

## **Cerámica roja artesanal contemporánea de Casira, Jujuy Argentina, caracterización del material.**

**N.M. Rendtorff<sup>(1,2)\*</sup>, M.F. Serra<sup>(1)</sup>, A. Paltrinieri<sup>(1)</sup>, M.F. Hernández<sup>(1)(2)</sup>, M.G. Gauna<sup>(1)</sup>, E. Moyas<sup>(1)</sup>, M.S. Conconi<sup>(1)</sup>,**

1. Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC): (CIC-CONICET-CCT La Plata), Camino Centenario y 506, C.C.49 (B1897ZCA) M.B. Gonnét, Argentina.
2. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, UNLP, 47 y 115, La Plata, Argentina.

**\*Mail: [rendtorff@cetmic.unlp.edu.ar](mailto:rendtorff@cetmic.unlp.edu.ar)**

### **Resumen**

La cerámica actual elaborada en la Puna Argentina posee un valor cultural y económico significativo para la región. En particular en los talleres tradicionales de Casira se producen los principales exponentes de la cerámica popular de nuestro país. En el presente trabajo se propone establecer y reportar algunas de las propiedades y comportamientos tecnológicos de estos cerámicos.

Se logró reportar las propiedades químicas, cristalóquímicas, microestructurales y mecánicas de un cerámico representativo. Luego se describió el comportamiento dilatométrico y la microestructura del mismo. Todas estas fueron correlacionadas con las materias primas empleadas y el método de fabricación.

El análisis de las distintas caracterizaciones que se realizaron en este estudio permitió poner en contexto al cerámico y describir algunos de sus características tecnológicas que le confieren identidad única a estas cerámicas.

**Palabras Clave: Cerámica Popular, Cerámica tradicional, Caracterización, Propiedades**

### **Abstract**

Pottery currently made in the Argentinean Puna presents a cultural and economic value. Particularly that produced by traditional workshops from Casira is one of the leading exponents of folk pottery of our country. This work aims to establish and report some of the properties and technological behaviors of these ceramics.

Chemical, crystallographic, microstructural and mechanical properties of a representative ceramic are reported. The dilatometric behavior of the ceramic and the microstructure thereof were described.

All these were correlated with the employed raw materials and the manufacturing method. The characterizations put into context the ceramic, and describe some of its technological merits which give unique identity to these ceramics.

**Key words: Folk ceramics, Traditional ceramics, Characterization, Properties**

### **1. Introducción**

La Puna es una altiplanicie de gran extensión que comprende el norte de la República Argentina, Chile y el sur de Bolivia. En la región Argentina abarca las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. En Jujuy al límite con Bolivia, se encuentra el pueblo de Casira (-21.9785, -65.8963). La gran altura sobre el nivel del mar, la amplitud térmica, la baja humedad ambiente, las bajas precipitaciones, la rigurosidad del clima y la escases de recursos naturales en comparación a otras regiones caracterizan la geografía de esta región. La economía del pueblo es principalmente mixta entre la producción cerámica y la cría de animales de la puna.

Tal vez, sea el único lugar en el país que se autodenomina pueblo alfarero, resaltando la importancia que tiene este oficio en la zona. La alfarería no solo es de gran relevancia para los lugareños por ser su mayor fuente de ingreso, sino que además, mantiene viva su tradición cultural constituyéndose en uno de los principales factores de la construcción colectiva de su propia identidad como pueblo.

Esta producción está centrada en talleres familiares, con depuradas técnicas manuales de fabricación de cerámicos basados en arcillas recolectadas en el lugar y horneadas con los combustibles de la zona, como el guano de llama y burro o leña comprada proveniente en otras zonas de la provincia (Fernández 1999) (Menacho 2001 y 2007) (Pieron 2015).

Las vasijas o cuencos son comercializados de manera formal e informal en todo el territorio Argentino, es decir, pueden ser adquiridas en el domicilio del productor o en los puestos de ferias itinerantes atendidas por los mismos productores o intermediario en comercios formales, cadenas de hipermercados, negocios de suvenires del NOA, hasta incluso en la ciudad de Buenos Aires y otros centros turísticos. Es más, estas

ollas son iconos de los objetos de cerámica popular Nacional, y son sin lugar a duda herederas de una tradición de producción alfarera que se remonta a tiempos prehispánicos. Por todo lo antes dicho es necesaria la conservación de este oficio que logra aunar el medio de subsistencia económico con la identidad cultural e histórica del pueblo. (Slattery 2010).

Esta alfarería es la protagonista de la fiesta popular de Manca Fiesta o Fiesta de la Olla (figura 1) un acontecimiento que se realiza desde antes de la llegada del español, año tras año en la ciudad de La Quiaca, provincia de Jujuy, iniciándose el tercer sábado de Octubre hasta el último día del mes (Menacho 2001).

Estudios recientes fueron enfocados hacia el análisis de los orígenes de la producción y su impacto cultural; como también al conformado y las metodologías empleadas (Pieron 2015).

Pieron presenta un estudio dónde realizó un doble enfoque. Por un lado estudia la producción artesanal actual y por otro, un análisis diacrónico que rastrea los orígenes de este tipo de alfarería a partir del estudio de la producción cerámica de los últimos 200 años. Este enfoque dual permite relacionar de manera directa la producción actual con su antecesora. El resultado de este estudio muestra que existe una relación de continuidad entre la cerámica producida en los siglos XIX y XX y la producida actualmente en los talleres familiares de Casira.

En otro trabajo, Fernández realizó la caracterización mineralógica, petrográfica y granulométrica de las materias primas, a la vez que analizó y describió los distintos procesos de conformado y cocción. Un profundo análisis sobre ello, le permitió concluir que el desarrollo de este tipo de alfarería es fruto de largos procesos de aprendizaje colectivo. (Fernández 1999).

Estos dos estudios nos ofrecen la posibilidad de generar la hipótesis de que existe una continuidad que emparenta la producción actual y las producciones coloniales y prehispánicas de la región, resaltando la importancia de su valor histórico y cultural. La producción actual de Casira supone una forma de producción híbrida entre las producciones coloniales y las prehispánicas. Tanto en la organización social de la producción como los mismos objetos y métodos de fabricación y recolección de materias primas, dicho de otro modo, entendemos que los estudios realizados confirman que la producción de este tipo de cerámicos conserva en sus modos de producción artesanal un contenido cultural de más de 200 años de historia en la que este pueblo fue conformando su identidad colectiva, al punto de autodenominarse pueblo alfarero, evidenciando que la actividad alfarera atraviesa a la comunidad en todas sus actividades.

La relevancia sociocultural e histórica motivó que diversos estudios abordaran la temática desde aspectos morfológicos, etnográficos, históricos, arqueológicos; sin embargo no existe información detallada sobre las propiedades tecnológicas de los materiales resultantes, al menos con las metodologías que se pretenden abordar en el presente trabajo.

La alfarería de Casira puede describirse como una cerámica roja, porosa y monocromática (Rice 1987) que en general es empleada como contenedores de diversos tamaños (desde miniaturas hasta piezas de casi un metro de dimensión) o para ser usados como objetos culinarios, más específicamente como ollas de cocción a fuego directo. En algunos casos los contenedores originalmente de uso culinario cumplen en su aplicación urbana contemporánea, funciones decorativas o de maceta para el cultivo de plantas domésticas, lo cual implicaría otro tipo de solicitaciones respecto al uso culinario, en las cuales la integridad en las cuales estas piezas se ven sometidas a un esfuerzo mecánico directo como la resistencia al impacto y la erosión constante en vez de solicitaciones termo mecánicas.

Las morfologías típicas han sido descritas en diversos trabajos (Menacho 2001 y 2007) (Pieron 2015) dentro de las cuales se encuentran los virques, las ollas, los yuros, los cuencos; todos estos con distintos usos y herederos de las morfologías prehispánicas y en algunos casos con influencias coloniales.

La pasta con que los artesanos locales confeccionan los objetos cerámicos parte de la mezcla de dos componentes. Por un lado el empleo de arcilla proveniente del margen del río Santa Catalina con evidente comportamiento plástico, denominado por los lugareños "barro chico". Por otro lado, se utiliza un segundo mineral, también arcilloso, denominado "pirca" proveniente de la zona. La composición cristaloquímica y distribución granulométrica de las materias primas han sido estudiadas por otro autor (Fernández 1999) y se muestran en la tabla 1 y la figura 2. La Tabla 1 muestra las fases cristalinas identificadas, en ambas materias primas, mediante la difracción de rayos X. fracciones

Notoriamente desde el punto de vista cristaloquímico ambas materias primas son principalmente arcillosas. En segundo lugar la figura 2 muestra la distribución granulométrica obtenida por tamizado.

Desde el punto de vista granulométrico, el barro chico presenta una distribución de tamaño homogénea en el rango de las arcillas (menor a 2  $\mu\text{m}$ ) y en el caso de la segunda (pirca), se utiliza con una distribución más amplia. (Fracción limo entre 2 y 20  $\mu\text{m}$  y fracción arena o gravas entre 20  $\mu\text{m}$  y 10000  $\mu\text{m}$ ). La granulometría de la Pirca le permite funcionar como antiplástico o temperante de la primera arcilla aparentemente con excesiva plasticidad como para poder construir piezas de elevada altura. Ambos minerales son extraídos por los propios alfareros con herramientas rudimentarias (no industriales como el picos y la pala) y transportados a los talleres en vehículos (Rice 1987). Si bien históricamente la molienda es llevada adelante de manera manual mediante el chancado, desde hace algunos años se ha incorporado el molino de martillos (con motores a explosión interna) para la molienda de la pirca que es

de elevada dureza. El empaste o hidratación se realiza de manera manual, lo mismo que el amasado (Pieroni 2015).

**Tabla 1: Composición cristalográfica de las materias primas (Fernández 1999)**

Materia primas	Composición mineralógica	
	Mayoritarias	Minoritarias
Pirca	Illita, clorita, smectita	Cuarzo y plagioclasa
“Barro chico”	Illita, smectita, caolinita	Cuarzo y plagioclasas

Los lugareños conforman sus piezas por deformación plástica con técnicas como el ahuecado directo, la construcción por chorizos (rulos) o por planchas. El acabado superficial puede o no ser llevado adelante con la aplicación de un engobe (barro fino) una vez casi alcanzada la pérdida total del agua de empaste a temperatura ambiente o al sol, en una atmosfera de muy baja humedad como la presente en la región de la Puna (Pieroni 2015). El secado al aire que precede a la cocción se realiza a cielo abierto bajo el sol. Esto es posible debido a las características del cuerpo arcillosos empleado, el cual no presenta una importante contracción al secado debido a la presencia de temperantes de granulometría gruesa. Si esto no fuera de esta manera el secado de piezas de importantes dimensiones no podría ser llevado a delante en al aire libre y al rayo del sol tal como se lo realiza. La gruesa granulometría del temperante es una ventaja tecnológica de gran adaptación. El proceso de cocción se realiza en hornos efimeros construidos generalmente siempre en el mismo lugar con algunos bloques de adobe y restos de piezas rotas (Fernández 1999). Muchas de las piezas ya cocidas presentan marcas de fuego por la cocción con los combustibles presentes en la zona, (madera de descarte, maderas y arbustos autóctonas y guanos), estas marcas pueden ser relativamente controladas con la compactación de las mezclas de combustibles y ubicación de las piezas en los hornos.

Si bien esta alfarería es mayoritariamente realizada a mano o como dicen los lugareños “a pulso”, desde hace algún tiempo se han introducido nuevas tecnologías como los moldes de yeso; para prensar pasta en estado plástico y para el vaciado de barbotinas y el torno alfarero (eléctrico y/o patero) (Pieroni 2015).

Generalmente, en este tipo de vasijas los temperantes son arenas cuarcíticas, feldspatos, hueso o tiesto molido, pero este no es el caso (Rice 1987) (Dondi et.al. 2014). Evidentemente ambos: arcilla y temperante son estrictamente desde el punto de vista mineralógico arcillas, pero de granulometrías y composición cristaloquímicas distintas. En consecuencia presentan cinéticas de hidratación distinta (Tari et. al. 1999), ya que la arcilla gruesa y caolinítica (pirca) no necesariamente se hidrata con la misma facilidad que la arcilla secundaria más fina (barro bayo), cumpliendo en el empaste la función de temperante. Posiblemente en estas propiedades radique la selección de las mismas, diferenciándose también en el contenido de agua necesaria para trabajarla en estado plástico. La naturaleza arcillosa de la matriz (barro) y los temperantes (pircas) asegura un casi nulo desacople de los coeficientes de dilatación. Esto permite que las ollas tengan una gran resistencia a los gradientes de temperatura a los que son sometidos estos cerámicos de uso culinario (Bronitsky 1989) (Tite et.al. 2001)

La dosificación de las arcillas se realiza empíricamente hasta condiciones óptimas (a criterio del alfarero). Una curva de contracción al secado brindaría información interesante sobre la correcta elección llevada adelante en base a la experiencia colectiva, sin embargo un estudio sistemático de estas curvas se vería influenciado por los cortes granulométrico utilizados (Tari et. al. 1999).

El presente trabajo entiende la necesidad de analizar y reportar las propiedades y comportamientos tecnológicos de la producción cerámica de Casira. Para ello se propone, a partir de analizar una olla cerámica, evaluar y describir su composición química y cristaloquímica, la microestructura, sus propiedades texturales y mecánicas y el comportamiento dilatométrico. Esta caracterización además de contextualizar la producción alfarera en lo que concierne a las propiedades del material permitirían contribuir a la construcción de estrategias de determinación de la trazabilidad de los cerámicos construidos por las técnicas y tecnologías tradicionales, es decir establecer estrategias para poder corroborar el origen de determinadas piezas. Además el análisis de las características fisicoquímicas de este tipo de material permitiría la comparación de estos con las propiedades de cerámicos similares de interés arqueológico y patrimonial de la zona, abordando de una manera más amplia las propiedades de la cultura cerámica del pasado, a la vez que se plantean las hipótesis de cuáles fueron las motivaciones que llevaron a elegir estas tecnologías.

## 2. Parte experimental

La pieza cerámica elegida se muestra en la figura 1A y presenta la morfología típica de una olla, con 30 cm de diámetro y 25 cm de altura, y un espesor de entre los 4 y los 8 mm. El color es de marrón fuerte (7.5YR 5/6 en la escala de Munsell) y presenta algunas marcas de fuego en su superficie típicas resultado tanto de su acabado superficial con engobe como de su cocción (Rice 1987).

En primer lugar se llevó a delante un análisis químico de los cerámicos, mediante el cual se pudo inferir el comportamiento térmico de las mezclas, y los rangos de maduración o sinterización y ablandamiento de los cerámicos y corroborar las materias primas utilizadas. El análisis químico nos brinda información sobre los componentes mayoritarios, los minoritarios y la traza, el mismo fue realizado mediante espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), la muestra se disolvió mediante ataque triácido (HF, HClO<sub>4</sub> y agua regia). Las fases cristalinas presentes en los cerámicos fueron identificadas mediante la difracción de rayos X, las condiciones fueron las siguientes, se empleó un equipo Philips 3020 con radiación de Cu-K $\alpha$  y filtros de Ni empleando 40 kV–20 mA de voltaje y corriente, en el rango de 2 $\theta$  comprendido entre 3 y 70°; empleándose pasos de 0.04° con tiempo de conteo de 2 segundos. Los patrones de difracción fueron luego analizados con el programa para ajustes multipropósito FullProf (Versión 5.20 – Julio de 2011). Este programa incluye al método de Rietveld que permitió la cuantificación de las fases. El contenido de fase no cristalina o de baja cristalinidad, generalmente no detectados mediante esta metodología, fue ponderado de manera precisa mediante un método indirecto descrito en dos trabajos previos (Serra et.al. 2013) (Conconi et.al. 2014). Previamente las fases cristalinas fueron identificadas mediante el software de análisis X'Pert HighScore, versión 2.1.2.

Aprovechando que la base de la olla presenta una zona plana de 15 cm de diámetro, se cortaron probetas prismáticas con un disco de diamante y luego fueron rectificadas con papel de lija. Las medidas fueron de 5,0 x 5,0 x 40 mm<sup>3</sup>. Sobre estas probetas se llevaron adelante las caracterizaciones cerámicas típicas que comprendieron: las propiedades texturales mediante el método de inmersión en agua (Arquímedes) según norma ASTM<sup>1</sup> y las propiedades mecánicas (Serra et.al 2014). La caracterización mecánica comprendió la resistencia a la flexión en tres puntos ( $\sigma_f$ ) y el análisis del módulo de elasticidad dinámico (E) mediante la técnica de excitación por impulso. Para el primero se empleó una maquina universal de ensayo mecánico (Universal testing machine INSTRON 4483). Con un separación de 35 mm y una velocidad de desplazamiento de 2,5 mm/min. Para el ensayo no destructivo de la constante elástica se utilizó un equipo GrindoSonic, modelo MK5 "Industrial", con un detector piezoeléctrico.

La microestructura del material fue evaluada mediante la microscopía electrónica de barrido, (JEOL, JCM - 6000), se emplearon condiciones de alto vacío y la observación se llevó adelante sobre probetas pulidas con pasta de diamante de 1  $\mu$ m y con un metalizado de oro.

Por último se llevó adelante la caracterización del comportamiento dilatométrico del material. Fue empleado un dilatómetro vertical (TMA-Rigaku Thermo plus EVO II). Se utilizó una velocidad de calentamiento de 10 °C/min hasta 900°C, valor por encima de la temperatura estimada de calcinación en los hornos empleados (Fernández 1999). Las probetas estudiadas fueron, en este caso, de 4,0 x 4,0 x 20,0 mm<sup>3</sup>. Se estudiaron tanto la expansión como la expansión diferencial. Este ensayo permite dar indicios sobre la temperatura máxima a la que fuera sometido el material durante su fabricación.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Composición química

La Tabla 2 muestra la composición química expresada en óxidos del material motivo de estudio. En primer lugar, se observa una casi nula pérdida por calcinación (PPC). Luego como es de esperar, los elementos mayoritarios se corresponden con los óxidos de silicio, aluminio y hierro. Se destaca el contenido de alúmina y el elevado valor del hierro, responsable de la coloración de estos cerámicos (Rice 1987). El elevado contenido de cationes metálicos se corresponde con la composición cristaloquímica de las materias primas (Tabla 1), por la posible presencia de arcillas y feldespatos con hierro, manganeso, potasio, etc. También es remarcable el elevado contenido de óxidos fundentes (alcalinos y alcalino térreos) alcanzando el 7 % p/p y casi igualando al hierro. El contenido de óxidos alcalinos (Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) predominando por encima de los alcalinos térreos (CaO y MgO) se conforma en otra característica: 4,5 y 2,5 % p/p respectivamente predominando el potasio y el magnesio en cada caso. Estos valores corresponden a una elevada fusibilidad de la pasta empleada (arcilla junto con los temperantes). En otras palabras la maduración (fusión) de esta pasta ocurrirá a bajas temperaturas en comparación con las pastas o formulas industriales (Dondi et.al. 2014), teniendo en cuenta que los ciclos de cocción empleados tienen la característica de ser rápidos y a temperaturas entre 700 y 800 °C, en estas condiciones a pesar del elevado contenido de metales fusibles los cerámicos no se funden, pero probablemente si estas pastas fueran sometidas a ciclos mayores ( entre 1000-1100°C) esta formulación sufriría un procesos de fusión, deformación y/o burbujeo (Zanelli et.al. 2004).

---

<sup>1</sup> ASTM C373 - 14a Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles (2014).

**Tabla 2: composición química del cerámico de Casira**

Oxido	% p/p	Oxido	% p/p
PPC	0,085	MnO	0,086
SiO <sub>2</sub>	58,70	SO <sub>3</sub>	0,067
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,62	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,038
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,356	Rb <sub>2</sub> O	0,022
K <sub>2</sub> O	4,252	ZrO <sub>2</sub>	0,022
MgO	1,813	CuO	0,017
TiO <sub>2</sub>	0,880	ZnO	0,013
CaO	0,740	SrO	0,011
Na <sub>2</sub> O	0,265	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,006

### 3.2. Porosidad y absorción de agua

**Tabla 3: Propiedades texturales de la cerámica artesanal de Casira.**

Propiedades	Resultados
Densidad aparente	1,50 gr/cm <sup>3</sup>
Porosidad Aparente	19,02 %
Absorción de agua	12,56 %

La porosidad de la muestra evaluada mediante el método de inmersión en agua se muestra en la tabla 3. Se puede observar que los valores obtenidos se corresponden con el de un cerámico poroso y permeable [ISO 13006]. Para cumplir con la impermeabilidad necesaria se llevan adelante el acabado superficial tipo engobe y bruñido, seguido de un tratamiento definitivo que se realiza luego del horneado con materia grasa (Fernandez 1999). Estos valores influirán en el comportamiento termo mecánico del material (Kilikoglou et.al.1998) (Munz & Fett 2013) (Wachman et. al. 2009). Es bien sabido que la presencia de porosidad mejora la resistencia a gradientes de temperatura, tanto gradientes en el espesor de la pieza (cara caliente y cara fría), como gradientes en el tiempo como los choques térmicos. Ambas solicitaciones son típicas de los usos culinarios. Los poros y defectos tales como las grietas que rodean las inclusiones de los temperantes, actúan como concentradores de tensiones termomecánicas (Rendtorff et.al. 2007). Este parámetro evidencia lo adecuado del cerámico para este tipo de solicitaciones.

### 3.3. Composición cristaloquímica (DRX)

En la tabla 1 se describen las fases cristalinas identificadas de las dos materias primas. La figura 3 grafica el difractograma del cerámico. En la tabla 4 se describen Las fases identificadas junto a la cuantificación y el contenido de fase no difractantes o amorfa ponderada con el método antes descrito. El estudio de la acción del calor sobre los minerales arcillosos ha sido ampliamente estudiado: la descomposición térmica de las arcillas comprende la pérdida de agua química, (deshidroxilaciones) (550-600 °C) para formar metakaolin o fases similares de baja cristalinidad y a mayores temperaturas (980 °C) se forman la pre-mullita y la espinela, ambas del sistema Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (Rice 1987). La descomposición térmica de los feldspatos, ocurre por encima de los 1150 °C. La presencia de cristobalita hubiera evidenciado también tratamientos a elevadas temperaturas por encima de los 1100 °C, la transformación de anatasa a rutilo ocurre a 500 °C pero es reversible. La presencia de cuarzo, mica, feldespato y la pequeña proporción de óxido de titanio en su polimorfo de anatasa nos permite estimar que estos cerámicos fueron calcinados por debajo de los 900°C (Fernandez 1999). La estructura del metacaolín presenta cierto grado de ordenamiento a nivel local, pero no presenta manifestaciones importantes frente a la difracción de rayos X y no es estrictamente amorfa (Spornik et.al. 2011). También se destaca la presencia de cuarzo presente en ambas materias primas sin evidenciar procesos químicos resultado de la acción del calor. Cabe destacar la presencia de fase no cristalina o de baja cristalinidad, que alcanza casi el 40 % esta, no se encontraba en los materiales de partida y es la responsable de la cementación de la pieza y la resistencia mecánica alcanzada. Esta fase de baja cristalinidad está formada principalmente por el metacaolín y otros neominerales resultantes de la deshidroxilación de los filosilicatos laminares, caolinita, clorita etc. originalmente presentes en los

minerales de partida de las dos materias primas empleadas. Estas fases no son estrictamente amorfas, pues no son generadas por una fusión, sino que sus dominios cristalinos no son lo suficientemente grandes como para generar la interferencia aditiva necesaria para el fenómeno de difracción de Rayos X.

**Tabla 4: Fases cristalinas identificadas y cuantificadas en el cerámico motivo de estudio.**

Fase	% (p/p)
Cuarzo	39,8
Feldespato	9,0
Anatasa	0,9
Mica	10,7
Fases de baja cristalinidad (metacaolin+vidrio)	39,6

### 3.4. Comportamientos y propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se corresponden con la performance y aptitud de un material cerámico, estando a su vez relacionados con su uso o función (Kilikoglou et.al. 1998) (Munz y Fett 2013) (Wachtman et. al. 2009), ya que el deterioro o falla de las piezas en los distintos usos puede llegar a diferir en función del tipo de solicitaciones a la que es sometido el material. Como regla general estas se encuentran todas directamente correlacionadas. Con la excepción de las solicitaciones termomecánicas, en algunos casos el beneficio de la incorporación de concentradores de tensiones en la microestructura, como los poros y micro-grietas mejora la capacidad de los materiales a no ser deteriorados en su integridad microestructural resultado de gradientes de temperatura (Rendtorff et.al. 2007); pero este mismo hecho baja el valor de la resistencia mecánica, configurando una relación de compromiso entre la resistencia mecánica y la resistencia a los gradientes de temperatura, entre la porosidad y la resistencia mecánica.

La evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales cerámicos representa un desafío metodológico, ya que requiere de geometrías conocidas y bien definidas, así como de un número de probetas significativo o adecuado como para poder tener una estadística lo suficientemente robusta. Además, supone un grado de homogeneidad microestructural que muchas veces no es estricto.

En lo que respecta a la evaluación de estas propiedades en cerámica tradicional, esto significa un reto aun mayor, pues se debe cortar las probetas de piezas cerámicas que presentan morfologías curvas. A lo que se suma que durante el corte se pudiera incorporar algún tipo de deterioro que influya en la propiedad a evaluar, que además se encuentra ligada al acabado superficial (Munz y Fett 2013).

En el presente estudio se muestran los resultados de la caracterización de las propiedades mecánicas de una olla en base a la resistencia a la flexión en tres puntos de probetas prismáticas cortadas con disco de diamante (0,5 mm de espesor). Aprovechando que la técnica de excitación por impulso es una técnica no destructiva, se llevó adelante previamente este ensayo y luego el ensayo de resistencia mecánica. Los resultados se muestran en la tabla 5. Los valores son esperables, lo mismo que las desviaciones experimentales manteniéndose por debajo del 20 %, asegurando la validez del resultado. En particular, el error relativo de la medida dinámica obtenido fue menor a la del valor de la desviación de la flexión en tres puntos (Roberts y Garboczi 2000).

Los valores obtenidos, levemente por encima de 10 GPa y 10 MPa para el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión en tres puntos respectivamente, son comparables con los valores de cerámicos de los calcárea, con los que se elabora vajilla, los cuales presentan mayor grado de porosidad ( $\approx 30\%$ ) (Serra et.al. 2014). Evidenciando que la resistencia intrínseca (con porosidad nula) del cerámico es mayor. Este debe ser resultado de la microestructura inter-trabada lograda mediante la incorporación de granos de un amplio rango de tamaño, estrategia similar a la utilizada en hormigones cerámicos refractarios (Lee et.al. 2001). Esta misma característica es la que incorpora una mejora en la resistencia a las solicitaciones termomecánicas como las que son requeridas para uso culinario (Bronitsky y Hamer 1986) (Tite et.al. 2001).

**Tabla 5: Propiedades mecánicas de la Cerámica artesanal de Casira**

Propiedad Mecánica	Valores	Desviación	Error relativo (%)
Módulo de Elasticidad (GPa)	13,3	1,8	13,5

Resistencia mecánica a la flexión en tres puntos (MPa)	12,0	2,2	18,3
--------------------------------------------------------	------	-----	------

### 3.5. Comportamiento dilatométrico

La resistencia a los gradientes o cambios bruscos de temperatura se encuentra relacionada al comportamiento dilatométrico de un material., es decir a menor coeficiente de dilatación térmica mayor resistencia. (Kingery 1955) (Bronitsky y Hamer 1986) (Tite et.al. 2001).

En la figura 4 muestra la dilatometría (TMA) del material, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min desde temperatura ambiente hasta 900°C en atmosfera de aire.

Debido a las características del método de cocción empleado la temperatura final es difícil de determinar (Rice 1987). La temperatura elegida, para este ensayo se encuentra por encima de los valores reportados por otros autores para cerámicos de similares características.

Resulta evidente el creciente comportamiento de la dilatación del material estudiado, presenta un cambio de pendiente alrededor de los 600°C y un decrecimiento al final del rango de temperatura estudiado ( $\approx 820$  °C), ilustrado en el detalle de la figura. En la misma figura se grafica la dilatación diferencial  $dTMA/dT$  donde se observan los cambios de fase, el gran pico centrado a 583°C corresponde a la transformación de cuarzo, entre sus polimorfos  $\alpha$  a  $\beta$ , también detectado por difracción de rayos X. Esta curva presenta diferencias en las pendientes por encima y debajo de 583°C, comportamiento típico de esto de cerámicos triaxiales (Zanelli et.al. 2004). El decrecimiento observado luego de los 820°C sería un indicio de que la probeta ensayada a esa temperatura sufre un cierto grado de sinterización, es decir, la acción del calor en esas condiciones conlleva un cierto grado de compactación que no había sido lograda durante su procesamiento. Este hecho podría ser utilizado para corroborar que la probeta no había sido sometida a esas temperaturas durante el ciclo de cocción.

Al mismo tiempo se puede observar que el comportamiento dilatométrico del cerámico en las temperaturas de interés de uso culinario (entre 25-500 °C) no es estrictamente lineal. Por este motivo, y con el objeto de describir el comportamiento térmico en el rango de interés de uso, se realizó un ajuste parabólico (polinómico de segundo grado) del dilatograma en el rango comprendido entre la temperatura ambiente y los 500 °C, es decir, por debajo de la transformación de cuarzo. Los valores experimentales, juntos con el polinomio arrojado por el ajuste y los resultados del mismo se muestran en la figura 5. La diferencia entre el valor experimental y el del ajuste es menor al 0,1% en todo el rango, este hecho junto con el valor del parámetro  $R^2$ , confirman que el comportamiento térmico se describe satisfactoriamente con la ecuación resultante. El valor de la pendiente permite estimar el coeficiente de expansión térmica en el rango de interés en  $4,3 (0,2) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Este valor es menor al de otros materiales cerámicos, por ejemplo la porcelana, la alúmina y el vidrio soda cal presenta coeficientes lineales entre 30 y 1000 °C de 6,0; 8,8 y 9,0  $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  respectivamente. En consecuencia esta propiedad es la segunda característica destacable de estos cerámicos con respecto a su aptitud para la resistencia a las sollicitaciones termomecánicas típicas del uso culinario frente al fuego directo.

### 3.6. Microestructura

La figura 6 muestra una imagen de una cara pulida con pasta diamantada de hasta 1  $\mu\text{m}$  del cerámico tomada con el microscopio electrónico de barrido con un detector tipo ETD de electrones secundarios. Se observa una microestructura gruesa de matriz casi continua parcialmente sinterizada con presencia de poros e inclusiones típica de los cerámicos porosos de baja temperatura (Rice 1987). Las inclusiones son en algunos casos de más de un milímetro de dimensión coherente con la granulometría de la segunda materia prima incorporada. Generalmente estas inclusiones están conformadas por los minerales accesorios, cuarzo, feldespato y mica, siendo el primero el más grueso, una descripción más extensa se puede encontrar en dos trabajos recientes de revisión (Müller et.al 2010) (Müller et.al 2015).

Se puede identificar (en negro) poros o grietas alrededor de las inclusiones de mayor dimensión; esto es de esperar por las diferencias en coeficiente de dilatación entre las distintas fases. A su vez se puede observar la microestructura de las inclusiones, que presentan un alto grado de densidad con presencia de porosidad, en cambio la matriz más fina, que embebe las inclusiones y es formada por la primera de las materias primas, une todo el material y presenta una microestructura con defectos y bordes de grano de menor tamaño. Posiblemente las micro-grietas observadas alrededor de las inclusiones de la pirca sean las responsables del excelente comportamiento frente a gradientes de temperatura (Tite et.al. 2001), transformando a la microestructura en general y a las microgrietas y la naturaleza jerárquica en particular en la tercer característica destacable del material, en lo que respecta a la aptitud para el uso culinario.

## 4. Comentarios finales

El valor histórico y cultural de la cerámica producida en la Puna Argentina la ubica como el mayor exponente de la cerámica popular Argentina. El desarrollo productivo en Casira le suma un componente

adicional, la identidad colectiva de este "Pueblo Alfarero". Esta actividad constituye su principal fuente de capital, no solo en sentido de ingresos económicos sino también en capital simbólico-cultural. Estas características motivaron este trabajo que intenta hacer un aporte a partir de analizar y describir las distintas propiedades tecnológicas de este tipo de cerámicas.

Se logró dar cuenta de los valores de las propiedades texturales, químicas, cristaloquímicas, mecánicas de un cerámico representativo. A partir de lo cual se pudo describir a este cerámico como uno de rango de maduración bajo debido a la elevada presencia de elementos fusibles (Fe, K, Na, Mg), Y que tanto la composición, la proporción, la granulometría de los temperantes, como la elaboración y método de conformado, el acabado y el método de horneado permiten obtener cerámicos con excelentes propiedades tecnológicas con ciclos de cocción rápido y empleando combustibles locales (guano de los animales) accesibles gracias a la producción mixta del tipo alfarero-agrícola por la complementaria cría de animales (llamas y burros), conformándose en una producción de características sustentables.

Cabe destacar también la elevada resistencia a los gradientes de temperaturas de estas piezas que las hacen aptas para el uso culinario. La caracterización llevada adelante permitió identificar tres características tecnológicas que favorecen a esta aptitud: la porosidad, la baja dilatación térmica y la microestructura con presencia de grietas de naturaleza jerárquica con defectos de distintos tamaños. Esto se logra por la selección de materias primas y los métodos de humectación, mezclado, conformado, secado y horneado. En particular cabe destacar el hecho de que el temperante utilizado es también un material arcilloso desde el punto de vista mineralógico, lo cual es una estrategia no muy común, sí se suelen utilizar mezclas de arcillas, pero en general se suele humectar las arcillas por completo. La humectación parcial de una de las arcillas hace que esta cumpla el rol de temperante antiplástico. Específicamente el temperante presenta una distribución granulométrica muy amplia de la cual resulta una microestructura particular, con una distribución de grano también amplia, y una distribución de defectos e inclusiones de distintas dimensiones que funcionan como concentradores de tensiones, tanto mecánicas como tensiones termomecánicas, típicas del uso culinario que hacen a las vasijas. Estas características también permiten relajar las tensiones producidas durante la etapa de secado, la cual se hace al aire libre en condiciones atmosféricas típicas de la Puna, de baja humedad y sol radiante, a una velocidad mucho más rápida que en los talleres de otras latitudes.

Por último, este trabajo permite resaltar algunos de los méritos técnicos del material elaborado en los talleres artesanales contemporáneos y relacionarlos con la selección de materias primas y la ruta de procesamiento. Además brinda información para establecer posibles estrategias de análisis de trazabilidad y comparación de cerámicos de este tipo tanto con cerámicos similares producidos hoy en día como con cerámicos de interés histórico, cultural y arqueológico.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a los organizadores por la invitación a participar del Primer Tantanakuy Alfarero de Casira llevado adelante en septiembre del 2015, el cual ha permitido vivenciar todo el proceso de elaboración de los cerámicos estudiados en el presente trabajo. Y obtener muestras para futuros estudios.

## 6. Referencias

- Bronitsky, G., Hamer, R. (1986). Experiments in ceramic technology: The effects of various tempering materials on impact and thermal-shock resistance. *American Antiquity*, 89-101.
- Conconi, M. S., Gauna, M. R., Serra, M. F., Suarez, G., Aglietti, E. F., & Rendtorff, N. M. (2014). Quantitative firing transformations of a triaxial ceramic by X-ray diffraction methods. *Cerâmica*, 60(356), 524-53.
- Dondi, M., Raimondo, M., & Zanelli, C. (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science*, 96, 91-109.
- Jorge Fernández C. Caracterización mineralógica, petrográfica y granulométrica de arcillas y antiplásticos usados en la alfarería tradicional de La Puna Jujeña, Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXIV, 1999. Buenos Aires. ISSN 0325-2221
- Kilikoglou, V., Vekinis, G., Maniatis, Y., & Day, P. M. (1998). Mechanical performance of quartz-tempered ceramics: part I, strength and toughness. *Archaeometry*, 40(2), 261-279.
- Kingery, W. D. (1955). Factors affecting thermal stress resistance of ceramic materials. *J. Am. Ceram. Soc.*, 38(1), 3-15.
- Lee, W. E., Vieira, W., Zhang, S., Ahari, K. G., Sarpoolaky, H., & Parr, C. (2001). Castable refractory concretes. *International Materials Reviews*, 46(3), 145-167.
- Menacho, K. A. (2001). Etnoarqueología de trayectorias de vida de vasijas cerámicas y modo de vida pastoril. Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología, (26), 119-144.
- Menacho, K. A. (2007). Etnoarqueología y estudios sobre funcionalidad cerámica: aportes a partir de un caso de estudio. *Intersecciones en antropología*, (8), 149-161.

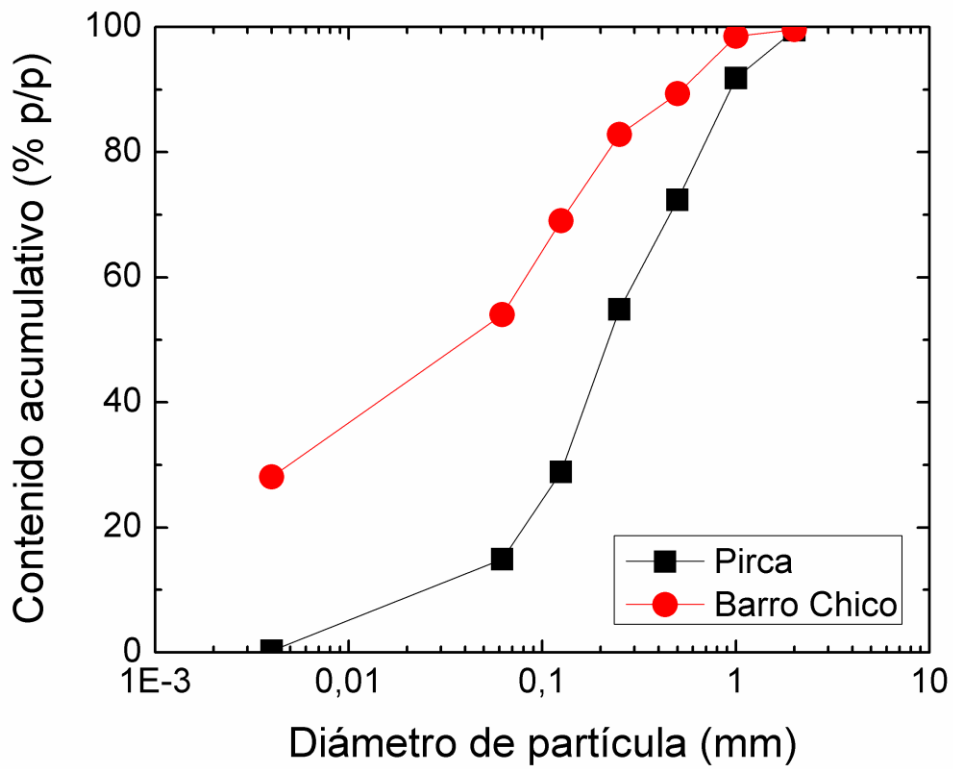


- Müller, N.S., Kilikoglou, V., Day, P.M., Vekinis, G. The influence of temper shape on the mechanical properties of archaeological ceramics (2010) *Journal of the European Ceramic Society*, 30 (12), pp. 2457-2465.
- Müller, N.S., Vekinis, G., Day, P.M., Kilikoglou, V. The influence of microstructure and texture on the mechanical properties of rock tempered archaeological ceramics (2015) *Journal of the European Ceramic Society*, 35 (2), pp. 831-843.
- Munz, D., & Fett, T. (2013). *Ceramics: mechanical properties, failure behaviour, materials selection* (Vol. 36). Springer Science & Business Media.
- Pieroni, M. J. P. (2015). La manufactura cerámica en los s. XIX y XX en la Puna de Jujuy (Argentina) y el sur del altiplano boliviano: aportes para una perspectiva de largo plazo. *MATerialidadeS. Perspectivas actuales en cultura material*, 2(2), 93-121.
- Rendtorff, N. M., L. B. Garrido, E.F. Aglietti (2007). Choque Térmico de Materiales Refractarios: Comportamiento, Evaluación y Ensayos. 137, 181-185.
- Rice, P. M. (1987). *Pottery analysis*. University of Chicago Press.
- Roberts, A. P., Garboczi, E. J. (2000). Elastic properties of model porous ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(12), 3041-3048.
- Serra, M. F., Acebedo, M. F., Conconi, M. S., Suarez, G., Aglietti, E. F., Rendtorff, N. M. (2014). Thermal evolution of the mechanical properties of calcareous earthenware. *Ceramics International*, 40(1), 1709-1716.
- Serra, M. F., Conconi, M. S., Suarez, G., Aglietti, E. F., & Rendtorff, N. M. (2013). Firing transformations of an argentinean calcareous commercial clay. *Cerâmica*, 59(350), 254-261.
- Slattery, Jessica, "El Artesano y la Comercialización del Patrimonio Cultural del Norte de Argentina Un Estudio de Caso: Salta y la Quebrada de Humahuaca y el Patrimonio de la Humanidad por la Unesco" (2010). Independent Study Project (ISP) Collection. Paper 933.
- Sperinck, S., Raiteri, P., Marks, N., & Wright, K. (2011). Dehydroxylation of kaolinite to metakaolin—a molecular dynamics study. *Journal of Materials Chemistry*, 21(7), 2118-2125.
- Tari, G., Ferreira, J. M., & Fonseca, A. T. (1999). Influence of particle size and particle size distribution on drying-shrinkage behaviour of alumina slip cast bodies. *Ceramics International*, 25(6), 577-580.
- Tite, M. S., Kilikoglou, V., Vekinis, G. (2001). Strength, toughness and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice. *Archaeometry*, 43(3), 301-324.
- Wachtman, J. B., Cannon, W. R., & Matthewson, M. J. (2009). *Mechanical properties of ceramics*. John Wiley & Sons.
- Zanelli, C., Raimondo, M., Dondi, M., Guarini, G., & Tenorio, P. (2004). Sintering mechanisms of porcelain stoneware tiles. *M. o. Qualicer*, 247-259.

**Epígrafes de las Figuras**



**Figura 1: A) Olla motivo de estudio; B) imagen del mercado popular de La Quiaca, durante la Manca fiesta, fiesta popular que se realiza todos los octubres, en La ciudad de La Quiaca, Jujuy, Argentina.**



**Figura 2: Distribución granulométrica de las materias primas, (tamices estándar).**

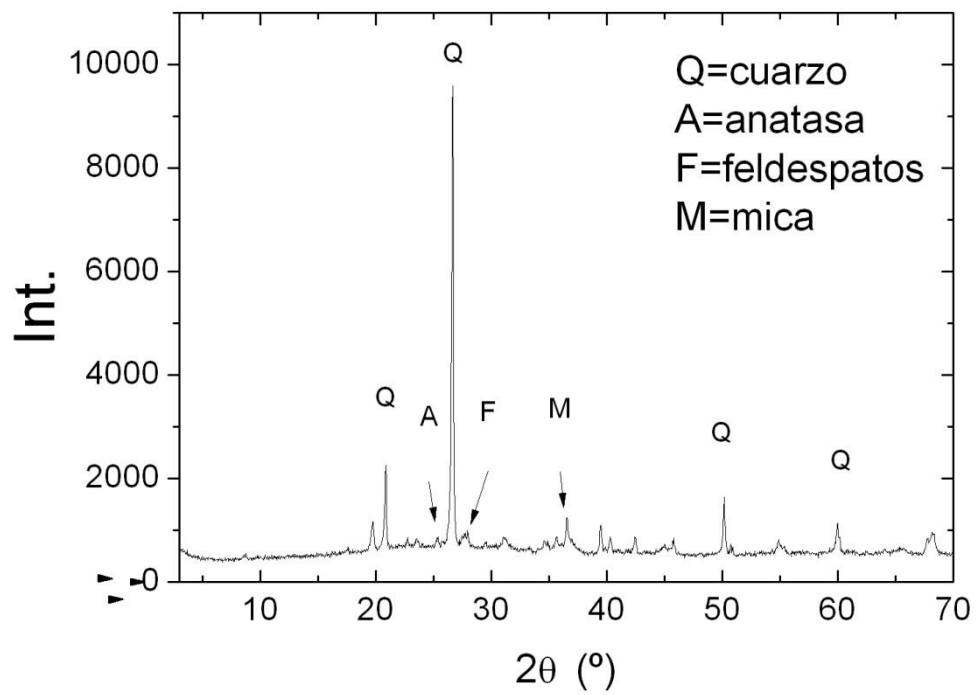


Figura 3: Patrón de difracción del cerámico estudiado.

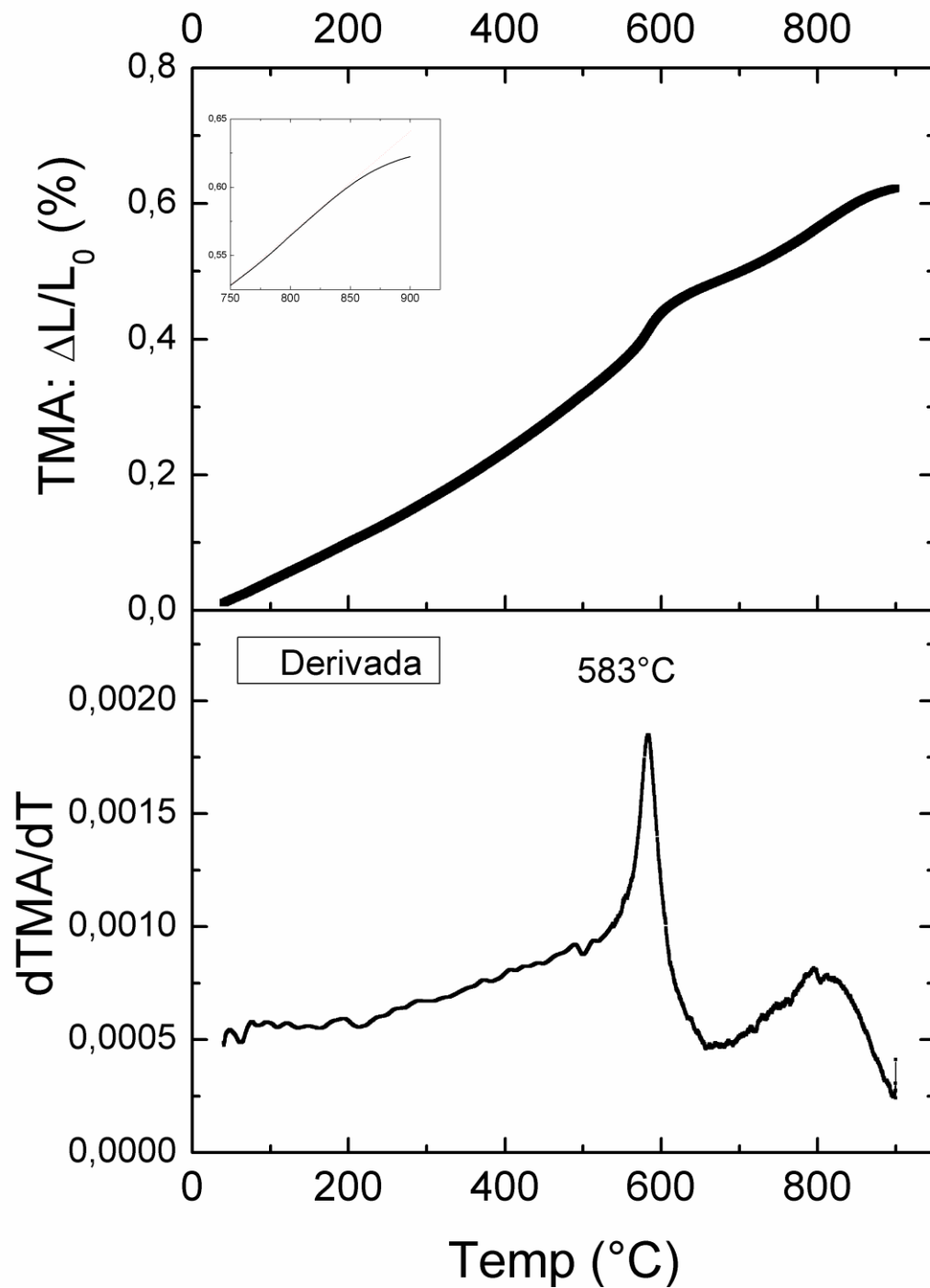
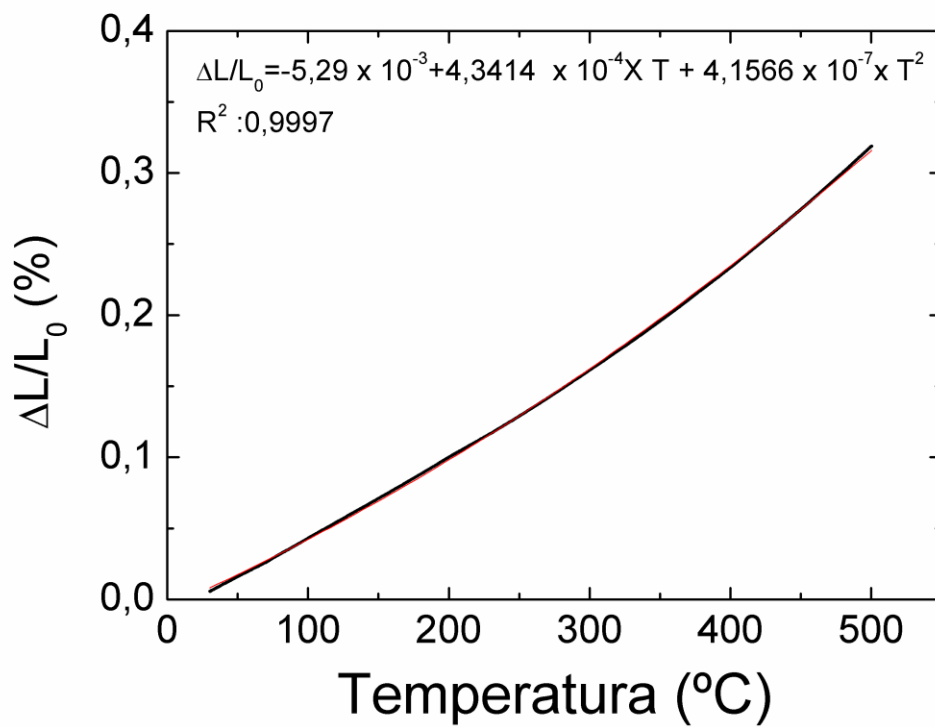
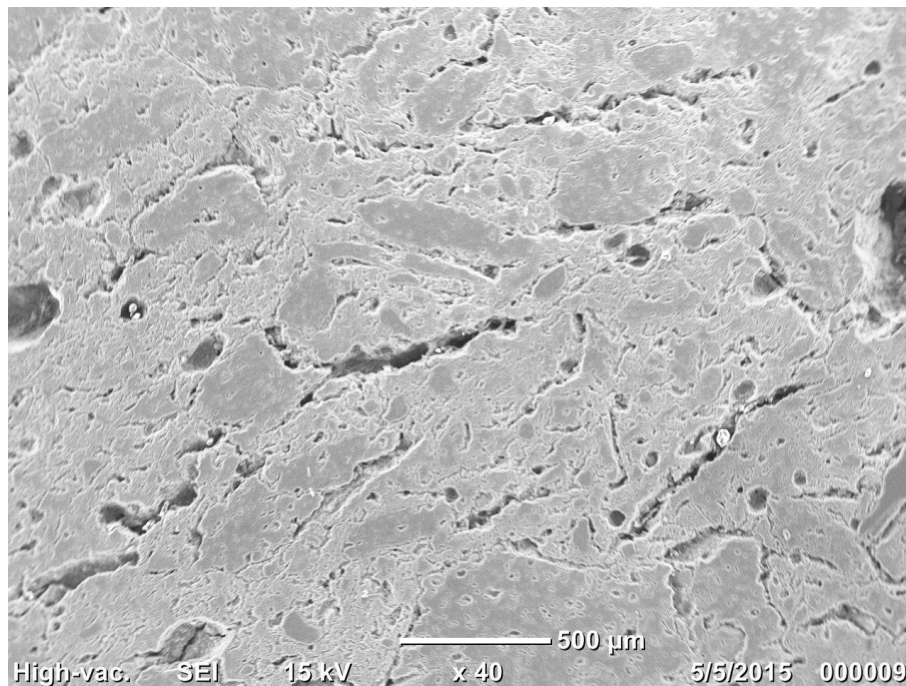


Figura 4: Dilatometría del cerámico de Casira hasta los 900 °C. Se grafica tanto la expansión relativa porcentual como el diferencial de la misma (TMA y dTMA respectivamente).



**Figura 5: Dilatometría y ajuste polinómico de segundo grado del comportamiento dilatométrico del cerámico de Casira hasta los 500 °C, por debajo de la transformación del cuarzo.**



**Figura 6: Micrografía del cerámico de Casira obtenida con microscopio electrónico de barrido sobre el cerámico pulido con pasta diamantada.**