOCHA	Asturias	Caducado	PI		30598	47	c.m.	C
EL CASTILLO	YEJASA	GUADALAJARA	Caducado	PI	0	2428	6	C.M.	C
EL CORRALEJO	IBERYESO MED	CASTELLON	Caducado	PI	0	2596	2	C.M.	C
EL CORRALEJO	IBERYESO MED	CASTELLON	Caducado	PI	1	2596	42	C.M.	C
EL CORRALEJO	IBERYESO MED	CASTELLON	Caducado	PI	3	2596	43	C.M.	C
ESLES	FRANCISCO RUJIZ ARIAS	CANTABRIA	Caducado	PI	0	16383	185	C.M.	C
EXPLOT. REUNIDAS	BPB IBERPLACO	Madrid	Caducado	PI		2852-010	60	CM	C
GETAFE III FRAC. I	TOLSA	Madrid	Caducado	PI		2932-010	11	CM	C
GUADALUPE	EMER. QUINTANA NUÑEZ	PALENCIA	Caducado	PI	0	3517	2.522.703	M2	C
GUADALUPE	INV. QUINTANA NUÑEZ	PALENCIA	Caducado	PI	0	3517	2.522.703	M2	C
IBERPLACO	BPB IBERPLACO	CUENCA	Caducado	PI	2	1251	29	C.M.	C
IBERYESO	IBERYESO MED	VALENCIA	Caducado	PI	0	2746	10	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
LA ALBERCA	AUDITORIA AMBIENTAL	VALENCIA	Caducado	PI	0	3005	15	C.M.	C
LA FLOR	ALABASTROS ARA	TERUEL	Caducado	PI	0	5729	40	C.M.	C
LEDANCA	SAMCA	GUADALAJARA	Caducado	PI	10	2473	298	C.M.	C
LUCIA	SULF. DE LA RIBERA	ZARAGOZA	Caducado	PI	0	2854	5	C.M.	C
MAGDALENA	MENÉNDEZ SANZ	Asturias	Caducado	PI		30656	23	C.M.	C
MARCO ANTONIO	ESYEDEBRO	ZARAGOZA	Caducado	PI	0	2696	68	C.M.	C
MEDRANDA	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Caducado	PI	0	2464	42	C.M.	C
MONSERRAT II FRAC. 1	CARBONES PEDRAFORCA	TOLEDO	Caducado	PI	12	3479	2	C.M.	C
MURINYOL	PREF ESCAYOLA VALLS	LERIDA	Caducado	PI	0	4128	88	C.M.	C
NOELIA	SULF. DE LA RIBERA	LA RIOJA	Caducado	PI	0	3411	454	Has.	C
NOELIA A	HILAYES	LA RIOJA	Caducado	PI	1	3454	113	Has.	C
NOELIA A	ROBER. VIDAL EGUILUZ	LA RIOJA	Caducado	PI	1	3454	113	Has.	C
NOELIA B	HILAYES	LA RIOJA	Caducado	PI	22	3454	85	Has.	C
NOELIA B	JAV. RUIZ ECHEVARRIA	LA RIOJA	Caducado	PI	22	3454	85	Has.	C
PRADANOS I	MOVITRANS LEÓN	PALENCIA	Caducado	PI	0	3511	25.801.246	M2	C
PRADANOS II	MOVITRANS LEÓN	PALENCIA	Caducado	PI	0	3512	28.357.034	M2	C
SAN MARTÍN	TECHOS FK	Madrid	Caducado	PI		3060-010	14	C.M.	C
SANTA BARBARA B	F. J. FDEZ. MASCARUA	LA RIOJA	Caducado	PI	7	3455	1638	Has.	C
SANTA BARBARA B	YESOS VENTAS BLANCAS	LA RIOJA	Caducado	PI	7	3455	1638	Has.	C
SANTA ENGRACIA	GRE. DEL VILLAR SANZ	LA RIOJA	Caducado	PI	0	3455	178	C.M.	C
SANTA ENGRACIA	OBRAICON	LA RIOJA	Caducado	PI	0	3455	178	C.M.	C
SANTA PUDIA	YESO INVERSIONES	GRANADA	Caducado	PI	0	30751	1	C.M.	C
SAX 2521-C	CIA. GENERAL YESERA	ALICANTE	Caducado	PI	10	2521	2	C.M.	C
SAX 2521-C	CIA. GENERAL YESERA	ALICANTE	Caducado	PI	20	2521	12	C.M.	C
SERRA GARRIGA	PREF ESCAYOLA VALLS	LERIDA	Caducado	PI	0	4139	175	C.M.	C
SILVIA	SULFAT. DE LA RIBERA	LA RIOJA	Caducado	PI	0	3428	510	Has.	C
SILVIA (0-1-0)	ARID. Y PREMEZCLADOS	GUADALAJARA	Caducado	PI	0	2494	18	C.M.	C
SOLEDAD 1	EPYSA	Madrid	Caducado	PI		2990-010	10	C.M.	C
SOLEDAD 2	EPYSA	Madrid	Caducado	PI		2988-010	19	C.M.	C
SOLEDAD III	EPYSA	Madrid	Caducado	PI		3562-TO	15	C.M.	C
VENTOLA	BENITO ARNO E HIJOS	LERIDA	Caducado	PI	0	4309	40	C.M.	C
VILLENA 2521-A	CIA. GENERAL YESERA	ALICANTE	Caducado	PI	0	2521	1	C.M.	C
AMP.LLANO DEL OLIVAR	YESOS SAN MARTÍN	Madrid	Cancelado	AA		A229			A
LA DEMASIA	TOMÁS GARCÍA	ALBACETE	Cancelado	AA	0	617	48.83	Has.	A

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
LA YESERA	VALENC. DE TABIQUES	TERUEL	Cancelado	AA	0	10079	8.36	Has.	A
YESOS 70	YESOS SAN MARTÍN	Madrid	Cancelado	AA		A356			A
YESOS 80	YESOS SAN MARTÍN	Madrid	Cancelado	AA		A357			A
LA HERRADA	IBERYESO	MURCIA	Cancelado	CE	0	21404	16	C.M.	C
2ª AMP. YESOS EL 50	YESOS EL 50	Madrid	Cancelado	CE		3285-011			C
ALTOS DE VERDU	FCO. GILBERT ROMAN	ALICANTE	Cancelado	CE	0	2482	8	C.M.	C
AMP. FUENTE VIEJA	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Cancelado	CE	0	2526	18	C.M.	C
AMP. FUENTE VIEJA	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Cancelado	CE	0	2527	14	C.M.	C
AZAILA 7	EURO MBT MAQUINARIA	TERUEL	Cancelado	CE	0	6459	1	C.M.	C
AZAILA 7	EURO MBT MAQUINARIA	TERUEL	Cancelado	CE	0	6461	1	C.M.	C
AZAILA 9	EURO MBT MAQUINARIA	TERUEL	Cancelado	CE	0	6460	10	C.M.	C
AZAILA 9	EURO MBT MAQUINARIA	TERUEL	Cancelado	CE	0	6462	10	C.M.	C
CERRO MOJON III	CERAM. MILLAS HIJOS	TOLEDO	Cancelado	CE	0	4123	9	C.M.	C
CERRO MOJON IV	CERAM. MILLAS HIJOS	TOLEDO	Cancelado	CE	0	4142	9	C.M.	C
COGOLLUDO FRACCION I	A. BLANCO DE LA SOTA	GUADALAJARA	Cancelado	CE	10	2445	56	C.M.	C
EL CHICAMO	LA LADRILL. MURCIANA	MURCIA	Cancelado	CE	0	22160	4	C.M.	C
ESPARTINAS III	YESOCENTRO	Madrid	Cancelado	CE		2998-001	3	C.M.	C
GETAFE I	TOLSA	Madrid	Cancelado	CE		2930-012	6	C.M.	C
LA COGULLATA	YESAPRE	ZARAGOZA	Cancelado	CE	0	3450	15	C.M.	C
LAS HERAS	YESAPRE	ZARAGOZA	Cancelado	CE	0	3448	18	C.M.	C
MEDRANDA	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Cancelado	CE	10	2464	33	C.M.	C
MEDRANDA -10	YESOS LA TORREÑA	GUADALAJARA	Cancelado	CE	10	2464	33	C.M.	C
MONEGRO	YESAPRE	LA RIOJA	Cancelado	CE	0	3500	2	C.M.	C
SAN JOSÉ	J. L. MNEZ. ZAMORANO	Madrid	Cancelado	CE		3320-011	12	C.M.	C
VICENTA	YESOS EL 50	Madrid	Cancelado	CE		2979-001	70	C.M.	C
YESAPRE	YESAPRE	LA RIOJA	Cancelado	CE	0	3499	3	C.M.	C
SONIA	RAFAEL CALVO Y PUIG	Madrid	Cancelado	PE		3052-100	630	C.M.	C
ALEJANDRO	EMER. QUINTANA NUÑEZ	BURGOS	Cancelado	PI	0	4709	12	C.M.	C
EL TABLERO	YESOS TORRIQUE	TOLEDO	Cancelado	PI	0	4141	8	C.M.	C
JAIIME	ARCILLAS CONTREBIA	ZARAGOZA	Cancelado	PI	0	3449	4	C.M.	C
LA MESA	CERAM. MILLAS HIJOS	TOLEDO	Cancelado	PI	0	4124	48	C.M.	C
MONTERRAT II FR. II	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Cancelado	PI	0	4148	12	C.M.	C
PALANCARES	D. NAVARRO VAZQUEZ	GUADALAJARA	Cancelado	PI	0	2560	30	C.M.	C
PUNTES	S. ESPAÑO. DE TALCOS	MURCIA	Cancelado	PI	0	22173	95	C.M.	C

NOMBRE DEL DERECHO	EMPRESA	ORGANISMO	SIT.GENERAL	TIPO	FRAC.	Nº REG.	SUPERF.	UDS.	SEC.
REINA	YESOVAL	Madrid	Cancelado	PI		2995-010	72	C.M.	C
SAN JOSÉ II	HNOS. CASTAÑO MIGUEL	Madrid	Cancelado	PI		3076-010	8	C.M.	C
SESEÑA PROP. FRAC II	ARYTEL ALMONACID	TOLEDO	Cancelado	PI	2	4160	6	C.M.	C
SESEÑA PROP. FRAC II	ARYTEL ALMONACID	TOLEDO	Cancelado	PI	3	4160	6	C.M.	C
SOLEDA V	EPYSA	Madrid	Cancelado	PI		3643-TO	1	C.M.	C
SOLEDA V II	YESOS IBERICOS	TOLEDO	Cancelado	PI	0	4151	2	C.M.	C
SONIA	CALVO Y PUIG RAFAEL	Madrid	Cancelado	PI		3053-010	162	C.M.	C
SUSANA	SAMCA	ZARAGOZA	Cancelado	PI	0	2888	60	C.M.	C
VECASE	J. D. CUENCA RAMON	ALICANTE	Cancelado	PI	0	2723	20	C.M.	C
VIRGEN DE LA MUJELA	HERRERO BARBUDO	GUADALAJARA	Cancelado	PI	0	2592	12	C.M.	C

Leyenda		
TIPO	AA	Autorización de Aprovechamiento
	PE	Permiso de Exploración
	PI	Permiso de Investigación
	CE	Concesión de Explotación
UDS. Superficie	M2	Metros cuadrados
	Has.	Hectáreas
	C.M.	Cuadrículas Mineras

ANEXO IV

RESUMEN EN INGLES

ENGLISH SUMMARY

**(ART. 10.2, NORMATIVA DE DESARROLLO DEL REAL DECRETO 99/2011,
DE 28 DE ENERO QUE REGULA LOS ESTUDIOS DE DOCTORADO EN LA
UNIV. COMPLUTENSE DE MADRID. BOUC Nº14, 21/12/2012)**

ENGLISH SUMMARY

1.- INTRODUCTION

The spatial competition between industrial companies, both extractive and manufacturing, is one of the major research topics in both Industrial Organization and Regional Science. In general, the spatial competition models focus on location decisions, pricing and production levels, that one or more companies have to perform when they want to enter or are operating in a given geographic market. The main objective of these companies is to maximize profits by being more competitive on price and location than other companies operating in the market. Therefore, one of the decisions that recurrently appear in the daily life of an industrial company is whether to increase production and, if so, how to reach such an increase: increasing production of existing plants, building new factories, acquiring competitors, etc. If the chosen option is to increase production via the construction of new factories, automatically arises a question: which are the best geographical areas to locate the new facility or facilities?.

Location of the facilities is a very important decision because it will define, in many cases, the profitability of the sites, which is primarily controlled by its relative position with respect to raw materials, clients and competitors. If the installation to be built is dependent on natural raw materials that lose a relevant portion of their weight during processing, such in the manufacture of cement, plaster, ceramic, etc. the optimal position of the system is affected by the existence of such mineral resource in the area. In such a case, it is required the combined analysis from different disciplines to obtain the best locations: geology, economics, operations research, marketing, etc.

From a mining perspective, the selection of the area to explore is the essential step to carry out at any exploration project. Prospectivity studies are a useful tool for the selection and prioritization of areas to investigate. Carranza (2009) defines prospectivity as the possibility or probability of certain mineral deposits of the desired type to be present in a given area. Normally, this probability is calculated by modeling the prospectivity, which seeks, through the implementation of predictive maps, to outline the areas with the greatest potential to host the mineralized zones. The use of this tool helps to reduce costs and minimize risks, both technical and financial, associated with decision making in the mining industry (Porwal and Kreuzer, 2010). This technique is usually applied in prioritizing the areas to explore both at regional and local scales.

The mineral's prospectivity studies define the most favorable areas in terms of parameters such as geology, geochemistry, geophysics, land use, etc., by using

mathematical techniques for data analysis (fuzzy logic, WoE - weights -of-evidence - , logistic regression, etc.). This methodology has been applied successfully to mineral deposits with high economic value such as gold, uranium, nickel, copper, lead-zinc, etc.

This study develops a prospectivity study of gypsum, an industrial rock mainly used by the building industry characterized by low price and high bulk. The industrial minerals and rocks of this category are said to have "a high place-value" due to the high impact of transportation costs on the final price of the product. Most of their economic value derives from its proximity to markets. High place-value minerals are, in addition to gypsum, aggregates, clays to manufacture ceramic (bricks, tiles, etc.), limestone for cement manufacture, etc.

In the case of high place-value industrial minerals, Barker and McLemore (2004) stated that true exploration of these products begins with market analysis. However, the few existing examples of prospectivity studies for these products obviate the market parameters, focusing on the geology and in some limiting parameters such as the thickness of the overburden, the population density or the distance to the nearest communication networks. These studies completely ignore the impact of market parameters (relative location of the deposits to potential markets, the presence or absence and the location of competitors, etc.), which are key elements to define the economic interest of a site.

As previously said, one of the industrial rocks belonging to the category of "high place-value" is gypsum. Calcium sulfate, and in particular gypsum, its hydrated phase, is one of the most frequent evaporite minerals in nature and the most abundant in outcrop. This is mainly due to gypsum's lower relative solubility compared with other evaporite minerals (chlorides , other sulfates, etc.) because, although the stable phase of calcium sulfate at depth is anhydrite, in most of the current weather conditions of the Earth's surface anhydrite is not stable on, or near, surface.

Gypsum is one of the most used natural products by humans. In 2011, this mineral was, by volume, the seventh most exploited mineral substance in the world, with 148 million tons, only surpassed by the aggregates, iron ore, limestone, salt, bauxite and phosphates. In Spain gypsum is one of the most abundant sedimentary lithologies outcropping, frequently in the eastern half of the country. The Spanish National Plan for Gypsum Exploration, made by the Spanish Geological Survey (IGME), concluded that reserves of Spain are over 60,000 million tonnes. The abundance and high quality of Spanish gypsum make this country the leading European producer of this industrial rock, with approximately 7 million tons mined, ranking fifth in the world, only beaten by China, Iran, the U.S.A., and Thailand. Gypsum is mainly used by the construction industry as plaster, plasterboard or

added to the cement. Minor uses include agriculture and chemical or pharmaceutical industrial applications.

The most recent work trying to delineate and quantify the gypsum outcrops of Spain is that of Riba and Macau (1962). These authors performed, more than fifty years ago, a map that showed the gypsiferous rocks that outcrop in Spain. Based on this map, these authors calculated that 7.2% of the country's surface was occupied by gypsiferous outcrops. Since the publication of this work, a lot of detailed information on the geology of Spain has been delivered, including the Geological Map of Spain at 1:50,000 scale that synthesizes the geology of Spain with a great level of detail. All this new information, together with the Geographic Information Systems tools and increasingly powerful computers, allowed us to plot and recalculate the area occupied by the gypsum outcrops in Spain, classifying them by age, quality from the industrial point of view, geological region, their genesis, etc.

The present work develops a methodology of prospectivity modeling for high place-value industrial minerals, which, in addition to geology, considers the market parameters in order to prioritize the areas to explore. We have applied the technique called "location-allocation", developed by the operations research, one of the disciplines of mathematical sciences. The location-allocation modeling consists on the selection of the location for a given number of facilities from a number of possible locations or specific positions. The goal is not only to find the best position to establish a facility, but also to assign optimally customers to these facilities. The model builds a cost matrix where, for every possible location, the cost for each customer (in time or money) is calculated. Demand is then multiplied by the cost of transport previously obtained. The model will choose the position of the factory with the minimum total cost. This type of models is called minisum models.

2.- RESEARCH OBJECTIVES

The main objective of this work is to develop a methodology to help prioritizing areas for exploration of high place-value industrial minerals and rocks, by taking into account not only the geology, but also the market parameters. In particular, as a case study, we have chosen gypsum in mainland Spain, defining the areas in which it might be interesting to install a plaster facility taking into account the availability of the resource and its strategic location relative to the market (market share potential capture). To achieve this objective we have defined the following partial objectives:

1. Delineate the outcrops of the gypsum-bearing geological units of Spain.
2. Analyze the plaster market in mainland Spain from different points of view:

- a. Demand: location and magnitude (both for building and cement addition).
 - b. Offer: identification and location of existing plaster and plasterboard facilities.
- 3. Modelling, from an economic point of view, the plaster market in Spain, by integrating information about demand, supply and international trading, and identifying the best advanced indicator to calculate the future gypsum apparent demand in Spain.
- 4. Modelling, from a geographical point of view, the gypsum and plaster market in mainland Spain, using a Geographic Information System, trying to identify possible market inefficiencies:
 - a. Areas where if a new plaster production facility is located, it would capture a significant portion of the market.
 - b. Areas of high degree of competition in which the market share of the facilities is low and profitability and survivability of the existing facilities is, a priori, relatively low.

3.- METHODOLOGY

A sequential methodology has been followed to obtain and process the necessary information for the achievement of the objectives, starting with the location of the outcrops of gypsiferous rocks in Spain, continuing with the plaster and plaster-made products market analysis, identifying and georeferencing the facilities for plaster and plasterboard production, and finishing by the geo-economic analysis of the gypsum market in mainland Spain.

Determination of the location and the area occupied by the gypsum outcrops was done by using the geographic information system ArcGIS[®]. The main geological information for the study is obtained from the Geological Map of Spain at 1:50,000 scale. The continuous geologic information (GEODE Plan) has been made within the main geologic regions of Spain. The legend of each of the GEODE regions has been reviewed in order to identify the geological units containing evaporites. A total of 201 different outcropping geological units with evaporitic rocks have been identified. Once each geological sheet of the GEODE Plan was downloaded, we identified and selected the polygons containing evaporitic geological units, and a new file containing all the gypsum outcrops of Spain has been created. Each of these polygons has different fields that contain relevant information such as like the geological region, age, lithology description, etc.

In order to analyze the gypsum and plaster markets in Spain, a bibliographical study has been made by compiling all available information of

gypsum, plaster, and plaster-made products, from different public and private agencies on production, exports, imports, domestic consumption, etc. Historical production of gypsum, the number of quarries in operation, and the segmentation of production by destination was obtained from mining statistics published by the Ministry of Industry, Tourism and Trade. The international trade data of gypsum, plaster, plasterboard, etc., were obtained from the Foreign Trade Statistics released by the Secretary of State for Trade (Spanish Ministry of Science and Innovation). Production of gypsum, plaster and plaster products in Spain has been obtained from the Survey of Industrial Products of the National Statistics Institute of Spain.

To estimate future domestic demand, advance indicators have been studied in order to find the most precise one. We have studied the correlation goodness of fit with various parameters of the construction sector (public works tenders, building permits, etc.), comparing domestic gypsum demand of each year with the selected parameters. To calculate the advancement for each indicator, temporal series of constructive variables have been moved 1, 2 and 3 years back, calculating the goodness of the correlation between these series and the demand for gypsum by the coefficient of determination (R^2). The annualized construction data were obtained from the Construction Statistical Information of the Ministry of Infrastructures website. The used indicators are the official tendering by Type of Work (Civil Engineering and Building) in thousands of Euros, and building permits (number of buildings to be built, surface to be built in m^2 , etc.). The linear regression analysis was performed using MS Excel[®] and the multiple regression analysis using statistical software Matlab[®].

In order to geographically analyze the gypsum and plaster markets, it has been necessary to identify both the location of supply points (plaster factories), and demand points for gypsum-based products (urban areas and cement production facilities), obtaining also their relative magnitudes. The geographical location of plaster and plasterboard facilities has been obtained from the Plaster Producers Association (ATEDY) website, and from Einforma's Gypsum Manufacturers Directory (www.einforma.com). The location (including latitude and longitude) of each of the manufacturers has been confirmed by the analysis of satellite imagery from Google Earth[®]. A total of 57 plaster factories (54 active) and 6 plasterboard facilities (4 active) have been located and georeferenced.

Plaster and plasterboard demand, derived from the building activity, is located in urban areas. In the case of gypsum used as cement addition, used as setting retarder, demand is located in the cement factories (with and without clinker kiln) with a magnitude of demand proportional to the cement production of each factory. The location of the urban areas of Spain has been obtained from the Spanish Geographic Institute website, and the population of each of the urban areas

from the Population and Housing Census of the Spanish Statistics Institute website. Both datasets have been combined in order to obtain a map of the Spanish urban areas with their associated population.

The list of cement factories of Spain was obtained from the Spanish Cement Manufacturers Association. In the same way as used for gypsum factories, we have used Google Earth[®] satellite imagery to confirm the presence, and to obtain the coordinates of each of the cement manufacturing facilities. A map has been done with the location of all cement facilities and their associated production capacity, plaster demand, etc.

From the various tools available in ArcGIS[®] (10.0) to perform the geo-economic study of the gypsum in Spain (3D Analyst Tools, Geostatistical Analyst, Spatial Statistics, and the Network Analyst), it was decided to work with the Network Analyst module for two main reasons: i) the distance between production and consumption centers, key for transport costs calculation, are measured on communication networks and not in straight lines, giving real distance values, and ii) the location-allocation module included in the Network Analyst allows, not only to identify the best locations to set up factories, but assign demand to such facility, estimating market share capture. In order to get the market share captured for each possible position (gypsum outcrops) and to be able to build a market share contour map, we had to develop a macro that iteratively calculates the market share obtained at each possible position of a factory taking into account the existing facilities and the demand points. The macro has been built with the Model Builder module of ArcMAP[®] (10.0).

4.- CONCLUSIONS

Saline materials occupy 21,077 km² of Spain's surface (4.2% of the country's area). The vast majority of the outcrops are composed of gypsum, although an enormous variety of mineralogies (anhydrite, halite, glauberite, thenardite, potassium salts, etc.) occur at depth. Most of the outcrops are found in the eastern half of the country, area named by Riba and Macau (1962) as "the gypsiferous Spain".

The area occupied by mining rights for gypsum amounts 916 km² which represents 4.35% of the total area of gypsiferous Spain and 21% of the gypsum mineable surface (4,372 km²).

The oldest evaporites deposits appearing in Spain are of Triassic age (Permo-Triassic according to some authors) although in the Cambrian there are some evidences that indicate evaporite sedimentation conditions. Most of the outcrops of

evaporite rocks are Neogene in age, but the most abundant evaporitic deposits in the subsoil are Mesozoic.

From the genetic standpoint, marine evaporites dominate the Triassic, Jurassic, Cretaceous and Neogene sequences. The continental evaporite deposits are common in the Neogene and dominate in the Quaternary. The marine evaporites of the Mesozoic have provided much of the solutes that have been used for the formation of continental evaporites, of both, Paleogene and Neogene ages.

Climate and tectonic, both parameters at a global scale, seem to be the major factors controlling the presence and characteristics of Mesozoic evaporites. In the case of Cenozoic evaporites, its origin has been mainly controlled by local factors, in the case of continental evaporites, and regional, in the case of marine sequences. In particular, the effects of Alpine tectonics in the creation of large endorheic basins and topographic barriers seem to have had a great influence on the genesis of continental deposits, while its effects, limiting the water flux between the Atlantic ocean and the Mediterranean sea, have favored the sedimentation of marine evaporites at the edges of the Mediterranean basin during the Messinian.

Looking to the Spanish gypsum production from mid-90s to the present day, we can identify three phases. The first, which runs from mid-90s until 2006, is characterized by progressive increase in the production of gypsum (from 9.9 Mt to 15.3 Mt), domestic demand (6.7 Mt at 11.8 Mt) and the number of gypsum quarries in operation (from 110-123). From 2006 to 2010, the scenario inverts, with a decline in quarry production (7.0 Mt), domestic demand (4.3 Mt) and the number of quarries in operation, from 123 to 101.

In 2011 domestic demand continued to decline, but it was offset by strong growth in exports. The total mined gypsum raised moderately in 2012, reaching 7.83 Mt. For years 2012 and 2013, the fall in domestic demand is estimated to be 760,000 t and 260,000 t respectively. The expected fall in domestic demand for gypsum in 2013 is the less intense since the beginning of the crisis which could point to, if not a cyclical change, at least a stabilization of the market, slowing the collapse that has suffered since the bursting of the housing bubble.

The effects of the crisis on different gypsum producers are very different depending on whether the fate of its production is for export or the domestic market and, in the case of the second, the region where they are installed.

Through the use of techniques for locating and allocating customers in combination with geological information, we have been able to classify gypsum areas of the Iberian Peninsula on the basis of their interest to build a plaster factory with an associated gypsum quarry, from the economic point of view.

This study shows that, for industrial minerals with low unit value, a geographical study of the market is essential to select the areas to explore. In Spain we have found two areas with high potential market capture values (> 5.25%) in the case a plaster factory is installed in those areas. The most interesting areas are:

- a) a broad region in the central area of the Principado de Asturias, in northwestern Spain, with a maximum market share of 6,7%, and
- b) several small isolated areas in the northeast of Spain, in the provinces of Barcelona and Tarragona, with a maximum of 6,2%.

The market capture contour lines has helped to define an area in which the market share presents low values, below the national average (<1.84%), comprising the autonomous regions of Aragon, Madrid, Castilla-La Mancha , Andalusia and Murcia. In this area, competition between established plants is very high, leading to lower profits in periods of economic boom, and more difficulty to survive during crisis such as the present one. Most of the quarries that have stopped their activity from the beginning of the crisis, and the three plaster factories that went bankrupt in this period, are in this area defined as low market share (<1.84%).

References

- Barker, J.M. y McLemore, V.T. (2004). Sustainable Development and Industrial Minerals, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting (2004), Denver, Colorado, pp. 5.
- Carranza, E.J.M. (2009). Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry Vol. 11. Elsevier, Amsterdam, 351 pp.
- Porwal, A.K. y Kreuzer, O.P. (2010). Introduction to the Special Issue: Mineral prospectivity analysis and quantitative resource estimation. Ore Geology Reviews, 38: 121-127.
- Riba, O. y Macau, F. (1962). Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España. I Coloquio Internacional Sobre las Obras Públicas en los Terrenos Yesíferos Servicio Geológico de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 33 pp.