



Acta Universitaria

ISSN: 0188-6266

actauniversitaria@ugto.mx

Universidad de Guanajuato

México

Ramos Ramírez, Esthela; Guzmán Andrade, Juan José; Sandoval Juárez, Ma. Carmen; Gallaga  
Ortega, Yolanda

Caracterización de arcillas del Estado de Guanajuato y su potencial aplicación en cerámica

Acta Universitaria, vol. 12, núm. 1, abril, 2002, pp. 23-30

Universidad de Guanajuato

Guanajuato, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41612102>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Guanajuato, Gto., México

## RESUMEN / ABSTRACT

La industria cerámica es una actividad muy importante en varios municipios del estado de Guanajuato, donde se mantiene una gran demanda de arcillas como materia prima para la formulación de pastas en la manufactura de productos cerámicos utilitarios y ornamentales. Tradicionalmente han existido evidencias de yacimientos importantes de arcillas de calidad cerámica en el estado de Guanajuato, pero aún no han sido completamente caracterizados y cuantificados. Así, considerando la importancia de esta materia prima para la industria cerámica de la región, y las dificultades para disponer de materiales cerámicos comerciales de calidad a bajo costo, el *Centro de Investigaciones en Química Inorgánica* y la *Dirección de Fomento Minero del Estado de Guanajuato*, establecieron un proyecto de colaboración, enfocado al estudio de yacimientos seleccionados, contemplando los siguientes aspectos: caracterización de las arcillas, evaluación de sus propiedades cerámicas, y cálculo de las reservas existentes. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización química y mineralógica de arcillas de zonas seleccionadas de muestreo. Los resultados fueron relacionados con respecto a los valores obtenidos en la caracterización de pastas comerciales típicamente utilizados por el gremio ceramista, para establecer una estimación inicial sobre el potencial real de los depósitos de arcillas estudiados.

The ceramic industry is a very important activity in several municipalities of the state of Guanajuato, where a significant and constant demand is kept for clay as raw material to formulate pastes used in the manufacturing of utilitarian and ornamental ceramic products. Traditionally, there have existed evidences about important clay deposits in the state of Guanajuato with suitable ceramic properties, which have not been completely characterized or quantified. Thus, considering the relevance of this raw materials to the ceramic industry in the region, as well as the difficulties to dispose of ceramic commercial materials with high and homogeneous quality at a low cost, the *Centro de Investigaciones en Química Inorgánica* and the *Dirección de Fomento Minero del Estado de Guanajuato* established a collaborating project focused on the study of the selected clay deposits and taking into account the following aspects: clay characterization, evaluation of the ceramic properties and calculation of the existing reserves. In this paper the results of the chemical and mineralogical characterization of the clays in the selected zone samples are presented. The results were reviewed with respect to the obtained values in the characterization of the commercial pastes ordinarily used by the potters in order to establish an initial estimation about the real potential of the clay deposits studied.

# Caracterización de Arcillas del Estado de Guanajuato y su Potencial Aplicación en Cerámica

Esthela Ramos Ramírez\*, Juan José Guzmán Andrade\*, Ma. Carmen Sandoval Juárez\* y Yolanda Gallaga Ortega\*

## INTRODUCCIÓN

**L**a arcilla ha sido un material de gran importancia a lo largo de la historia; el mismo origen del hombre está asociado a un cuerpo cerámico de barro y un soplo divino de vida. El primer emperador chino Qin Shih Huang Di (246 A.C.) estaba obsesionado con la inmortalidad y tal vez no estaba del todo en buenos términos con su conciencia, ya que mandó elaborar un ejército de alrededor de 6000 guerreros de terracota de tamaño natural, además de caballos y carros de guerra, para que vigilaran su sueño eterno en un impresionante mausoleo imperial subterráneo. Todas las piezas, cada una única en su diseño, fueron elaboradas con la misma mezcla de arcillas de la Provincia de Shaanxi, al noroeste de China. La notable disposición de los asirios por transmitir información hace ya más de 2600 años, se hizo patente en la construcción de bibliotecas con un registro de tabletas de arcilla en escritura cuneiforme, aprovechando materia prima de la Mesopotamia. El conocimiento de los materiales y procesos cerámicos se fueron mejorando a través de los años y se fueron aplicando en la elaboración de objetos utilitarios y ornamentales, desde tabiques estructurales y baldosas hasta tibores de porcelana con decorados exquisitos. En China, se dio un proceso de tradición en el perfeccionamiento de técnicas y manejo de materias primas, que contando además con la disponibilidad de caolín de alta calidad, condujo al origen de la porcelana, alcanzando un esplendor en el período Ming, entre los siglos XIV y XVII (S. Jenyns, 1988), que influyó notoriamente en el desarrollo de la cerámica en Europa, y ya en el siglo XIX, los talleres de Sèvres en Francia, dictaban los avances artísticos y técnicos (S. Eriksen, 1987; D. Cohen, 1993).

\* Centro de Investigaciones en Química Inorgánica, Universidad de Guanajuato, Unidad Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto., 36050.  
E-mail: ramosre@uijote.ugto.mx.

Recibido: 18 de Julio de 2001

Aceptado: 1 de Octubre de 2001

**PALABRAS CLAVE:** Arcillas, Yacimientos, Caracterización, Cerámica.

**KEYWORDS:** Clays, Deposits, Characterization, Pottery.

En el México precolonial se tenía conocimiento de materias primas y técnicas para la elaboración de diversos objetos de barro, como utensilios de cocina, ofrendas funerarias, figuras religiosas, pipas, máscaras y diversas figurillas ornamentales. En la época colonial se fueron importando las técnicas y estilos de la cerámica española, de los cuales sobresalía la loza de Talavera de la Reina, en Toledo, caracterizada por piezas vidriadas de estilizado hispanoamericano, con un colorido y lustre particular (A. Bonet Correa, 1982), que se adoptó en el estado de Puebla a mediados del siglo XVI y posteriormente se desarrolló en otros estados, como el de Guanajuato, introduciendo gradualmente nuevos motivos propios de la creatividad del mestizaje, patentes en los decorados de cocinas, cúpulas, fachadas de casas, iglesias y conventos, así como en diversos utensilios utilitarios y decorativos (G. López Cervantes, 1983).

Actualmente, la actividad ceramista en el estado de Guanajuato mantiene niveles variables de desarrollo en los distintos municipios dedicados a esta actividad, observándose diferencias con respecto a calidad, demanda y producción, así como en la capacidad para disponer de materias primas, infraestructura, recursos humanos especializados, innovación permanente, y acceso a recursos financieros entre otros aspectos.

El estado de Guanajuato tiene una superficie de 30,598 km<sup>2</sup> en la que, de acuerdo a la Dirección de Fomento Minero del Estado, se cuenta con gran diversidad mineralógica, distribuida en las zonas fisiográficas de la Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico. Este ambiente geológico da a la entidad una superficie mínima del 40% con posibilidades de contar con yacimientos minerales susceptibles de explotación, y un potencial para proveer de insumos básicos a la industria cerámica del estado de Guanajuato (Reporte Interno, 1990). En la actualidad los artesanos de la región adquieren la mayor parte de su suministro de otras entidades del país o del extranjero.

En este contexto, el *Centro de Investigaciones en Química Inorgánica (CIQI)*, conjuntamente

con la *Dirección de Fomento Minero* del estado y en contacto con los ceramistas de la región, a instancias de una convocatoria de vinculación sectorial extendida por el *Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato*, establecieron el planteamiento de un proyecto para la caracterización y clasificación de arcillas en el estado de Guanajuato y su aplicación en la industria cerámica, contemplando impactar en los siguientes aspectos: a) disponibilidad próxima de arcillas de calidad cerámica, b) disminución de costos de producción, c) aumento en la calidad (reproducible) de los productos terminados.

Con estos objetivos en mente, en la metodología se estableció la distribución de funciones de acuerdo a las características de las instituciones participantes. De esta forma, a la Dirección de Fomento Minero se le asignó la localización de yacimientos de arcillas, procesos de muestreo, cuantificación de reservas, revisión de aspectos legales para explotación y factores de impacto ecológico. Al CIQI le correspondió la caracterización química y mineralógica de las muestras de arcilla, estudios comparativos entre arcillas naturales y formulaciones comerciales, propuestas de tratamientos para el beneficio de arcillas y formulación de pastas. Asimismo, la evaluación de las pastas formuladas mediante la caracterización química, física y mineralógica de cuerpos cerámicos, antes y después de los procesos de quemado.

Por su parte, el sector ceramista se comprometió a proporcionar muestras representativas de los materiales comerciales utilizados para la formulación de pastas en sus procesos, así como a realizar la experimentación de moldeo, secado, acabado y quemado, utilizando las arcillas de la región en nuevas formulaciones. En la Figura 1, se muestra un diagrama de flujo indicando las etapas relacionadas con la caracterización de las arcillas de las zonas seleccionadas, hasta la identificación de arcillas de calidad cerámica confirmada.

La arcilla no es un material específicamente definido, ya que se encuentra constituido por varios tipos de minerales en diversas proporciones, lo que hace necesario su caracterización



**Figura 1.** Diagrama de flujo con las etapas para la identificación y selección de arcillas regionales de calidad cerámica.

para establecer la formulación de pastas que cumplan los requisitos físicos, químicos y mineralógicos considerados en los procesos cerámicos. La arcilla es una materia prima básica para la industria cerámica, junto con el caolín, la sílice, feldespatos y aditivos alcalinos y alcalinotérreos modificadores de fundencia (Grimshaw, 1971; R. Rodríguez Ripolles, 2000).

En el presente trabajo se incluyen los resultados obtenidos de la caracterización química y mineralógica de muestras de arcillas provenientes de yacimientos ubicados en municipios del este y noreste del estado de Guanajuato: Victoria, Xichú, Dr. Mora, Dolores Hidalgo, San Luis de la Paz, Guanajuato y Comonfort, zonas próximas a centros de importante actividad cerámista industrial y artesanal en la región. Asimismo, se presenta el análisis de los resultados de la caracterización de las muestras de arcillas, con referencia a los valores obtenidos de la caracterización química de pastas cerámicas comerciales típicamente utilizadas por los gremios ceramistas de la región, como argumento para el establecimiento de criterios sobre el potencial de los depósitos de arcillas estudiados.

En la Figura 2, se incluye el mapa del estado de Guanajuato, indicando los municipios considerados en el programa global de muestreo. Las arcillas estudiadas correspondieron a depósitos pre-seleccionados de los municipios sombreados en el mapa.



**Figura 2.** Municipios programados para muestreo de arci-llas de yacimientos en el estado de Guanajuato.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

Para el muestreo de los yacimientos de arci-llas, la Dirección de Fomento Minero del Esta-dío de Guanajuato, estableció un programa esta-dístico, zonificado en extensión y profundidad, bajo criterios de orden geológico.

En la etapa preparativa, las muestras de arcillas se sometieron a procesos de cuarteo, trituración, molienda y clasificación de tamaño a -200 mallas (Tyler).

Se realizó un muestreo de arcillas y caolines comerciales para la formulación de pastas, en talleres ceramistas seleccionados de la región. Se consideraron muestras de pastas para la preparación de azulejo, loseta, loza de cocina y cerámica ornamental (jarones, platones, tibores).

Para la caracterización química y mineralógica, las muestras fueron analizadas por las siguientes técnicas:

Espectrometría de absorción atómica. Equipo Perkin Elmer 503, utilizando lámparas de



Yacimiento de Arcilla de calidad cerámica de la Zona Norte del Estado de Guanajuato.



Yacimiento de Arcilla de calidad cerámica de la Zona Norte del Estado de Guanajuato.

cátodo hueco de calcio, hierro, sílice, aluminio, sodio, potasio y magnesio. Las arcillas tamizadas se secaron a 110°C, se pesaron cantidades definidas y se mezclaron con ácido bórico y carbonato de litio en crisoles de platino, para fundir a 950°C. El vidrio formado se disolvió en ácido nítrico al 10% y la solución se aforó a un volumen de 250 mL. Las soluciones patrón

se prepararon a partir de estándares Merck de 1000 mg/L, haciendo las diluciones convenientes por elemento, para establecer la calibración del aparato.

#### Difracción de rayos-X (DRX).

Difractómetro de polvos Siemens D500, analizando las muestras de arcilla en el intervalo de ángulo  $2\theta$  entre 5° y 80°, con radiación CuK $\alpha$ , a 30 kV y 2°/min.

Análisis térmico. Analizador simultáneo de análisis térmico gravimétrico (TGA) y diferencial (DTA) SDT2960, TA Instruments. Los análisis se realizaron en atmósfera de nitrógeno, aumentando la temperatura hasta 1000°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Para el DTA se utilizó alúmina como referencia.

## RESULTADOS

### Pastas comerciales:

En la Tabla 1, se indica los intervalos de la composición química fundamental de las pastas cerámicas comerciales analizadas. Por su parte, en la Tabla 2, se incluye el balance mineralógico de las muestras de pastas comerciales de uso frecuente, indicando las especies minerales presentes en las pastas y los intervalos de composición correspondientes.

Dentro de las materias primas comerciales, usadas en volúmenes significativos por el sector ceramista, se identificaron productos ricos en caolín, tipo "Arcilla de Bola" ("Ball Clay"), a los que se les determinó la siguiente composición mineralógica promedio: caolín (65%), sílice (25%), muscovita (8%), feldespatos (1%), hierro (< 1%).

### Arcillas naturales

El análisis químico de las muestras de arcilla de cuatro yacimientos del municipio de Victoria (V1, V2, V3, V4), un yacimiento de Xichú (X), dos de San Luis de la Paz (SP1, SP2), uno de Dr. Mora (MO), tres del municipio de Guanajuato (G1, G2, G3) y uno del municipio

**Tabla 1.** Composición química de pastas cerámicas comerciales.

Componente	% w/w
SiO <sub>2</sub>	48.0 a 60.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.0 a 30.0
CaO	0.3 a 9.5
MgO	0.6 a 13.0
Na <sub>2</sub> O	0.1 a 0.3
K <sub>2</sub> O	0.3 a 1.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3 a 1.0
Ppc a 550°C	4.0 a 6.0
Ppc 550-950°C	7.0 a 12.0

**Tabla 2.** Balance mineralógico de las muestras de pastas cerámicas comerciales.

Mineral	% w/w
Talco	28.0 a 35.0
Caolín	30.0 a 43.0
Sílice	12.0 a 17.0
Carbonatos (Ca + Mg)	15.0 a 21.0
Feldespatos	0.5 a 1.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3

de Dolores Hidalgo (DH), indicaron los valores representativos incluidos en la Tabla 3.

En la Tabla 4, se presentan los resultados del balance mineralógico de las muestras de arcillas de los mismos yacimientos mencionados en el párrafo anterior. Los valores se obtuvieron a partir de los resultados de DRX y de análisis térmico diferencial y termogravimétrico (bandas endotérmicas de deshidroxilación de las fases arcillosas).

Para el municipio de Comonfort se realizó el muestreo de dos zonas, que fueron identificadas

como COM A y COM B. En la siguiente tabla 5, se presentan los resultados representativos de la composición química de las muestras de arcillas analizadas.

A continuación, en la Tabla 6, se incluyen los resultados del balance mineralógico correspondiente para las muestras de arcillas COM A y COM B.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la formulación de pastas se combinan varias especies, incluyendo a las arcillas, constituidas por varios tipos de minerales, principalmente silicatos de aluminio hidratado, en composiciones variables. En las pastas, el caolín y las arcillas aportan sus propiedades plástica; el cuarzo actúa como desengrasante, evitando contracciones y deformaciones del volumen en el cuerpo cerámico; los feldespatos y compuestos de calcio y magnesio, como talco, dolomita y calcarita, entre otros, que actúan como modificadores de fundencia, disminuyendo el punto eutéctico, es decir, la temperatura a la que funde la mezcla de la pasta cerámica en el horno (R. Rodríguez Repolles, 2000).

Los depósitos de arcillas pueden estar constituidos de arcillas *residuales* o *sedimentarias*. En el primer caso se trata de rocas ígneas que no han sufrido procesos importantes de alteración, y en el segundo caso, los minerales han sido transportados y expuestos a condiciones ambientales de degradación hasta la *caolinización*,

**Tabla 3.** Resultados de la composición química representativa de los yacimientos de los municipios de Victoria (V), Xichú (X), San Luis de la Paz (SP), Dr. Mora (MO), Guanajuato (G) y Dolores Hidalgo (DH).

COMPONENTE	% (w/w)											
	V1	V2	V3	V4	X	SP1	SP2	MO	G1	G2	G3	DH
SiO <sub>2</sub>	68.5	73.0	60.5	69.0	65.0	70.0	52.0	48.0	55.8	78.2	50.6	70.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.0	14.5	27.0	15.0	14.5	15.7	11.0	16.5	25.7	13.7	30.9	17.2
CaO	0.1	0.1	0.1	0.5	2.0	0.2	13.5	12.5	0.3	0.1	0.5	0.3
MgO	1.0	0.6	1.5	2.0	1.0	0.6	1.3	2.0	0.8	0.8	0.5	1.4
Na <sub>2</sub> O	0.3	0.3	0.1	2.5	3.8	0.1	0.1	0.5	0.8	0.2	0.1	0.4
K <sub>2</sub> O	5.0	3.5	3.5	5.5	4.0	3.0	4.0	3.0	1.9	2.9	1.0	5.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	3.5	1.5	3.0	7.5	5.1	5.0	4.5	7.4	1.7	4.5	2.2
Ppc (950°C)	4.5	4.3	5.5	2.5	2.2	5.1	13.0	13.0	7.5	2.4	11.8	3.2
TOTAL	99.9	99.8	99.7	100.0	100.0	99.8	99.9	100.0	100.2	100.0	99.9	100.8

**Tabla 4.** Resultados del balance mineralógico representativo de los yacimientos de los municipios de Victoria (V), Xichú (X), San Luis de la Paz (SP), Dr. Mora (MO), Guanajuato (G) y Dolores Hidalgo (DH).

MINERAL	% (w/w)											
	V1	V2	V3	V4	X	SP1	SP2	MO	G1	G2	G3	DH
Cuarzo	45	55	37	24	21.5	51	30	23.5	21.1	61.9	11.7	36.6
Caolín	5.5-7.5	7.5-10	28	9.5	-	14	12	7	37.6	7.9	69.7	2.1
Muscovita	40-46	26-29	29	-	-	25.5	31	25.5	16.0	24.5	8.4	44.8
Feldespatos	2.5-3.5	1.5-4.5	1.5	53	64	2.0	-	4.5	6.8	2.1	-	3.2
Calcita	0-2.5	0-1	-	-	-	1.3	21.5	21.5	-	-	-	-
Montmorillonita	+	+	-	-	-	-	-	8.5	5.9	-	4.0	8.6
Clorita	0-1.8	0-1.5	3.0	7	3.0	-	-	3	3.9	1.8	-	2.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-2	1.5-4	1.5	3	7.5	5	5.0	4.5	7.4	1.7	4.5	2.2

**Tabla 5.** Composición química de las arcillas de los yacimientos de Comonfort.

Componente	% w/w	
	COM A	COM B
SiO <sub>2</sub>	60.0	48.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.5	38.0
CaO	0.3	0.3
MgO	0.3	0.5
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.1
K <sub>2</sub> O	0.2	0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.1
Ppc 100-600°C	5.0	11.5
Ppc 600-950°C	5.2	1.5
TOTAL	100.6	100.2

**Tabla 6.** Balance mineralógico de las arcillas de los yacimientos de Comonfort.

Mineral	% w/w	
	COM A	COM B
Caolinita	35.7	82.1
Dickita	36.4	11.4
Cuarzo sílice	23.9	2.5
Mica potásica	-	-
Tipo clorita	0.5	0.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.1
Feldespatos (Na, K, y Ca)	3.6	3.6
TOTAL	100.1	100.6

factores que determinan la calidad de las arcillas como material cerámico (Grimshaw, 1971).

En términos muy amplios, la formulación de pastas se realiza para la elaboración de alfarería, o terracota, y de loza. En este sentido, para la alfarería se considera un cuerpo rojo o amarillento de textura porosa, mientras que para la loza se trata de un cuerpo blanco, cuya textura puede ir desde porosa hasta vitrificada, es decir, loza de calidad de *gres*, *refractaria*, o *porcelana*.

Además de los tipos de arcillas, la temperatura y las condiciones de cocción son factores fundamentales para la elaboración de los distintos tipos de artículos cerámicos (Worral, 1975).

En las pastas comerciales analizadas se determinó la combinación de varias especies mineralógicas en proporciones diferentes: caolinita, talco, cuarzo, dolomita, calcita y feldespatos. Las cantidades de SiO<sub>2</sub> se distribuyeron básicamente entre cuarzo, caolín y talco (silicato de magnesio) y el contenido de aluminio le correspondió prácticamente al caolín. Los valores de feldespatos fueron bajos, así como el contenido de hierro. Por su parte, los porcentajes de calcio y magnesio resultaron altos, correspondiendo a calcita y dolomita, si bien una proporción del magnesio se atribuyó al talco, adicionado a la formulación como modificador de fundición (Norton, 1970).

Estos materiales son utilizados para preparar pastas cerámicas mezclando empíricamente con arcillas naturales, a fin de aportar plasticidad y resistencia a los cuerpos cerámicos mediante el ajuste del contenido de caolinita, así como la disminución de los puntos de fusión por la presencia de calcio y magnesio, y un efecto estabilizante de volumen mediante el cuarzo. De esta forma, si estos materiales comerciales se mezclan con arcillas naturales de la región con bajo contenido de hierro, será posible la obtención de cuerpos cerámicos blancos (Lawrence, 1972; Nelson, 1982; Ford, 1967).

Las muestras del municipio de Comonfort, se reportaron aparte, debido a sus leyes altas de

caolín, de 93.5% para la COM B y de 72% para la COM A. Es importante mencionar que las fases reportadas, caolinita y dickita, son del mismo grupo del caolín, con la misma composición química, pero diferente estructura y estabilidad térmica. En cerámica es necesario considerar esta diferencia, particularmente en el primer quemado (bizcocho), ya que la caolinita pierde su agua de composición entre 500 y 600°C y la dickita en el intervalo de 650 y 700°C y si no se controla la velocidad de calentamiento, se producen burbujas o agrietamientos en los cuerpos cerámicos (Grimshaw, 1971). En estos materiales, la baja concentración de hierro es una ventaja para la preparación de cuerpos blancos.



Piezas Ornamentales del Estado de Guanajuato.

Las muestras de los yacimientos del municipio de Victoria tienen bajo contenido de caolinita y la mayor parte de la sílice está asociada con cuarzo. Las pérdidas de peso por calcinación a 950°C son relativamente bajas y los valores bajos de alúmina indican arcillas no caolinizadas. Es interesante la muestra V3 con 28% de caolín, si bien el contenido de cuarzo y de mica muscovita son altos. La muestra V4 presentó un contenido muy alto de feldespato (53%) relacionado con los contenidos altos de sodio y potasio (albita, ortoclasa y microclina) (JCPDS, 1983; Parthé, 1984). La muestra del municipio de Xichú (X) indicó también un alto contenido de feldespato (64%). La muestra no incluyó caolín y resultó más bien una muy interesante arenilla feldespática.



Productos Cerámicos del Estado de Guanajuato.

Las muestras de San Luis de la Paz (SP1 Y SP2) y Dr. Mora (MO) presentaron valores altos de cuarzo y moderadamente bajos de caolín. Las muestras SP2 y MO en particular fueron las únicas con valores importantes de calcita.

De las muestras del municipio de Guanajuato, la G3 se significó por su contenido de caolín (69.7%) que le aporta potencial como material cerámico. Por su parte, la muestra de Dolores Hidalgo (DH) está poco caolinizada y presentó un valor alto de muscovita.

De los resultados anteriores se derivaron las siguientes conclusiones.

## CONCLUSIONES

- ◆ A partir de los resultados presentados no se derivan criterios definitivos, puesto que los estudios deben complementarse con análisis de textura y pruebas físicas de cuerpos cerámicos elaborados con las arcillas muestreadas.
- ◆ De acuerdo a criterios químicos y minerales, en lo general las muestras analizadas no pueden utilizarse solas para la formación de pastas cerámicas, debido a su bajo contenido de material caolinítico. La muestra G3 puede ser una excepción. Sin embargo, es factible ajustar las propiedades mediante adición de caolines de alta ley, utilizando los materiales estudiados de los municipios de Comonfort.

- ◆ En general, las arcillas de los municipios del noreste incluyeron feldespatos, especies adicionadas a las pastas como modificadores de fundencia. En particular, las muestras V4 y X resultaron con contenidos significativamente altos en feldespatos.
- ◆ Asimismo, las arcillas presentaron contenidos moderadamente bajos de hierro, aspecto deseable para la elaboración de cuerpos cerámicos blancos.
- ◆ Las arcillas del municipio de Comonfort presentaron buena ley de caolín, por lo que se estima probable un buen comportamiento plástico (arcillas tipo "Ball Clay"), teniendo cuidado con los procesos de primer quemado por la presencia de dickita.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al *Ing. Jesús Franco Ibarra* y a la *Dirección de Fomento Minero*, responsables de los programas de muestreo de arcillas. Asimismo, al *CONCYTEG* y a la *Secretaría de Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Guanajuato* por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto. Agradecemos también la valiosa colaboración del *Dr. Gabriel Solana Espinosa* y de la *Ing. Quím. Veridiana Reyes Zamudio*.

## REFERENCIAS

- S. Jenyns. (1988). *Ming Pottery and Porcelain*, M. Medley Ed., Faber and Faber. London.
- S. Eriksen, G. de Bellaigne. (1987). *Sèvres Porcelain. Vincennes and Sèvres 1740–1800*, Faber and Faber. London.
- D. Cohen, C. Hess. (1993). *Looking at European Ceramics*, J. Paul Getty and British Museum Press. London.
- A. Bonet Correa. (1982). *Historia de las Artes Industriales y Aplicadas en España*, Editorial Cátedra. Madrid.
- G. López Cervantes. (1983). *Cerámica Mexicana*, Editorial Everest Mexicana. México.
- B. Leach. (1981). *Manual del Ceramista*, Editorial Blume. Barcelona.
- Fomento Minero del Estado de Guanajuato. (1990). *Reporte Interno*, Guanajuato, Guanajuato.
- G.C. Nelson. (1982). *Cerámica—Manual Para el Alfarero*. Compañía Editorial Continental, México.
- W.F. Ford. (1967). *The Effect of Heat in Ceramics*, Ed. McLaren and Sons., London.
- R.W. Grimshaw. (1971). *The Chemistry and Physics of Clays*, E. Benn Ltd., 4a ed., London.
- R. Rodríguez, Repolles. (2000). *Controles de Laboratorio para Gres Porcelánico*, Cerámica y Cristal, ACA, 3-12.
- W.G. Lawrence. (1972). *Ceramic Science for the Potter*. Chilton Book, Philadelphia.
- W.E. Worral. (1975). *Clays and Ceramic Raw Materials*. Applied Science Publ., London.
- F.H. Norton. (1970). *Fine Ceramics*, McGraw-Hill, New York.
- JCPDS – ICDD (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). (1983). *Mineral Powder Diffraction File*, Group Data Book, USA.
- E. Parthé, L.M. Gelato. (1984). The Standardization of Crystal Structure Data, *Acta Cryst.*, AA40, 169-183.