

# Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la prospección y caracterización de materias primas de interés en Cerámica y Vidrio

E. GARZÓN<sup>1</sup>, I.G. GARCÍA<sup>1</sup>, A. RUIZ-CONDE<sup>2</sup> y P. J. SÁNCHEZ-SOTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano, 04120-Almería

<sup>2</sup> Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS), Centro Mixto Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad de Sevilla

En este trabajo se muestra la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG) como herramienta eficaz a la hora de abordar varias fases de investigación sobre materias primas de interés para el sector de la Cerámica y el Vidrio, con dos ejemplos: prospección y caracterización de materias primas, utilizadas como material impermeabilizante además de potencial interés cerámico y estudio de canteras de extracción de caliza y mármol. Para ello, se han diferenciado tres fases en el trabajo: construcción de la base de datos cartográfica, fusión de las bases de datos y depuración; finalmente, se realiza el desarrollo de la aplicación.

De este estudio se concluye que el SIG se convierte en una herramienta viva, a la que se le pueden ir incorporando nuevos datos, como son puntos de muestreo, resultados de ensayos y determinaciones realizadas con las muestras, nuevas vías y caminos, empresas que poseen la concesión, etc., como ha quedado expuesto con los ejemplos descritos. Todo ello permite una explotación mucho más racional y eficiente desde los puntos de vista técnico, medioambiental y económico. Se deduce un claro interés del método de trabajo propuesto con utilidad para investigadores, tecnólogos y empresarios del ámbito que se ocupan de la valorización de materias primas de aplicación en el procesamiento de materiales de este sector.

*Palabras clave: SIG, materias primas, filitas, mármol*

## Application of Geographic Information Systems (GIS) in the search for and characterization of raw materials of interest in ceramics and glass

This work shows the application of a geographic information system (GIS) as an effective tool to undertake several phases of research on raw materials of interest in ceramics and glass, with two examples: search for and characterization of raw materials to be used as impermeable materials in addition to their potential ceramic interest in terms of quarries and the quarrying of limestone and marble. For this, three phases of work have been differentiated: the construction of a cartographic database, the combining and distilling of the databases; and finally the development of the application.

From this study, it was concluded that GIS becomes a living tool in which new data can be incorporated, such as sampling points, test results, determinations made with the samples, new approaches and directions, companies that have the concession, etc., as explained with the examples described. All of this enables more rational and efficient use of the materials from the technical, environmental, and economic standpoint. The working method proposed could be clearly useful for researchers, technicians, and businessmen of this sphere that are involved in evaluating raw materials to be applied in processing materials of this sector.

*Key words: SIG, raw materials, phyllites, marble*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) particularizan un conjunto de procedimientos que tienen una representación gráfica, sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos, que son susceptibles de algún tipo de medición respecto al tamaño y dimensión relativa a la superficie de la Tierra (1). Además, el SIG cuenta con una base de datos gráficos y descriptivos con información georreferenciada. Se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización georreferenciada. Se trata, por tanto, de poderosas herramientas debido a la capacidad que poseen estos SIG para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales. Esto se

logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis (2,3).

Mediante SIG se puede recoger de forma gráfica toda información que se vaya procesando de cada punto de un muestreo determinado y donde se encuentren presentes, por ejemplo, las materias primas utilizadas en la fabricación de un determinado material del sector de la Cerámica y el Vidrio. También se pueden asociar datos relevantes, como son fotografías, tablas de resultados, etc., a cada uno de los puntos (1, 4). De la misma forma, esta metodología permite hacer grupos o regiones donde una materia prima analizada posea las mismas características (5). Esta capacidad adquiere una especial trascendencia en la fase de explotación comercial del recurso natural, ya que permite clasificar la materia prima

en función de un parámetro determinado y, llegado el caso, hasta lograr finalmente abaratar costes de producción. Todo ello facilita enormemente una primera etapa de investigación en un formato de comprensión muy atractivo y complementa otras propuestas recientes de carácter metodológico con utilidad en el sector cerámico y productos complementarios (6).

Asimismo, el SIG también permite presentar los resultados en un formato digital, donde se utilizan varios instrumentos como son fotografías, tablas, diagramas asociados a mapas, etc., empleando colores o animación para facilitar la comprensión del estudio realizado.

El objetivo planteado en este trabajo es mostrar la utilización del SIG como herramienta eficaz a la hora de abordar una fase de investigaciones sobre materias primas de interés para el sector de la Cerámica y el Vidrio. En concreto, en este artículo, presentado en forma de comunicación en el último Congreso de la SECV, celebrado en Toledo, se muestran dos ejemplos de esta aplicación para el sector de la Cerámica y el Vidrio: prospección y caracterización de materias primas, utilizadas como material impermeabilizante y con potencial interés cerámico, además del estudio de canteras de extracción de caliza y mármol.

## 2. METODOLOGÍA DE REALIZACIÓN

Las fases de trabajo desarrolladas son las siguientes:

El trabajo inicial, llamémosle de gabinete, se inicia con los Mapas Geológicos de España (Escala 1:50.000) publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (7). Con esta información de partida es necesario llevar a cabo la selección de la información útil de cada uno de los mapas, esto es, se selecciona toda información que sirva de orientación para la localización de los afloramientos de materias primas de interés. Por último, una vez localizadas las diferentes zonas geográficas para el muestreo del estudio, se hace en campo un registro de las coordenadas UTM mediante el empleo de tecnología GPS (GARMIN eTREX Summit). Para completar la toma de datos, finalmente se captan imágenes con cámara digital de cada una de las muestras localizadas en los yacimientos estudiados.

Una vez ya en el laboratorio y tomando partes alícuotas de las muestras seleccionadas de las distintas materias primas,

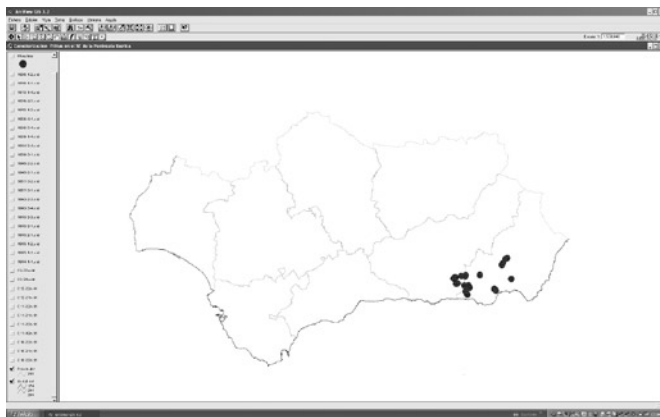


Figura 2. Localización mediante SIG de los puntos de muestreo (marcas azules).

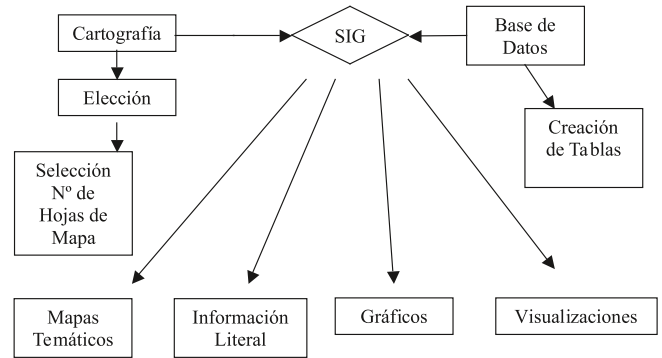


Figura 1: Fases de elaboración del sistema de información geográfica (SIG).

dando lugar a una muestra media, se pasa a estudiar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas por distintas técnicas experimentales. Entre ellas, sin ánimo de ser exhaustivos, se mencionan la Fluorescencia y Difracción de Rayos X (equipos: espectrómetro secuencial Siemens SRS-3000, preparando pastillas por prensado a 400 MPa; difractor Siemens D-501, realizando agregados desorientados y orientados), Microscopía Electrónica de Barrido (equipo JEOL JSM-5400) y análisis químico por energías dispersivas de Rayos X (analizador Oxford Link con detector Si/Li y ventana fina de Be) y determinación de la resistencia a flexión (equipo Suzpecar modelo SZ300) (8). Los resultados son tanto de tipo cuantitativo como cualitativos y característicos de cada muestra considerada y, en consecuencia, cada una de ellas queda así perfectamente descrita.

Como herramienta para la gestión y tratamiento de los resultados obtenidos con el concurso de las técnicas experimentales mencionadas, se ha optado por utilizar el programa ArcView como Sistema de Información Geográfica (SIG), por su uso generalizado (9,10), la familiarización con el mismo, formato de base de datos estándar, facilidad de consulta y de modificación dinámica. De acuerdo con estudios precedentes (1-3), se han diferenciado tres fases en el trabajo: construcción de la base de datos cartográfica (ortofotografía y cartografía de Andalucía E: 1/100.000), fusión de las bases de datos y depuración; finalmente, el desarrollo de la aplicación, según el esquema de la Figura 1.

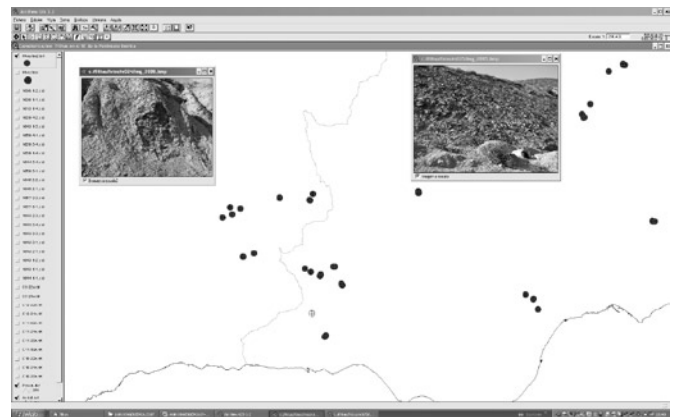


Figura 3: Detalle del SIG en el que se ilustran las imágenes captadas con cámara digital del lugar donde fueron tomadas las muestras de filitas, las cuales están vinculadas a las tomas de muestras (color amarillo).

En la primera fase se ha realizado la introducción de los datos cartográficos de Andalucía (E: 1/100.000) y de la ortofotografía digital de la Comunidad Autónoma de Andalucía del año 2005, publicada por la Junta de Andalucía (11). Posteriormente se procede a la localización en función de la ubicación del suceso mediante coordenadas UTM. Con estos registros se elaboró una tabla de datos para georreferenciación y se convirtió en un formato estándar (en este caso particular de tipo “.dbf”) con objeto de hacer posible la exportación de ficheros. A continuación se crea una única vista predefinida en la aplicación del SIG, utilizando como temas las hojas cartográficas de las zonas de muestreo y de las ortofotografías correspondientes a las referidas zonas, la tabla de eventos con datos de georreferenciación de las muestras.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Aplicación a la caracterización de materias primas utilizadas como impermeabilizantes y con potencial interés cerámico

El SIG desarrollado en esta investigación para la prospección y caracterización de materias primas, utilizadas desde hace tiempo como material impermeabilizante en las provincias de Almería y Granada. Alguna de ellas, en concreto, presenta potencial interés cerámico (12). Se puede visualizar como una base de datos denominada “Caracterización Filitas”, en la que aparecen todos los eventos identificados en dicha base de datos (marcados, en color azul, en la Figura 2). A su vez, en una nueva consulta realizada a la aplicación, a título de ejemplo, se muestran las imágenes captadas en el lugar de extracción de cada muestra en particular (Figura 3). De acuerdo con los resultados expuestos, ambas consultas ayudan a la interpretación del ámbito de trabajo del estudio de prospección y permiten conocer el terreno en el que se realizó la extracción de muestras.

Mediante las imágenes captadas se pueden observar el color y textura inalterada de estas materias primas en su zona de origen. Asimismo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el concurso de las técnicas instrumentales mencionadas (Fluorescencia y Difracción de Rayos X, etc.),

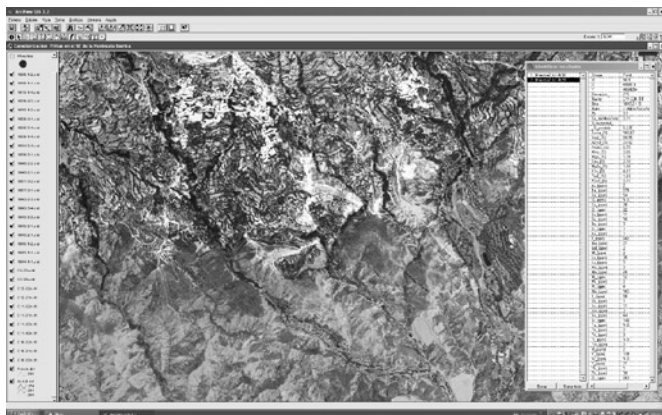


Figura 4: Detalle del SIG, en la ilustración se muestra los valores obtenidos para los diferentes parámetros químicos cuantificados en el estudio en la tabla que figura en la parte derecha de la Vista. Cada punto de muestreo (color azul) tiene vinculada una tabla con los registros de su composición química y mineralógica.

la gestión y tratamiento de estos datos almacenados en el SIG permite visualizar la composición química (cuantitativa, elementos mayoritarios en porcentaje en peso y a nivel de trazas en ppm) y mineralógica (porcentaje relativo semicuantitativo de fases cristalinas identificadas) de todas las muestras. Para ello, se marca dos veces sobre los puntos (de color azul) que aparecen en la vista de la aplicación (Figura 4).

Otra aplicación que se ha introducido en el SIG es la de enlazar, mediante un “Script”, las imágenes obtenidas de cada muestra mediante aplicación de la microscopía electrónica de barrido (imágenes a distintos aumentos representativas de las muestras) y los análisis químicos por energías dispersivas de Rayos X (espectros generales y algunas adquisiciones puntuales), como se ilustra en la Fig. 5 con un ejemplo. No es esencial, pero es importante disponer de la mayor cantidad de datos para cada muestra, siendo estos datos de microscopía y microanalíticos más que nada complementarios a otros, pues no siempre se dispone de acceso a estos equipos. En este sentido, son imprescindibles los resultados analíticos de Fluorescencia de Rayos X, que suministran valiosa información de las características químicas en su conjunto y, además, los datos mineralógicos (semicuantitativos) obtenidos por tratamiento de los difractogramas de Rayos X.

Asimismo, es de interés resaltar que se pueden hacer grupos de muestras con una composición química similar: para ello el SIG le damos un criterio de selección, por ejemplo, que el contenido en óxido de hierro de esta materia prima expresado como  $Fe_2O_3$  (% en peso) supere a un valor prefijado: sea éste 4.39; al introducir esta condición (Figura 6), la aplicación automáticamente marca en color (en este caso, amarillo) todas las muestras que cumplen esa condición. De este modo se puede ilustrar la utilidad del SIG a la hora de caracterizar y seleccionar una determinada materia prima con potencial interés cerámico basándose en el contenido en un componente, en este caso el óxido de hierro pero puede ser el contenido en elementos alcalinos o en azufre, por ejemplo, dada su influencia en el medioambiente.

También se puede seleccionar una determinada materia prima en función de su contenido en minerales, por ejemplo caolinita y/o illita o bien contenido en cuarzo, lo cual es de interés a la hora de la preparación de pastas cerámicas. En este caso, los datos mineralógicos han de ser lo más

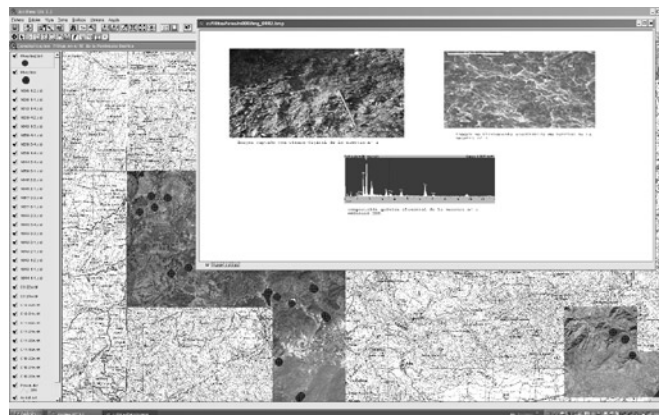


Figura 5: Detalle del SIG, en el que se vincula de izquierda a derecha la información gráfica del lugar de muestreo, detalle gráfico mediante microscopía electrónica de barrido de la muestra n° 1 (color amarillo) y en la parte inferior se vincula la gráfica de composición química elemental de la referida muestra mediante EDX y el difractograma.

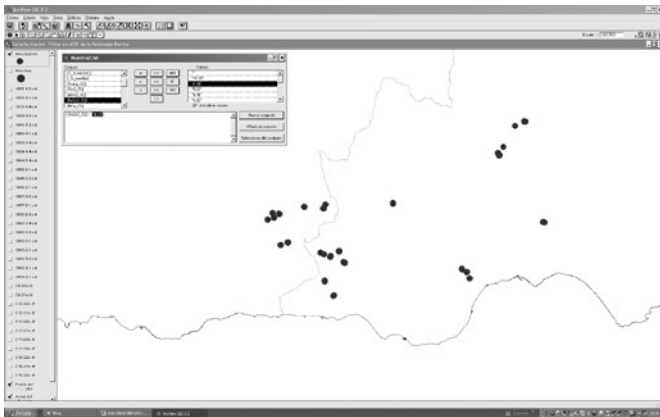


Figura 6: Detalle del SIG en la que en la vista principal aparece una ventana con los campos donde se selecciona el parámetro a analizar junto a los valores del conjunto de datos que se almacena en la tabla.

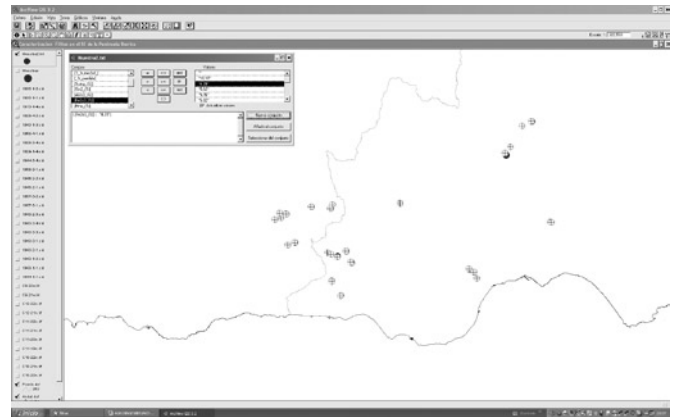


Figura 7: Detalle de las muestras que cumplen con un contenido de  $Fe_2O_3$  (%) > 4,39 (color amarillo).

fiable posible y es imprescindible, sin lugar a dudas, una determinación cuantitativa por Difracción de Rayos X con patrones adecuados empleando alguno de los métodos aceptados y/o contrastados.

Por consiguiente, es necesario y suficiente que los resultados de los análisis (químicos y mineralógicos) llevados a cabo por distintas técnicas instrumentales sean lo suficientemente representativos y con el grado de confianza que permitan su utilización como datos relevantes en el SIG.

### 3.2 Aplicación a las canteras de caliza y mármol

El SIG desarrollado en este ejemplo concreto se ha restringido a una zona de interés donde existen varias canteras de piedra caliza y mármol, en particular para la comarca de Macael, y que presenta interés para el sector de la Cerámica y Vidrio, además de ser materiales ornamentales y de construcción muy apreciados.

A partir de estos datos, se observa entonces que la red de viales (caminos y vías) existente cuenta con muchas curvas y, en algunas canteras, se carece de viales permanentes, lo que

encarece enormemente los costes de explotación (Figs. 8 y 9). Igualmente, si entramos en un punto de muestreo, se pueden saber los contenidos estimados de caliza (carbonato de calcio  $CaCO_3$ ), Calcio, Magnesio, Dolomita  $MgCa(CO_3)_2$  e incluso el valor máximo de la resistencia mecánica a la flexión (Fig. 10).

Además, en cuanto a las propiedades, particularizando en las propiedades mecánicas, puede indicarse que la utilidad de este sistema es tal que a cada punto se le relaciona un gráfico de las probetas rotas a flexión, junto con los diagramas de rotura y el valor del máximo de resistencia a la flexión. Se incluye también una tabla de datos que permite dimensionar tanto pavimentos exteriores, interiores y baldosas (por ejemplo, con formato utilizado en la construcción de escaleras) utilizando el valor máximo de resistencia a la flexión de las probetas ensayadas (Fig. 11). De este modo, se puede comprobar que los materiales destinados para pavimentos interiores y en las baldosas, el espesor comercial está siempre por encima del espesor de cálculo. Sin embargo, para pavimentos exteriores se registran valores de cálculo superiores al espesor comercial. En consecuencia, esto implicaría un alto riesgo de producirse rotura a flexión a igualdad de otros factores.

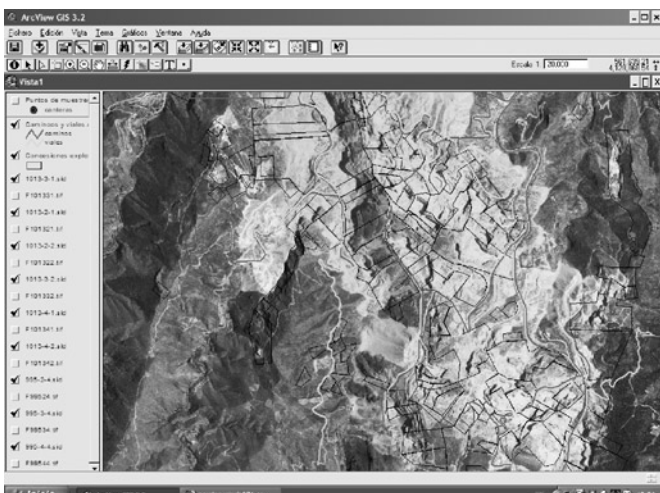


Figura 8: Localización mediante SIG de los caminos y concesiones de explotación utilizados para la extracción de mármol blanco.

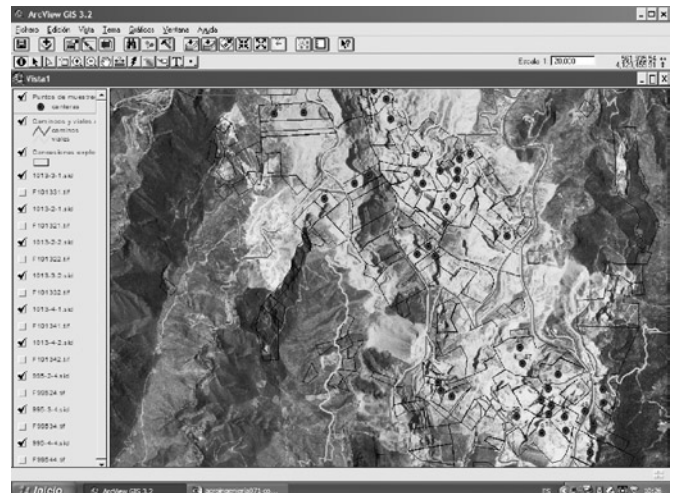


Figura 9: Localización mediante SIG de los puntos de muestreo (de color azul).

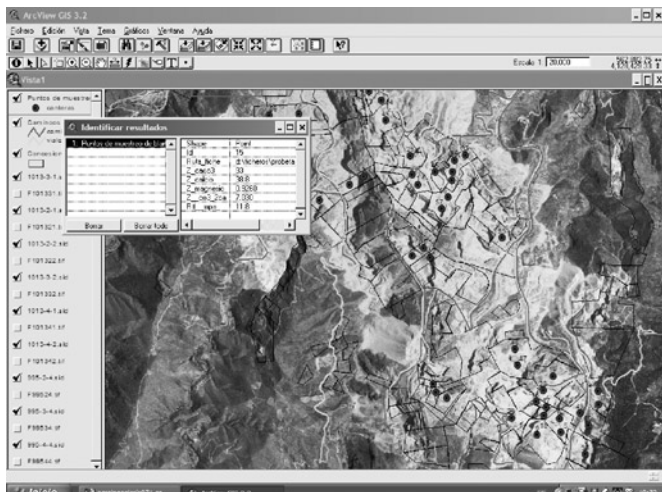


Figura 10: Detalle del SIG, dónde se muestra los valores registrados para los diferentes parámetros estudiados y vinculados a un punto determinado.

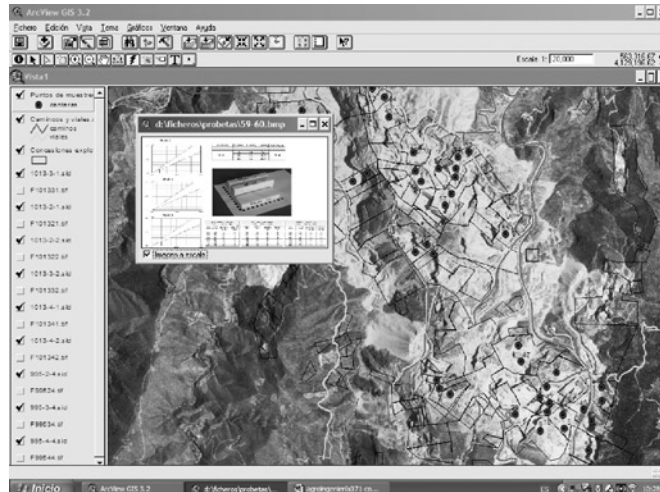


Figura 11: Detalle del SIG, dónde se muestran las gráficas del ensayo de resistencia a flexión, fotos de las muestras y dimensionado de pavimentos, vinculados a un punto determinado.

Por último, como en el ejemplo del apartado anterior, el SIG desarrollado permite hacer grupos con el mismo contenido o nivel de carbonato de calcio, Mg, Ca, dolomita o incluso de valores máximos de resistencia mecánica flexión (Figs. 12 y 13). Según los resultados obtenidos, se deduce que todas las muestras superan el 50% de carbonato de calcio, lo que divide las rocas carbonatadas en calizas y dolomías según Norma (13). Por tanto, en este caso se trata de calizas con un contenido de calcita entre el 50-100%.

Igualmente, se puede observar que la mayor parte de las canteras superan el 90% de  $\text{CaCO}_3$ , salvo en la cantera número 10 donde se registró un contenido del 52% de calcita que, además, vino acompañado de un aumento en el de dolomita. Asimismo, otro resultado de interés que merece mencionarse es que no se ha encontrado ninguna correlación entre la composición química y la resistencia máxima a flexión de las muestras estudiadas.

#### 4. CONCLUSIONES GENERALES

De este estudio se concluye que el SIG se convierte en una herramienta viva, a la que se le pueden ir incorporando nuevos datos, como son puntos de muestreo, resultados de ensayos y determinaciones realizadas con las muestras, vías y caminos nuevos, empresas que poseen la concesión, etc., como ha quedado expuesto con los ejemplos descritos, lo que permite una explotación mucho más racional y eficiente desde los puntos de vista técnico, medioambiental y económico.

Asimismo, el SIG desarrollado para la caracterización de materias primas de interés en el sector de la Cerámica y el Vidrio sirve, y está sirviendo, para divulgar los resultados entre distintos colectivos sociales, como son los empresarios de materias primas y de industrias auxiliares. En consecuencia, se deduce un claro interés del método de trabajo propuesto, con utilidad para investigadores, tecnólogos y empresarios del ámbito que se ocupan de la valorización de materias primas de aplicación en la preparación de materiales de este sector.

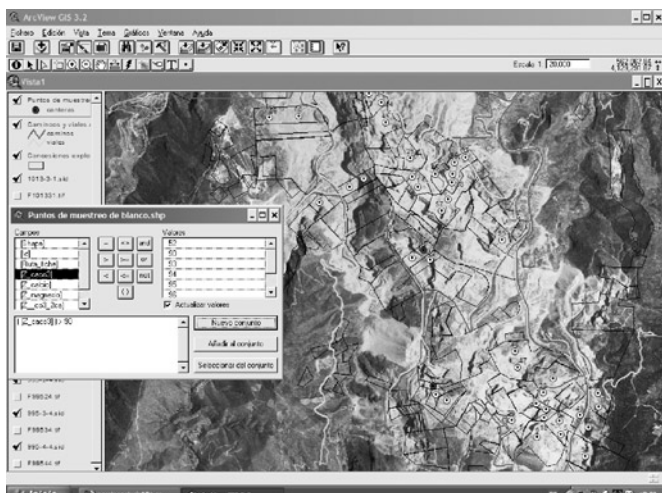


Figura 12: Puntos de muestreo dónde los contenidos de  $\text{CaCO}_3 > 90$  (puntos amarillos).

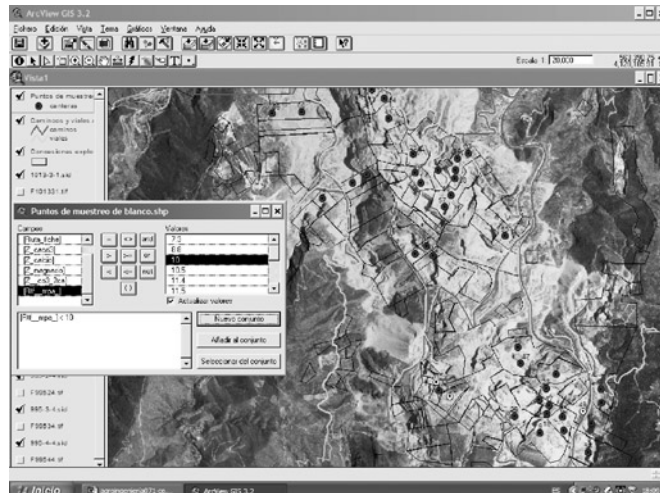


Figura 13: Puntos de muestreo dónde la resistencia máxima a flexión < 10 (color amarillo).

## AGRADECIMIENTO

Se agradece el apoyo económico de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía a los grupos de investigación y desarrollo tecnológico AGR 107 y TEP 204 que ha facilitado la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. J. Peña. "Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio". Editorial ECU, Alicante 2006.
2. J.R. Figueira, U. Fra, I. Rodríguez, A. Romero. "Aplicación de los SIG para la gestión de datos de inundaciones históricas en Extremadura (SIGIHEX)". Mapping 6 10-12 (2007).
3. M.T. Tena, J.A. Gutiérrez, E. Martín. "Aplicación de un SIG a la cartografía regional de Áreas con parámetros físico-geológicos y usos de una Cuenca experimental (Provincia de Cáceres)". Mapping 7 64-68 (2007).
4. A. Martín, R. Aguilar, V. Domínguez, J.M. González, M.E. Morón, E. Torres. "Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al estudio de edificios patrimoniales. Caso práctico: Actuación en el humilladero de San Onofre y su entorno, San Jerónimo, Sevilla". [www.cartesia.org/geodoc/ingegraf2005/gis16.pdf](http://www.cartesia.org/geodoc/ingegraf2005/gis16.pdf) 2005
5. J.M. Edeso, P. Marauri, A. Merino. "Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales: Mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión". Lurralde 18 257-291 (1995).
6. M<sup>a</sup>.M. Alemany, A. Ortiz, F. Alarcón, F.C. Lario, M.A. Bengoechea. "El proceso de comprometer pedidos de productos integrado por productos del sector cerámico y productos complementarios: Parte II Descripción de la metodología de solución". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 46 [1] 29-38 (2007).
7. Mapas Geológicos de España, escala 1:50.000 (Magna 50). Catalogo de productos cartográficos digitales. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid 2006.
8. UNE-EN 12372. "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada". AENOR, Madrid 2007.
9. ESRI Inc. ArcView Gis. "Introducing ArcView Gis". ESRI Redland 1994.
10. ESRI Inc. ArcView Gis. "Using ArcView Gis". ESRI Redland 1996.
11. Datos Cartográficos de Andalucía, escala 1:100.000 y de la ortofotografía digital de la Comunidad Autónoma de Andalucía, Junta de Andalucía 2005.
12. E. Garzón, I. García, R. Bono, A. Ruiz-Conde, P. Sánchez-Soto. "Composición y propiedades tecnológicas de las filitas de un yacimiento de Berja". Cerámica Información 341 43-55.
13. UNE 22181. "Mármoles y calizas ornamentales. Clasificación". AENOR, Madrid 1985

Recibido: 04/07/2008

Aceptado: 14/01/2009

