

# Propiedades térmicas de arcillas, discos experimentales y cerámicas arqueológicas. El caso de la Depresión del río Salado bonaerense (Argentina)



Miranda Rivas González

<https://orcid.org/0000-0002-5160-757X>

Instituto de Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires (UBA) / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). 25 de mayo 217, 3º piso (CP C1002ABE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: miririvasgonzalez@hotmail.com

Susana Conconi

<https://orcid.org/0000-0002-7221-8282>

Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) / Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), Universidad Nacional de La Plata (UNLP) - Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Camino Parque Centenario 2499-2599 (CP 1897), Gonnet, Provincia de Buenos Aires, Argentina. E-mail: msconconi@cetmic.unlp.edu.ar

Recibido: 12 de septiembre de 2023

Aceptado: 11 de marzo de 2024

## Resumen

La evidencia arqueológica del curso inferior del río Salado (provincia de Buenos Aires) nos muestra un escenario en el cual grupos de cazadores recolectores pescadores se asentaron y manufacturaron cerámica durante casi 2400 años. Estos grupos tenían un acceso directo a recursos como arcilla, agua y maderas para ser usadas como combustible, aptos para la confección de recipientes en los cuales se cocinaron y almacenaron diferentes recursos alimenticios. Este artículo presenta los resultados de análisis térmicos de arcillas locales y discos experimentales, a través de la aplicación de tres técnicas analíticas (Difracción de Rayos X, Dilatometrías, Análisis Térmico Diferenciales y Termogravimétricos). En el marco de este estudio también se registraron los porcentajes de porosidad de muestras experimentales y de tiestos arqueológicos a través de una adaptación del Método de Arquímedes. El objetivo principal de este trabajo consiste en contrastar los resultados obtenidos de la manufactura de telas/discos experimentales a partir de arcillas locales y su posterior cocción, con los datos térmicos obtenidos en tiestos arqueológicos con el fin de indagar en posibles temperaturas de cocción a las que fueron sometidas las cerámicas del área. Los resultados térmicos de las arcillas, de la experimentación y del material arqueológico presentan similitudes en las temperaturas máximas de cocción alcanzadas (<950 °C) y en los difractogramas con relación a los minerales hallados. El porcentaje de porosidad es menor a 33% indicando el uso de arcillas porosas de baja temperatura.

**PALABRAS CLAVE:** Cerámicas prehispánicas; Estudios arqueométricos; Experimentación; Temperaturas de cocción; Cazadores-recolectores-pescadores

## Thermal properties of clays, experimental discs, and archaeological ceramics. The case of the Salado River depression in Buenos Aires (Argentina)

### Abstract

The archaeological evidence from the lower basin of the Salado River (Buenos Aires province) exhibits a scenario in which hunter-gatherer-fisher groups settled and manufactured ceramics for almost 2400 years. These groups had direct access to resources such as clay, water, and wood for fuel, and also suitable for making containers in which different food resources were cooked and stored. This paper presents the thermal results of local clays and experimental discs, through the application of three analytical techniques: 1) X-ray Diffraction, 2) Thermal Expansion, and 3) Differential Thermal and Thermogravimetric Analysis. In this study, the porosity percentages of experimental samples and archaeological potsherds were also recorded through an adaptation of the Archimedes Method. The main goal is to contrast the results obtained from the manufacture of experimental discs using local clays and their subsequent firing, with the thermal data obtained in archaeological potsherds to investigate possible firing temperatures to which the ceramics of the area were subjected. The thermal results of the clays, the experimentation, and the archaeological materials show similarities in the maximum firing temperatures reached (<950 °C) and in the diffractograms in relation to the minerals found. The porosity percentage is less than 33% indicating the use of low-temperature porous clays.

KEYWORDS: Pre-Hispanic ceramics; Archaeometric studies; Experimentation; Firing temperatures; Hunter-gatherer-fishers

### Introducción

La cerámica recuperada en la Depresión del río Salado pertenece en su totalidad a grupos de cazadores-recolectores-pescadores y proviene de sitios arqueológicos que se caracterizan por ser campamentos de actividades múltiples, habitados durante largos períodos de tiempo, y en donde una de las prácticas habituales fue la manufactura de alfarería (González de Bonaveri, 2002; Frère, 2015). En el registro encontramos masas de arcillas, rollos/chorizos de arcilla cocidos –indicando la técnica de levantado–, abundantes tiestos fragmentados algunos decorados con pintura roja e incisiones y otros lisos. Estos grupos de cazadores-recolectores-pescadores contaban con materias primas locales como arcillas, maderas para cocinar y agua de las lagunas y del río que nos permiten afirmar una producción local de piezas de alfarería (González de Bonaveri, 2005; Frère, 2015). Con respecto a las dataciones radiocarbónicas efectuadas en cerámica (residuos orgánicos en fragmentos) contamos con fechados que dieron como resultado fechas anteriores al contacto europeo. Los resultados más tardíos obtenidos mediante el contenido de carbón en la cerámica dieron fechas entre 1390 y 1486 d.C., mientras que las dataciones más tempranas tienen una cronología entre 200 y 500 d.C. (Frère et al., 2016).

En este trabajo se presentan los recientes resultados de análisis térmicos de alfarería que se vienen desarrollando en los últimos años. Esta propuesta forma parte de las investigaciones arqueológicas sobre los cazadores-recolectores-pescadores alfareros que habitaron la microrregión del río Salado bonaerense en tiempos del Holoceno

tardío. El objetivo de este estudio es contrastar los resultados obtenidos en la cocción de teselas experimentales confeccionadas con arcillas locales, con los datos térmicos, obtenidos previamente en tiestos arqueológicos con el fin de indagar acerca de las técnicas y modos de cocción de las alfarerías del área. Paralelamente, se midió la porosidad de las muestras experimentales y de los tiestos arqueológicos a través de una adaptación del Método de Arquímedes.

A partir del 2015 comenzamos a profundizar los estudios térmicos de la microrregión a través de análisis arqueométricos, particularmente desde la física, la química y la termodinámica. En nuestra área de estudio existe cierta vacancia de información detallada de los procesos de cocción de los recipientes cerámicos. Dentro de este contexto, surgió la necesidad de plantear un proyecto de investigación que genere nueva información detallada a través de la experimentación relacionada con fogones, con estudios arqueométricos tanto térmicos como mecánicos, y con la identificación de trazas macroscópicas. En el marco del abordaje de las investigaciones actuales sobre aspectos térmicos es que los datos obtenidos en este trabajo y uno anterior (Rivas González et al., 2021) pueden ser utilizados como parámetros para estimar las temperaturas de cocción de las vasijas del río Salado y compararlos con los de zonas aledañas y así acercarnos a las conductas y tomas de decisiones inmersas en la obtención o procesamiento de las arcillas, la manufactura de los recipientes y el modo de cocinarlos que tuvieron los cazadores-recolectores-pescadores que habitaron la microrregión.

### **La cochura de materiales cerámicos**

Las evidencias arqueológicas han demostrado que el hombre dominaba el arte de la manufactura de vasijas y estatuillas en arcilla desde finales del Paleolítico. El período de los "recipientes crudos" perduró hasta que el hombre llegó al conocimiento de la técnica de cocción. A través de esta, no solo logró manufacturar cacharros de diversos tamaños y formas, con una alta resistencia mecánica y cocidos a bajas temperaturas (< 500-600 °C), sino que también pudo conservar y transportar los recursos alimenticios (Clop García, 2001; Eiroa, 2000; García Heras, 2020; Hole, 1997; Lieberherr, 2006; Tcheichvilli, 1982; entre otros). Es así como el hombre creó un material sintético a partir de los cuatro elementos básicos: tierra, agua, aire y fuego (García Heras, 2012).

La cerámica es un material conformado en frío a partir de filosilicatos, principalmente arcillas. Las propiedades que hacen de la arcilla un material adecuado para la elaboración de cacharros están sujetas a las siguientes características (Ramos Sáinz, 2002; Rice, 1987; Rye, 1994; Shepard, 1968, entre otros): 1) plasticidad: la estructura cristalina en capas que poseen las arcillas da origen a su maleabilidad y a mantener la forma de las vasijas durante el secado y la cocción; 2) porosidad: varía según el tipo de arcilla; depende del amasado y de la consistencia más o menos compacta de la pieza tras la cocción: cerámicas cocidas a baja temperatura son más porosas y otras cocidas a alta temperatura son menos porosas o más compactas; 3) contracción de su tamaño tras el secado y la cocción; 4) refractariedad: una vez cocida resiste el aumento de temperaturas sin sufrir cambios en sus propiedades físicas y químicas; y 5) color: tras el suministro de calor se producen distintas variaciones cromáticas.

Dentro de la cadena operativa, la cocción es el paso final en la secuencia de manufactura. Es importante, ya que es en esta etapa cuando las piezas de barro adquieren sus características decorativas, utilitarias y fisicoquímicas finales necesarias para lograr una cerámica de buena calidad (Roux, 2017). Tanto estas últimas como las propiedades de la arcilla y los parámetros de cocción dependen de las temperaturas finales alcanzadas, la velocidad de calentamiento, el tiempo de exposición y la atmósfera de cocción (Cremonte y Botto, 2000; Roux, 2017).

Una etapa de cocción será exitosa siempre y cuando las etapas anteriores de preparación de las materias primas, el modelado/levantamiento y el secado se hayan realizado correctamente. Además, paralelamente a las reacciones estructurales que se desarrollan en la arcilla, existen múltiples factores que intervienen en el proceso cerámico y que el artesano debe considerar en su plan de cocción. Estas comprenden las características de la arcilla y de los atemperantes por utilizar, el momento del año en que se realizará la quema, la cantidad y el tamaño de las piezas para cocer, la calidad y la proporción de combustible por emplear, la modalidad de cocción apropiada, la temperatura ideal alcanzada y el tiempo de cocción al que serán sometidas las piezas (Gosselain, 1992; Livingstone Smith, 2001; Rice, 1987; Rye, 1994).

### ***El comienzo del ciclo de cocción***

Se utiliza el término "ciclo de cocción" a un programa o trayectoria de temperatura de calentamiento y enfriamiento de las piezas, respecto al tiempo y la atmósfera del fogón. La combustión es un elemento clave para la cocción de las piezas ya que debe ser completa y debe existir un contacto mínimo entre el comburente (la llama generada por el oxígeno del aire) y el combustible (brasas y troncos que tengan la propiedad de arder o quemarse). El comburente debe permitir que la quema sea regular, que las temperaturas del fogón suban lenta y gradualmente, y que el calor sea constante a fin de eliminar la humedad residual del material arcilloso y así evitar fracturas y/o grietas que deterioren la vida útil del objeto cerámico. En todos los casos es necesario que el fenómeno de combustión o ignición se produzca; para ello se necesita de un recurso que cause una chispa, una yesca, etc. para lograr darle al combustible la temperatura necesaria para continuar por sí solo la reacción (Mari, 1998; Morales Güeto, 2005; Vidarte, 1997).

Cuando se calientan los materiales cerámicos hasta la temperatura de cocción, siguiendo un ciclo térmico preestablecido, los cacharros van experimentando diferentes modificaciones físicas y químicas que son graduales y que en su mayoría son irreversibles (García Heras, 2020; García Romero y Suarez Barrios, 2012; Kingery et al., 1976; Mari, 1998; Morales Güeto, 2005, p. 68; Ortega et al., 2005; Ramos Sáinz, 2002; Rice, 1987; Rye, 1994; Shepard, 1968; Sinopoli, 1991).

Algunas de las reacciones básicas que ocurren durante la cocción se detallan a continuación. En un primer estadio del ciclo de cocción, las arcillas eliminan el agua (denominada agua higroscópica o adsorbida) a través de los poros o capilares casi a temperatura ambiente (30 °C aproximadamente). En algunos casos para eliminarla se necesita de un suave templado de apenas 100 °C (Clop García, 2001; Rice, 1987; Solá, 2002), que puede lograrse colocando los cacharros en la periferia de un fogón a cielo abierto o, en laboratorio, llevándolos a una estufa. Este primer estadio se trata de un agua de humedad residual, es decir aquella que posiblemente se ha reabsorbido del ambiente exterior, durante el tiempo transcurrido entre el momento del secado y el templado, y que no ha conseguido eliminarse completamente (Sánchez Sánchez, 2013).

En un estadio posterior hay una eliminación de agua a temperaturas bajas (de nombre interlamilar, coloidal o zeolítica), que se da aproximadamente entre 100 y 200 °C (Maniatis, 2009). Es en este momento cuando se da la deshidratación de las arcillas expansivas (Cremonte y Botto, 2000). Alrededor de las temperaturas mencionadas se produce un momento crucial, ya que si la temperatura inicial es muy elevada y las arcillas han concentrado un alto contenido de agua que no ha sido del todo evaporada durante el secado, existe un alto riesgo de formación de grietas y/o fisuras en las superficies que pueden malograr la pieza u ocasionar vapor de agua que provocaría una explosión de las mismas (Rice, 1987).

Alrededor de los 300 °C se eliminan los compuestos orgánicos con formación de dióxido de carbono, al mismo tiempo que comienzan a disociarse los sulfuros y sulfatos mediante una atmósfera oxidante (Clop García, 2001). Es el momento en que comienza a quemarse el carbón residual de la materia orgánica, la cual deja en la pasta pequeñas cavidades que retienen residuos de la combustión, generando porosidad y fusibilidad. En el caso de vasijas con espesores gruesos puede ocurrir que los gases que se forman no logren salir, o bien que las sustancias no se quemen completamente, provocando defectos tales como ampollas, burbujas y/o fracturas, además del ennegrecimiento de las superficies o núcleos (Morales Güeto, 2005). La duración que tarda la materia orgánica en eliminarse o combustionarse depende de varios factores: el tiempo y la temperatura del fogón, el grado de oxidación de la atmósfera de cocción, la cantidad de carbón que presenta el material arcilloso, el grado de finura o pureza de la arcilla y la cantidad de minerales que incluye. La falta de oxidación del material orgánico suele producir núcleos negros en las secciones delgadas de los fragmentos, los cuales indican una cocción deficiente a baja temperatura y una exposición sobre el fuego de corto tiempo (Rice, 1987, p. 88).

A medida que aumentan las temperaturas (alrededor de los 450 °C a 700 °C) se produce la eliminación del agua estructural o de composición de los minerales arcillosos (Fuentes Ramírez et al., 2008; Ibáñez y Sandoval, 1996; Sánchez Sánchez, 2013; Solá, 2002). Paralelamente, en este rango de temperaturas, más precisamente a los 573 °C, ocurre la inversión del cuarzo *alfa*, que se transforma en cuarzo *beta*. Esta viene acompañada de una expansión del volumen del 2%, dando lugar a la formación de microgrietas en los productos cerámicos cocidos y produciendo un deterioro de la resistencia mecánica del material (Ibáñez y Sandoval, 1996, p. 434). Para este momento los cambios son irreversibles y es cuando se puede hablar verdaderamente de cerámica (Clop García, 2001; Linares et al., 1983; Rice, 1987). A medida que las temperaturas van aumentando, el material arcilloso comienza a definir sus propiedades como cerámica a través de su dureza, porosidad, estabilidad en su estructura química y cristalina, fractura frágil, resistencia a líquidos y al fuego (Mari, 1998; Rye, 1994).

Entre los 700 y 900 °C se quema el carbón, el azufre y otras impurezas transformándose en grandes volúmenes de gases que intentan escapar de la arcilla. Los gases pueden producir estallamientos en la pasta y provocar la rotura de la pieza. Algunos ejemplos pueden ser el vapor de agua, anhídrido carbónico (por ejemplo, combustión de materia orgánica o descomposición de carbonatos) entre otras causas (García Verduch, 1984). El mineral de óxido de hierro es un excelente indicador para identificar el rango de temperatura mencionado, ya que suele estar presente de forma natural en los barros arcillosos que tras cocinarlos forman principalmente hematita, impartiendo el color característico a la cerámica roja (Mari, 1998, p. 57; Ortega et al., 2005).

Pasados los 800 °C, se produce la descomposición de los carbonatos con pérdida de dióxido de carbono (Sánchez Sánchez, 2013, p. 151). Es aquí donde la calcita reacciona con las micas y como consecuencia genera la gehlenita. Por lo tanto, la presencia de gehlenita es indicativa que las vasijas han alcanzado o superado temperaturas altas, mayores a 800 °C (Ortega et al., 2005).

Por encima de los 900 °C comienzan a aparecer nuevos minerales. El metacaolín se transforma en mullita lo que incrementará la resistencia del cuerpo cerámico. El silicio excedente forma la cristobalita y superados los 1000 °C se produce la formación de una fase vítrea o vitrificación, la cual endurece, compacta y homogeniza las partículas de arcilla entre sí, dando como resultado el vidrio (Maniatis, 2009). Esto se produce por la presencia de feldespatos alcalinos que funden en este rango de temperatura.

## Antecedentes sobre arqueometría y experimentación térmica

Buena parte de las investigaciones del siglo XX y comienzos del XXI, han considerado las condiciones de cocción de las cerámicas solo a través de los aspectos cromáticos de sus superficies. Con el correr de este nuevo siglo, las investigaciones más recientes han profundizado y sistematizado la temática aquí en cuestión, a un nivel macro y microscópico, valiéndose de la arqueometría, campo de estudio que nos ha permitido obtener datos cuantitativos más precisos sobre las propiedades de los materiales cerámicos y otros.

Si bien los trabajos sobre análisis térmicos en cerámica se realizaron mayormente en el noroeste de Argentina (Botto et al., 1998; Cremonte, 2003; Cremonte y Botto, 2000; Cremonte et al., 2003; López, 1999-2001; Palamarczuk, 2004; Wachaman et al., 2020), existen en la región de Cuyo, en la pampa bonaerense, en el noreste y en el sur de nuestro país ciertos avances de investigaciones que abordan la problemática sobre estimaciones de temperaturas de cocción en cerámicas. En la zona de Cuyo podemos mencionar a Moyano y colaboradores (2010), Moyano y Frigolé (2013) y Ots y Cahiza (2016). Para la región bonaerense citamos a Balesta y colaboradores (1997), Mazzanti y Porto López (2007), Pérez Meroni y Blasi (1997), Rivas González y colaboradores (2021); para el Delta Superior del río Paraná a Di Prado y colaboradores (2015, 2022) y para la región noreste y la Patagonia los recientes trabajos de Bognanni y de Haro (2021) y de Schuster y Prieto (2021), respectivamente. Los resultados térmicos de estas tres últimas regiones del país mostraron un rango de temperaturas de cocción que oscilaron entre 550 y 900 °C, lo cual estaría indicando quemaduras en estructuras abiertas. Asimismo, Mazzanti y Porto López (2007), realizaron pruebas experimentales de cocciones de cerámicas en fogones a cielo abierto que dieron resultados similares a los valores mencionados anteriormente.

En lo que refiere a las investigaciones de la microrregión del Salado, los últimos años venimos ampliando los datos sobre las temperaturas de cocción a partir de análisis macroscópicos y de técnicas arqueométricas aplicadas a distintas muestras cerámicas arqueológicas: análisis térmico diferencial (ATD) y termogravimétrico (TG), dilatometría (TMA), difracción de rayos X (DRX) y una adaptación del Método de Arquímedes (Escosteguy et al., 2017; Rivas González et al., 2021; Rivas González y Granda, 2016).

Si bien los resultados de estos fragmentos cerámicos arqueológicos ya han sido detallados en un trabajo previo (Rivas González et al., 2021), en este manuscrito serán retomados para compararlos con la información aquí presentada de las arcillas y de los materiales experimentales. Los tiestos arqueológicos ya analizados (seis en su totalidad) provienen de los sitios La Cuña (San Miguel del Monte), Techo Colorado (Lobos) y Vitel (Chascomús) que fueron recuperados del horizonte A, a unos 25 cm de profundidad. Su selección estuvo determinada principalmente por la presencia de indicadores vinculados a condiciones térmicas, tanto por su cocción inicial o por reiterada utilización de los cacharros sobre el fuego (presencia de depósitos de hollín, manchas superficiales de color negro, grietas, craquelados y la sección cromática del fragmento –núcleo/márgenes–). El conjunto está conformado por cuerpos y bordes en los que predominan las cocciones oxidantes incompletas. En el Instituto de Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires (UBA) se los analizó macroscópicamente y en el Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC) de la ciudad de La Plata (provincia de Buenos Aires) se los estudió térmicamente a través de ATD, TG, TMA y DRX y con los mismos equipos utilizados para las muestras experimentales y de arcillas que aquí se consideran. La información provista por DRX nos indican que los fragmentos tienen como fases mayoritarias cuarzo, plagioclasas particularmente cálcicas (feldespatos

calcosódicos) y material illítico (minerales arcillosos), y como fases minoritarias feldespato potásico y gehlenita (aluminio silicato cálcico). La presencia de gehlenita y de material illítico es indicativa de que no se han superado temperaturas mayores a 950 °C (Araújo et al., 2004; Serra et al., 2013). Además, la gehlenita es un mineral que se descompone cerca de los 700 °C y es un indicador de la existencia de carbonatos, como ser conchilla de caracoles de agua dulce o moluscos. Su presencia en vasijas arqueológicas puede interpretarse como aditamento no plástico que se agrega voluntariamente a la pasta cerámica o que se encuentra naturalmente en la arcilla (Rivas González et al., 2021). Por otro lado, análisis petrográficos de 50 muestras de fragmentos arqueológicos señalan similitudes con los sedimentos pampeanos. A partir de los resultados, entonces, se pudo afirmar que la matriz arcillosa de los tiestos recuperados proviene del loess, al estar conformadas por una pasta donde la matriz predomina sobre el contenido de inclusiones o carga, rasgo característico que aparece naturalmente en los sedimentos loésicos. La matriz puede ser caracterizada como muy fina y los minerales no arcillosos presentes tienen una granulometría comprendida entre la fracción limo y arena muy fina y fina. Por su parte, los estudios sedimentológicos analizados corresponden a materiales finos cuya fracción no supera el tamaño de arena fina (Frère et al., 2012).

Los gráficos de ATD/TG de todas las muestras arqueológicas presentan características similares. En términos generales, a los 200 °C se manifiesta una deshidratación acompañada de picos endotérmicos y luego picos exotérmicos alrededor de los 300 °C, asociados a la quema de materia orgánica y/u óxido de hierro. Sin embargo, encontramos picos exotérmicos más pronunciados en el ATD, en los tiestos N° 17 del sitio Vitel y N° 36 del sitio Techo Colorado, atribuibles a una mayor oxidación de la materia orgánica o carbón, correlacionándose en el TG con una pérdida de masa en los mismos intervalos de temperatura (300 °C) en que se observan picos endotérmicos referentes a una deshidratación (Rivas González et al., 2021).

Por último, los resultados dilatométricos de todos los fragmentos presentaron leves contracciones por debajo de los 200 °C que se corresponderían con una deshidratación y cambios abruptos (contracciones) entre los 750 °C y 800 °C. Este dato nos revela una temperatura de cocción de las vasijas no mayor a lo mencionado. También se observaron dilataciones seguidas de contracciones en algunos fragmentos (muestra N° 27 del sitio La Cuña y N° 39 del sitio Techo Colorado) y en otros solo contracción (el resto de las muestras). Ambos hechos podrían explicarse por la diferente composición mineralógica o por las alteraciones postdeposicionales que sufrieron los fragmentos una vez enterrados (Rivas González et al., 2021).

Por otro lado, el equipo del Salado ha realizado, desde el año 1993 hasta la actualidad, prácticas experimentales junto a la Lic. Alicia Francese, ceramista y ex profesora de la Escuela de Cerámica de Chascomús, quien, además, forma parte del equipo de investigación. Francese ha realizado varias experimentaciones con materias primas originales del área del Salado, entre ellas réplicas de vasijas arqueológicas teniendo en cuenta las formas, tamaños, acabados de superficie, uso de engobes e instrumentos para las decoraciones (tales como huesos de pescado, de aves y de roedores), como así también cocciones experimentales utilizando leña local (*Celtis tala*). La modalidad de quema siempre consistió en la realización de hogueras o fogones a la intemperie y a ras del suelo. El plan preestablecido consistía, inicialmente, en realizar un templado de las piezas aproximándolas alrededor del fogón encendido, para luego disponerlas sobre el combustible (en contacto directo) para ser cocinadas en un intervalo de corta duración (aproximadamente 3 horas). Las temperaturas, medidas con termocupla, se mantuvieron constantes entre 650 y 700 °C sin alcanzar la vitrificación de las piezas (Francese, 2000; Francese et al., 2011; Frère et al., 2004, 2023; González de Bonaveri, 2002).

## Escenario ambiental y arqueológico de la microrregión del río Salado

En cuanto al entorno y la evidencia arqueológica de esta microrregión, estamos frente a un escenario en el cual grupos de cazadores-recolectores-pescadores se asentaron y manufacturaron cerámicas durante casi 2.400 años. Estos grupos tenían un acceso directo al paisaje lagunar y ribereño donde abundaban las arcillas, el agua y las maderas de bosques de *Celtis tala* y otras especies asociadas, recursos aptos para la confección y quema alfarera (González de Bonaveri, 2005; González de Bonaveri y Frère, 2009) (Figura 1).

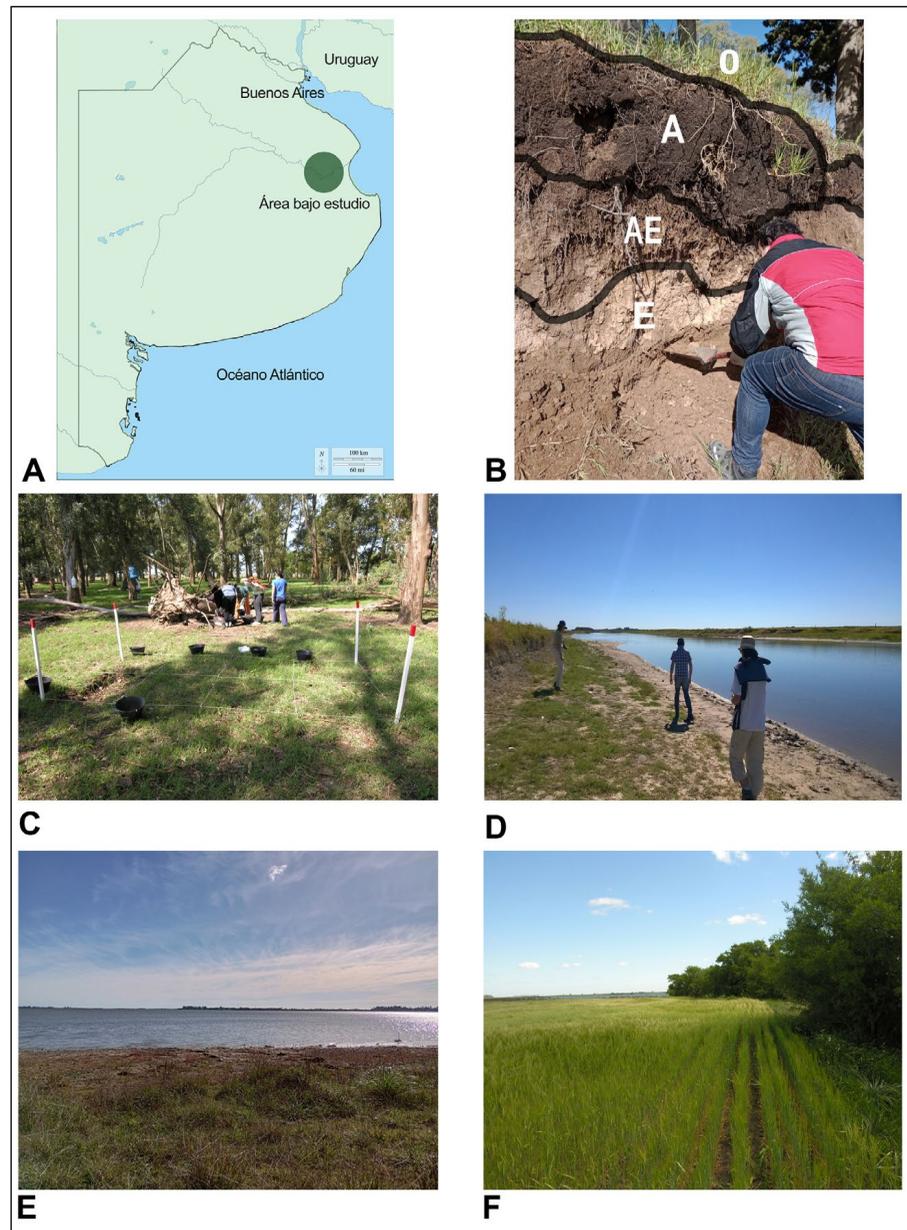


Figura 1. Arqueología y paisaje pampeano. A) Área de estudio, B) Barranca de la laguna de Chascomús. Ejemplo de la diferenciación de los horizontes del suelo del área, C) Tareas de excavación en el sitio La Cuña, D) Prospecciones a orillas del río Salado, E) laguna de Chascomús y F) campo sembrado junto a montes de *Celtis tala*.

Geológicamente, la llanura pampeana está constituida por sedimentos *loessoides*, revestidos por suelos que de ellos derivan, y arenosos. La zona bajo estudio está conformada por sedimentos aluviales limo-arcillosos y arcillosos, además de cordones de conchilla producto de las ingresiones marinas. Los suelos dominantes son de tipo aluvial, sódico salinos y semi pantanosos de textura arcillosa, mal drenados y de color pardo o negro (Gómez y Toresani, 1998; González Bonorino, 1965; Zapata, 2018). El color oscuro de los suelos se forma como producto de la meteorización de los agentes fisicoquímicos y biológicos que descomponen los materiales orgánicos e inorgánicos a lo largo del tiempo (French, 2003). Los factores condicionantes de la evolución geomorfológica de este paisaje han sido la combinación de la acción de depósitos eólicos (Formación La Postrera) y fluviales (Formación Luján) (Fidalgo et al., 1973).

Los vestigios cerámicos, líticos y óseos de los sitios de la microrregión están ubicados en el horizonte A del suelo actual, que se caracteriza por ser una capa donde se enraízan las especies herbáceas y se halla materia en descomposición y humus, los cuales le otorgan un color más oscuro que el de las capas inferiores (Figura 1B). Estos sitios fueron caracterizados como someros para referirnos al material arqueológico que está a profundidades variables (hasta 40 cm de profundidad) y fuertemente afectadas por los procesos edáficos. A lo largo del tiempo, la dinámica pedológica, la intensa actividad agrícola-ganadera y la bioturbación por microfauna y raíces vegetales, ha creado condiciones de yacencia particulares de incorporación, transformación, pérdida y translocación del material orgánico y clástico del suelo, que disturba las relaciones espaciotemporales de los materiales arqueológicos (Escosteguy y Fernández, 2017; Fernández y Escosteguy, 2019; González de Bonaveri y Zárate, 1993-1994; Zárate et al., 2000-2002). Si bien, la pedogénesis en el Salado ha sido uno de los procesos dominantes en el desplazamiento, fragmentación e incorporación del material arqueológico a la matriz sedimentaria, también las inundaciones y las sequías han provocado el movimiento y sepultamiento de los objetos en el suelo causando una descontextualización de la posición original de los artefactos (Escosteguy y Fernández, 2017; González de Bonaveri, 2002; González de Bonaveri y Zárate, 1993-1994). Por ejemplo, durante los momentos de sequías el horizonte A del suelo puede encogerse y agrietarse provocando que los materiales arqueológicos caigan en esas grietas. Consecuentemente, durante los intervalos de humedad, puede expandirse y empujar hacia arriba los sedimentos ocasionando movimientos de los objetos arqueológicos (Rapp y Hill, 1998).

## Materiales y métodos

La metodología empleada para cumplir con nuestros objetivos consistió en analizar cuatro muestras de arcillas locales (1, 3, 4 y La Cuña) y tres piezas cerámicas experimentales (Experimental 13, 14 y 16). La incorporación de ensayos experimentales en este trabajo representó una necesidad insoslayable para evaluar la aptitud y el uso de las arcillas, precisar algunos modos de preferencia para mezclar arcillas y monitorear la reproducción de quemas con leña local en ambientes controlados. Sumado a esto, estudios de análisis térmico diferencial (ATD/TG), dilatometrías (TMA) y difracción de rayos X (DRX) se realizaron en los ítems experimentales. Las arcillas fueron sometidas a los mismos estudios excepto las dilatometrías que no se pudieron realizar debido a problemas con el instrumental. Por último, se llevó a cabo una adaptación del Método Arquímedes al estudio de las muestras experimentales aquí mencionadas y a las arqueológicas ya estudiadas en un manuscrito previo (Rivas González et al., 2021). Este ensayo permitió calcular la porosidad de estos especímenes sólidos utilizando una bomba de vacío y una balanza analítica (Radeva, 2006). Todos los estudios arqueométricos se realizaron en el CETMIC.

Las muestras de arcillas fueron recogidas de los perfiles de las barrancas del río Salado durante las excavaciones realizadas en la localidad arqueológica La Guillerma, ubicada en el actual partido de Lezama, provincia de Buenos Aires (Figura 2). Los sitios que la integran son La Guillerma 1, 2, 4, 5 y Ñandú, que se ubican próximos al río Salado y sobre una elevación del paisaje<sup>1</sup>.



Figura 2. Recolectando arcillas. A) Extracción de arcilla de las barrancas del río Salado, cercano al sitio La Guillerma, B) Ceramista Francese probando la plasticidad de las arcillas (Gentileza de A. Francese) y C) Ubicación de las arcillas extraídas y estudiadas en este trabajo.

Si bien las arcillas recogidas en La Guillerma resultaron ser óptimas para la manufactura de las piezas experimentales, presentan diferencias de calidad que están vinculadas con las variaciones en la composición porcentual de los minerales de arcilla a lo largo del espesor de las unidades estratigráficas identificadas por González de Bonaveri y Zárate (1993-1994). Las arcillas aquí seleccionadas (arcillas 1, 3 y 4) fueron obtenidas a diferentes profundidades de la barranca del río Salado. El criterio y las características elementales para determinar las diferencias de calidades estuvieron determinados en base a la plasticidad, textura, coloración antes y después de la cocción, contracción total, porosidad, dureza y temperatura de cocción (Francese et al., 2011, p. 26-28). Igualmente, se contó con la *expertise* y el testeado de muestra de mano de la ceramista. Desde un punto de vista del comportamiento de los barros, González de Bonaveri (2002) realiza la siguiente descripción:

Arcilla 1: extraída de una muestra del perfil 2 La Guillerma de la barranca del río Salado. Presenta una tonalidad marrón amarillenta y textura gruesa arenosa. Al realizar una

<sup>1</sup> Para un mayor detalle de las características de estos sitios consultar González de Bonaveri (2005), González de Bonaveri y Zárate (1993-1994) o Zárate y colaboradores (2000-2002).

prueba de modelado, tiende a presentar grietas superficiales, pero sin quebrarse, indicándonos una baja plasticidad en relación con las arcillas 3 y 4. El secado es uniforme por la presencia de arena. Esta arcilla permitiría el levantado de piezas de gran volumen.

Arcilla 3: extraída de la base del perfil 2 La Guillerma de la barranca en la orilla del río. Presenta impurezas, tiende a un color castaño verdoso, es menos arenosa y de textura más gruesa que la anterior. Tiene mejor plasticidad que la Arcilla 1. Secado uniforme.

Arcilla 4: extraída de la curva del río Salado perfil 1 AT. Compuesta por mayor cantidad de arcilla al tacto y menos arena. Sin impurezas. Es de color verde. La humedad de composición permite que los chorizos se unan sin agregarle agua. Se arrolla con facilidad, presenta textura lisa y más brillante, de grano muy fino y es la más plástica de las tres. Produce mayor encogimiento. Tiene una excelente plasticidad para replicar las muestras arqueológicas. Secado uniforme.

También trabajamos con arcilla obtenida del sitio La Cuña situado en la localidad de San Miguel del Monte, provincia de Buenos Aires. La excavación fue realizada en una planicie elevada, a una distancia aproximada de 100 m del río Salado y bajo un bosque de eucaliptos. Durante las tareas de campo notamos que entre los 10 y 25 cm de profundidad el sedimento presentaba ciertas características arcillosas mezcladas con humus, toscas y raíces, como así también trozos de arcilla enteros que dificultaron el trabajo de excavación de las cuadrículas debido a su extremada dureza. Entre los 15 y 20 cm de profundidad se tomaron muestras de arcilla para análisis de sedimentos y para la manufactura de vasijas experimentales. La arcilla La Cuña no ha sido testeada según los criterios/protocolo de plasticidad, textura, coloración antes y después de la cocción, contracción total, porosidad, dureza y temperatura de cocción abordadas por Francese y colaboradores (2011, p. 26), sino que solo fue sometida a análisis térmicos (Figura 3).



Figura 3. Muestras de arcillas.

Muestra Experimental	Diámetro mm	Espesor mm	Decoración/Tratamiento superficial	Cocción	Trazas térmicas	Observaciones
13	60	12	-	Oxidante	Manchas negras	Manufacturada con mezcla de arcillas 1 y 3
14	90	10	Incisa y pintura	Oxidante	Manchas negras y grietas	Levemente pulido. Tiesto molido + conchilla.
16	80	11	Pintura	Oxidante	Manchas negras, grietas y craquelado	-

Tabla 1. Análisis tecno-morfológico de las muestras experimentales.

El propósito de la experimentación tuvo la finalidad de manufacturar discos utilizando arcillas locales para controlar su calidad y determinar las características de plasticidad, encogimiento y textura que luego fueron sometidos a cocciones al aire libre con leñas locales en donde se controlaron con termocupla las temperaturas alcanzadas y se registraron los comportamientos físicos/químicos de las arcillas.

Las muestras experimentales fueron realizadas solo con las arcillas 1, 3 y 4 y fueron modeladas en forma de tres discos y cocidas por la ceramista Francese en la localidad de Chascomús, provincia de Buenos Aires. En la Tabla 1 se describen sus características tecno-morfológicas. En algunos casos fue necesario la mezcla de arcillas para lograr una mejor plasticidad y obtener una pasta óptima, como es el caso del ejemplar Experimental 13 en donde se mezclaron la arcilla 1 con la 3, en una proporción de 30% y 70% respectivamente. Con la misma finalidad de maleabilidad y para facilitar un secado más rápido, al ítem Experimental 14 se le agregó conchilla molida obtenida de la barranca del río Salado y tiesto molido en un 10%. Todas las piezas fueron alisadas y sólo el disco Experimental 14 fue decorado con herramientas no formatizadas tales como huesos de pescado, de ave y de coipo y ramas de tala, aprovechando, de este modo, el filo natural de cada artefacto. Las decoraciones de este último disco se realizaron mediante la técnica de incisión imitando los diseños de los tiestos arqueológicos. En cuanto a la aplicación de pintura roja, se pintaron en una sola cara los ítems Experimental 14 y 16. Para ello, se utilizó pigmento mineral actual proveniente de la cantera La Liebre en el cerro Reconquista cerca de la localidad de San Manuel (partido de Lobería) y otros más pequeños fueron recolectados en una cantera actual en la zona de La Numancia al sur del partido de Tandil (Frère et al., 2023; González de Bonaveri, 2002, p. 257; González de Bonaveri et al., 2000, p. 222). En cuanto a su cocción, las tres muestras fueron cocidas a cielo abierto en un fogón a ras de piso, utilizando ramas secas del árbol de tala recolectadas durante los trabajos de campo en las cercanías de la localidad arqueológica La Guillerma. Según el registro de la ceramista, las temperaturas, medidas con termocupla, se mantuvieron constantes entre los 700 y 750 °C. El tiempo estimado de cocción fue de aproximadamente tres horas (Figura 4). Además, en las muestras experimentales y en las arqueológicas ya analizadas (Rivas González, et al., 2021) se registró la dureza siguiendo la Escala de Mohs y el color de las superficies según la tabla Munsell (1975).

A nivel térmico, los ATD/TG se realizaron en simultáneo en un mismo equipo Rigaku EVO Plus II 8121 con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min hasta los 1050 °C. Ambos estudios miden las transformaciones fisicoquímicas que ocurren en un material a lo largo de un tratamiento químico. En el ATD, la propiedad medida es la diferencia de temperatura existente entre la muestra en estudio y una sustancia inerte, ambas sometidas a un programa de calentamiento y/o enfriamiento. Al ser calentada, cada especie mineralógica presenta picos exotérmicos (liberación de calor) y endotérmicos (absorción de calor) permitiendo la caracterización del material. Por otro lado, el análisis TG mide los cambios de masa o peso de una

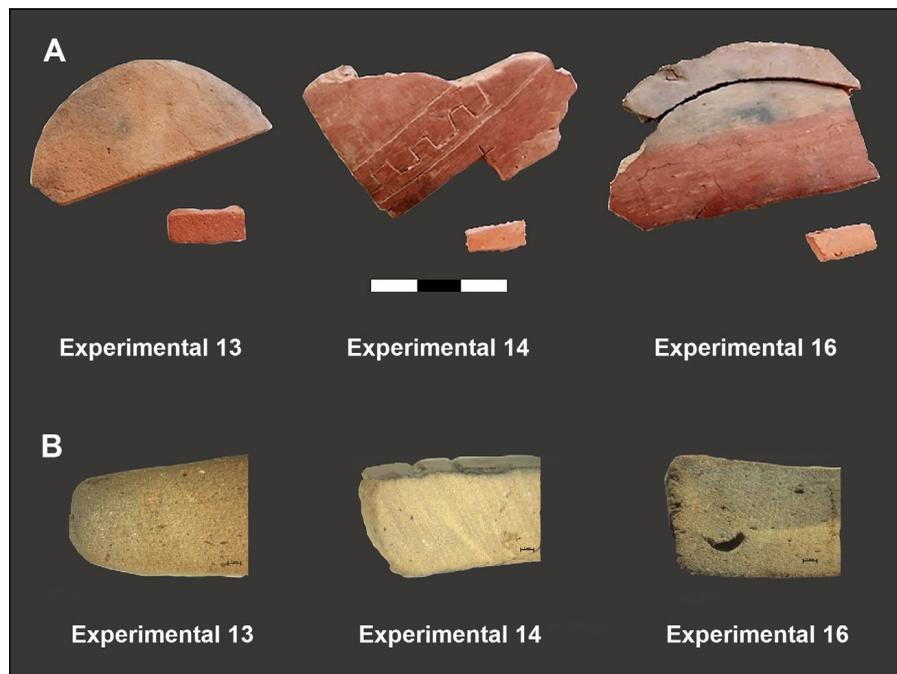


Figura 4. A) Discos experimentales manufacturados por la ceramista Alicia Francese. Cada uno presenta un prisma de 20 mm de alto x 6 mm de ancho x 8 mm de espesor, aproximadamente, que fue analizado térmicamente y B) Cortes frescos de los discos experimentales aquí estudiados, utilizando una lupa binocular Zeiss STEMI 305 de bajos aumentos (8X) en conjunto con un iluminador de alta intensidad de dos brazos led. Nótese las cavidades de las muestras.

muestra sometida a un programa de calentamiento. Las pérdidas de masa pueden asignarse a reacciones de descomposición o combustión, según las temperaturas a las que se producen y a los picos observados en el anterior análisis (Kingery, 1974, p. 109; Palavinel y Rajesh Kumar, 2011; Shepard, 1968, p. 145-146). Por su parte, las TMA permiten estudiar con precisión los cambios dimensionales de los materiales cuando se someten a un determinado tratamiento térmico (Tite, 1969; Zhu et al., 2014). Para ello se utilizó un equipo Rigaku Thermo EVO 2 8311, donde las muestras fueron sometidas a calentamientos de 10 °C/min hasta 1000 °C. Finalmente, la DRX permite, a nivel mineralógico, distinguir y cuantificar las fases cristalinas presentes en un material sólido para poder caracterizar los cambios producidos en las estructuras cristalinas presentes en una arcilla y los minerales incluidos en esta (Maggetti, 1982; Shepard, 1968, p. 146). En un difractograma cada fase ocupa un lugar determinado visible a través de picos que poseen una posición e intensidad fija (M. Morosi, comunicación personal, 2023). Para el análisis por DRX se empleó el equipo Expert Pro Panalytical.

Por último, con el fin de conocer la porosidad de los fragmentos arqueológicos y de las muestras experimentales se llevó a cabo una adaptación del Método Arquímedes que nos permitió conocer acerca de la temperatura alcanzada en relación con el grado de porosidad y su dureza. Las tareas de este ensayo se realizaron en el CETMIC. Vale aclarar que este estudio no sirve para polvos y debe consignarse si el material posee poros. Se trata de una prueba sobre cualquier material cocido para determinar el porcentaje de volumen vacío o porosidad del material cerámico. Es requisito contar con una bomba de vacío y una balanza analítica. La muestra cerámica debe ser de aproximadamente 1 gr (Mari, 1998; Morales Güeto, 2005; Radeva, 2006). Con el propósito de eliminar la posible cantidad de agua residual/ambiental del espécimen cerámico, es necesario dejarlo secar en una mufla a 110 °C por 24 hs. Luego, se registra su peso que será considerado como "peso en seco". Posteriormente, la

muestra es colocada en un vaso de precipitado con agua destilada hasta cubrir y se lleva durante dos horas a la bomba de vacío. Transcurrido este tiempo, se retira y en la balanza se la coloca en un recipiente con agua destilada (cuya densidad conocemos:  $1 \text{ Dliq g/cm}^3$ ) por medio de un alambre colgado de uno de los brazos de este instrumento. Se registra su pesaje que se denomina "peso sumergido". Por último, se retira la muestra del agua, se seca suavemente y se determina su peso "en húmedo". Es importante notar que para este último paso se debe evitar un secado excesivo del fragmento a fin de no quitar totalmente el agua que ingresó en los poros del material. El procedimiento del Método Arquímedes aplicado sigue las Normas IRAM 12 510 (Figura 5).

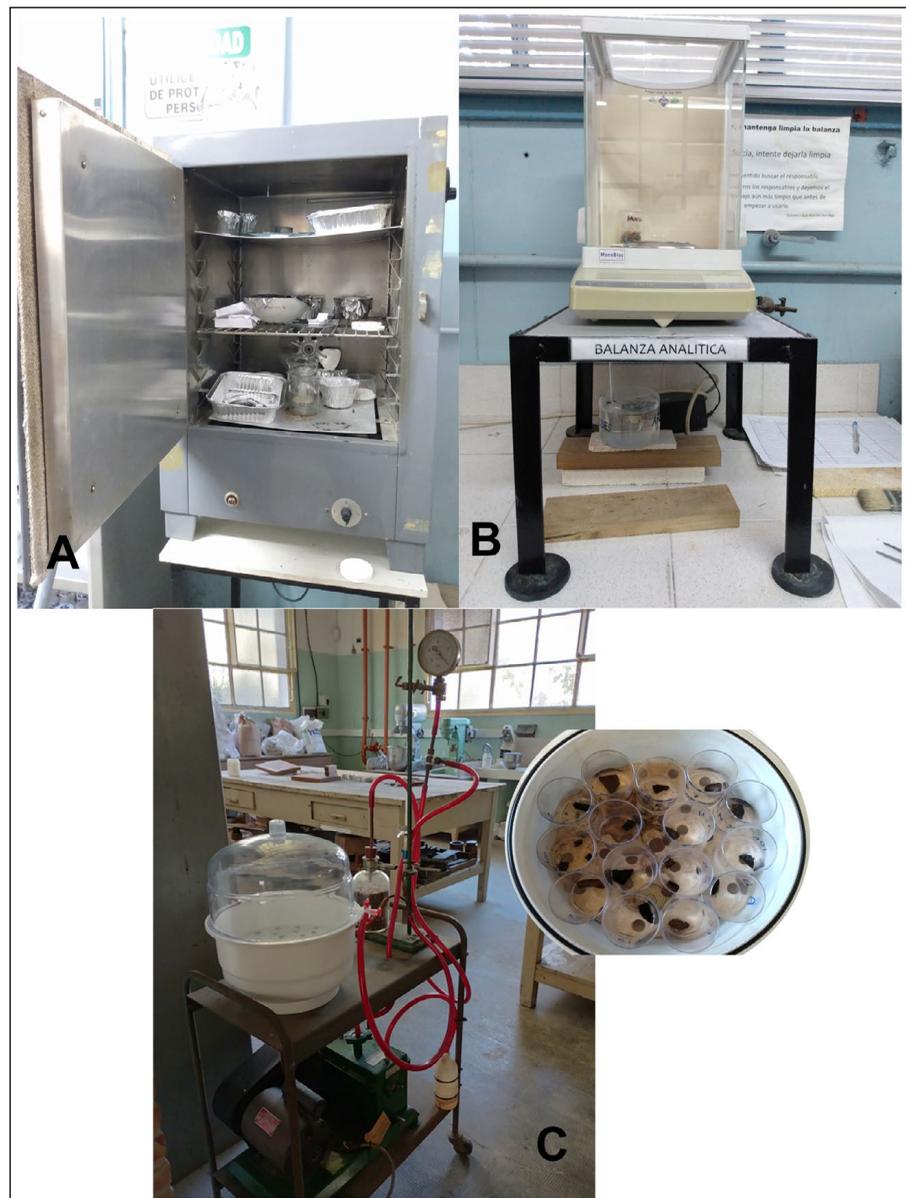


Figura 5: Instrumental para el análisis de porosidad a través del Método de Arquímedes. A) Horno para el secado de las muestras. Temperatura máx.  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . B) Balanza analítica y C) Bomba de vacío con el detalle de las muestras fraccionadas y sumergidas en agua destilada.

## Resultados

En términos generales de dureza, color y porosidad, los discos experimentales y los tiestos arqueológicos son comparables en dureza 1 (rayado fácilmente con la uña) y 2 (rayado con la uña con mayor dificultad) de la Escala de Mohs. En cuanto al color, las arcillas del material experimental tienden a un tono más rojizo (disco N° 13: 2.5YR5/8) y marrón claro (discos N° 14 y 16: 7.5YR6/3), mientras que los fragmentos arqueológicos tienen una tendencia al marrón rojizo más oscuro (5YR4/3 y 5YR4/4). En cuanto a la porosidad, los recientes resultados por Método Arquímedes han demostrado que las muestras experimentales oscilan entre 27,1 y 32,2% y los ítems arqueológicos (Rivas González et al., 2021) lo hacen entre un 19 y 32,7%.

### Arcillas

Los difractogramas de las arcillas muestran el predominio de cuarzo, illita, plagioclasa, feldespato potásico, calcita y óxidos de hierro. Sólo en la arcilla de La Cuña notamos la presencia de montmorillonita esmectita además de illita.

En los gráficos de ATD/TG, las pérdidas de masa visualizadas a los 150 °C se deben a la deshidratación de las arcillas. La arcilla 4 es la que presenta mayor pérdida de masa, probablemente se trate de una arcilla expansiva con algún interestratificado tipo illita/montmorillonita o montmorillonita sugiriendo una mayor absorción de agua y favoreciendo la plasticidad. Sin embargo, este pico no se observa en el difractograma. Por su parte, en la arcilla de La Cuña se observó una pérdida de masa a partir de los 400 °C y picos exotérmicos entre 300 y 400 °C que se vincularían con la combustión de la materia orgánica contenida en la arcilla. A su vez, todas las arcillas presentan picos correspondientes a la transformación alfa-beta del cuarzo en las curvas de ATD, aproximadamente a los 573 °C, visible por la gran cantidad de cuarzo presente en las muestras. También existe una pérdida de masa a partir de los 400 °C, compatible con las deshidroxilaciones de las arcillas, acompañada por bandas endotérmicas (Figura 6).

### Muestras experimentales

En los estudios por DRX, los discos experimentales muestran similitudes con los datos de las muestras arqueológicas mencionadas inicialmente (Rivas González et al., 2021). Las tres piezas presentan una banda correspondiente a material amorfo entre 15 y 30 °C, lo cual dificulta la identificación de las fases. Sin embargo, para la muestra Experimental 13 se pudo identificar la presencia de cuarzo, illita, plagioclasa, feldespato potásico y magnetita; para la Experimental 14 cuarzo, illita, plagioclasa y feldespato potásico; y finalmente, para la Experimental 16, cuarzo, illita, plagioclasa, feldespato potásico, trazas de gehlenita y hematita.

Los ATD/TG de los fragmentos Experimental 13 y 16 presentan similares pérdidas de peso. En el caso de la pieza Experimental 14 muestra una mayor pérdida de masa producto de una gran cantidad de agua contenida en la pasta y a una cocción deficiente, característico de quemados al aire libre y a baja temperatura. En las curvas de ATD/TG de todos los ejemplos no se observan picos que indiquen combustión de materia orgánica.

En las dilatometrías se observa que en la Experimental 13 recién comienza a manifestarse una contracción más pronunciada a partir de los 800 °C, mientras que en los discos Experimental 14 y 16 comienzan a revertirse la expansión a partir de 650 y 700 °C. Además, en todas las muestras se observa una menor pendiente de dilatación hasta los 500 °C. Esto podría deberse a la mayor cantidad de arcillas que

no han sido totalmente deshidratadas. También, se registra un leve aumento de la pendiente de expansión producida por la transformación de la fase cuarzo alfa-beta en 573 °C (Figura 7).

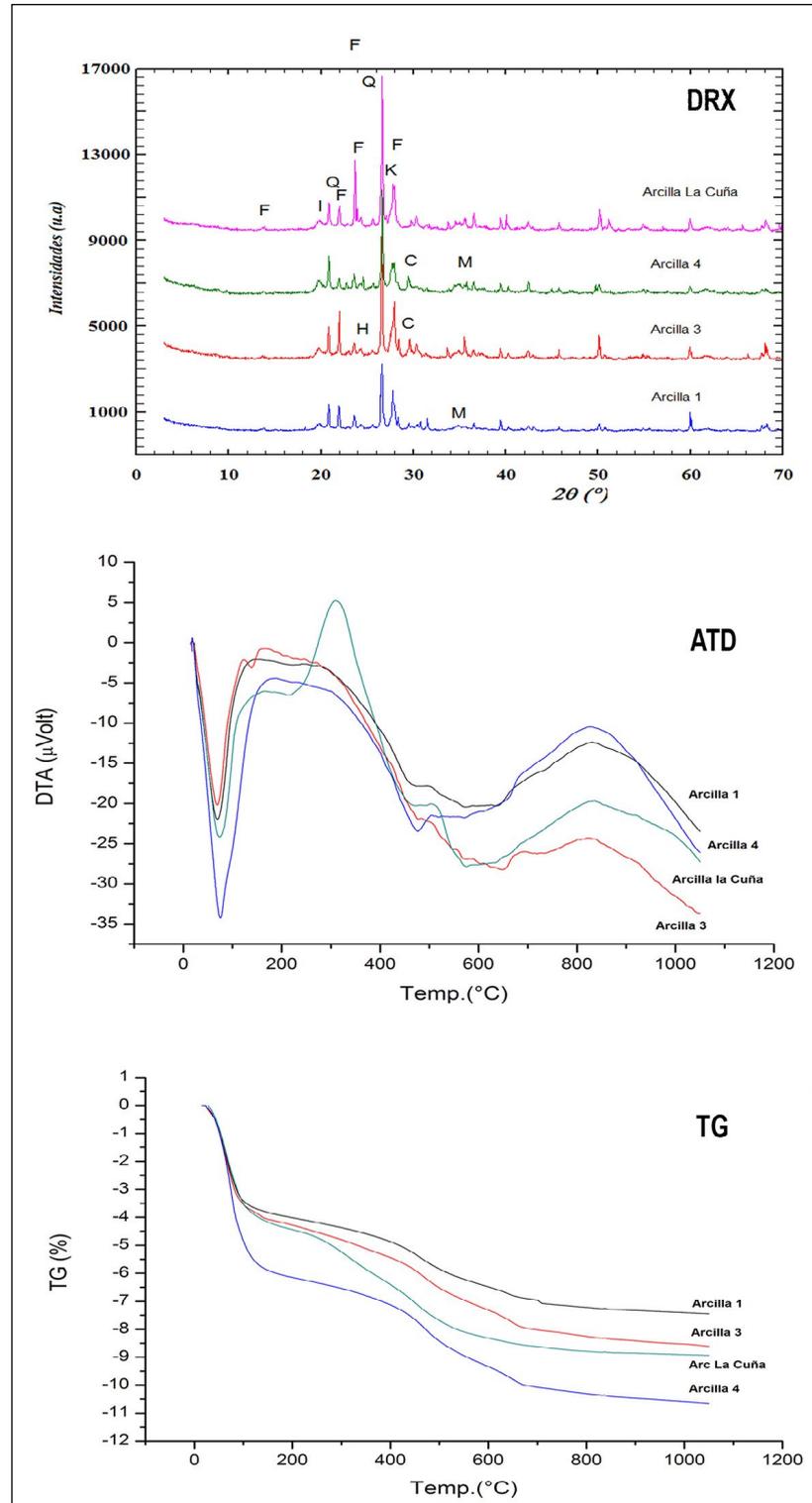


Figura 6. Análisis térmico de muestras de arcillas. Referencias mineralógicas: Q: cuarzo; I: Illita; F: Feldspatos Plagioclasas y K: Feldspatos potásicos.

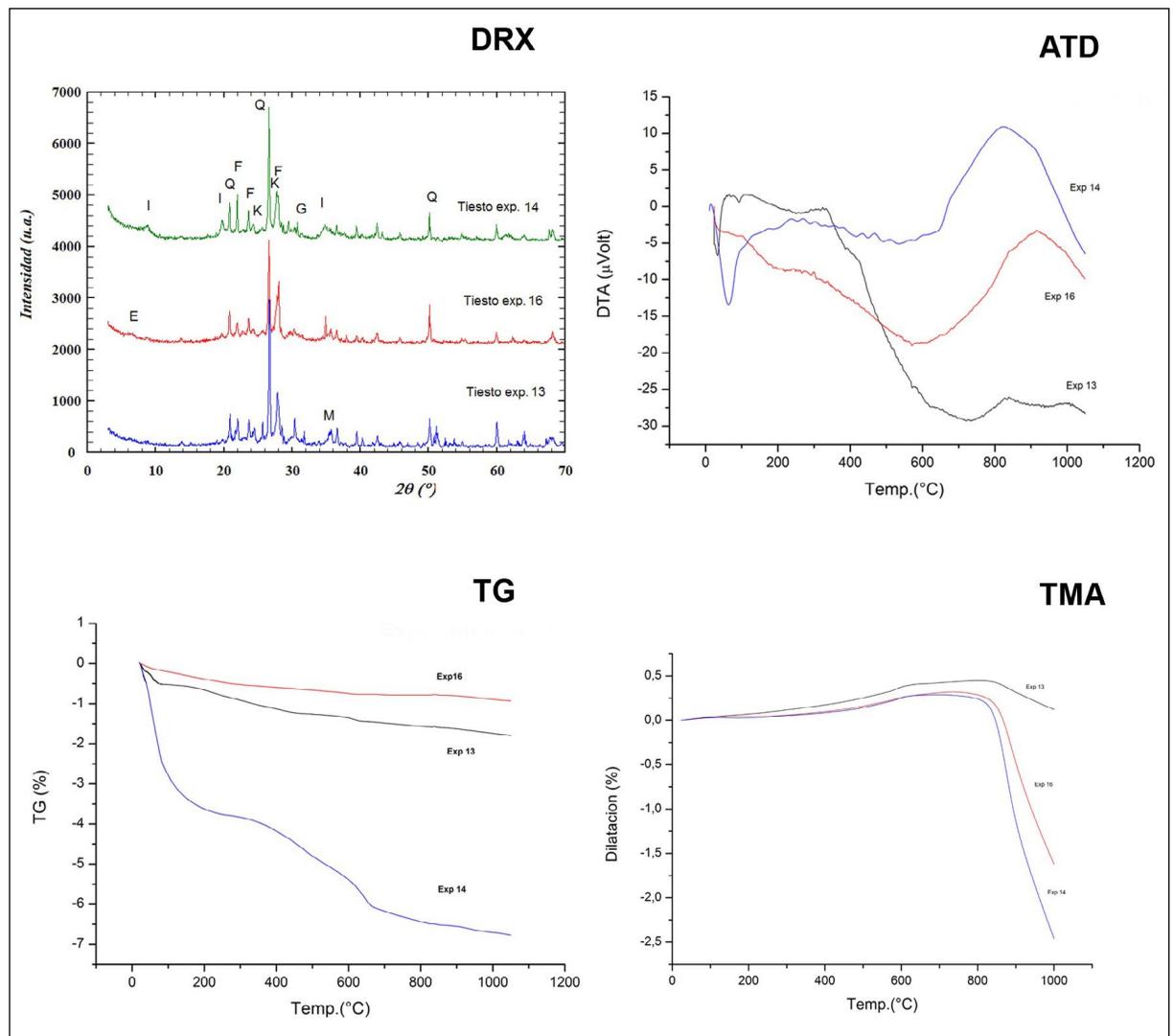


Figura 7. Análisis térmico de teselas experimentales. Referencias mineralógicas: Q: cuarzo; I: Illita; F: Feldespatos Plagioclasas; K: Feldespatos potásicos; M: magnetita y G: Gehlenita.

## Discusión

Cabe preguntarnos ¿para qué nos sirve determinar las temperaturas de cocción de los materiales cerámicos? Según Livingstone Smith (2001, p. 1001), los rangos de temperaturas por sí solos no nos conducen a explicar de forma detallada los procedimientos de cocción empleados en el pasado. Para ello, sería necesario sumar a nuestras investigaciones datos provenientes de otras líneas científicas como, por ejemplo, tareas experimentales, información proveniente de resultados etnográficos, entre otros. Por tal razón, nuestra intención fue articular, a través de la experimentación y la arqueometría, los resultados de los materiales aquí estudiados. A partir de ello pudimos considerar los aspectos descritos a continuación.

En lo que respecta a los ejemplos de arcillas, los estudios de DRX permitieron identificar componentes en proporciones similares a los materiales arqueológicos y experimentales. El difractograma señaló un alto contenido de sílice, lo que proporciona un cuerpo cocido refractario. A su vez, la permanencia de filosilicatos

y de picos de minerales de illita evidenciaron temperaturas de cocciones entre los rangos de 700 y 800 °C (Gliozzo, 2020). Por otra parte, a partir de los ATD/TG encontramos diferencias entre las arcillas en términos de distintas capacidades de absorción de agua. Por ejemplo, la arcilla 4 es la que posee mayores características expansivas. Esto hace suponer que tenga montmorillonita o algún componente interstratificado. La montmorillonita entre las capas estructurales aloja cationes que pueden rodearse de moléculas de agua con enlaces débiles. Estas moléculas al entrar o salir de la estructura producen hinchamiento y contracción del material. En los interstratificados la presencia de capas tipo montmorillonita les da el mismo comportamiento (Brindley y Brown, 1980). La alta plasticidad y gran encogimiento de la arcilla 4 hace muy difícil el levantado de las piezas grandes, una posibilidad para poder hacerlo es mezclar dos tipos diferentes de arcilla. A nivel arqueológico, González de Bonaveri (1991, p. 109) realizó análisis de cortes delgados a fragmentos cerámicos provenientes del sitio La Guillerma 1 y observó el empleo de dos tipos de arcillas y el agregado no plástico de arenas finas, tiestos molidos y pigmentos minerales en las pastas. Según Francese, al momento de amasar las arcillas debe existir un buen manejo de las proporciones y tratamientos (levigado, tamizado, etc.) de las mismas, además de los antiplásticos y del agua, ya que, si se excediera la cantidad de agua, las arcillas pasarían a ser una masa pegajosa (adhesividad). De ahí, la importancia de mezclar distintos tipos de arcilla o de agregar materiales antiplásticos como arena, conchilla, tiesto molido entre otros, con el fin de regular la plasticidad natural del barro y, al mismo tiempo, reducir la formación de tensiones o grietas (A. Francese, comunicación personal, 2023). El recurso de agregar materiales antiplásticos a las arcillas o mezclarlas entre sí, es lo que se decidió llevar a cabo en las muestras Experimentales 13 y 14.

En cuanto al conjunto experimental de arcillas cocidas, los difractogramas presentan similitudes con relación a los minerales hallados en los tiestos arqueológicos y en las arcillas puras. Se resalta la presencia de trazas de montmorillonita en el disco Experimental 16 y mayor cantidad de illita en Experimental 14. Probablemente ambos datos (la presencia de montmorillonita e illita) estén implicando una baja temperatura o poca cocción, ya que el registro por termocupla no sobrepasó los 600 °C. Por otro lado, en los gráficos de ATD/TG no se observa la combustión de materia orgánica y se detecta poca cocción en la muestra Experimental 14, lo que posiblemente se deba a la utilización de un ciclo de cocción relativamente corto, a la manufactura de una muestra de espesor grueso o a la disposición de ésta en un fogón que presentaba baja temperatura. Además, la muestra Experimental 14 presenta una pérdida de masa mucho mayor que en los demás discos, especialmente a baja temperatura, lo que se implicaría que las temperaturas no superaron las correspondientes a las deshidroxilaciones de las arcillas. Respecto a lo técnico, una pieza con estas características probablemente sea más porosa y no se haya compactado en su totalidad. Estudios previos de cortes delgados para análisis petrográficos son coincidentes con los resultados de ATD/TG, ya que se registraron cavidades pertenecientes a una numerosa cantidad de restos orgánicos vegetales en los tres casos experimentales (Frère, 2015, p. 118, González de Bonaveri et al., 2000). Según las TMA, hay episodios de dilatación hasta los 500 °C y contracciones entre 650 a 800 °C. Esto indica que la muestra Experimental 13 se habría cocinado a no más de 800 °C, mientras que las muestras Experimental 14 y 16 no habrían alcanzado temperaturas de cocción mayores a 700 °C. En estas últimas el déficit de cocción pudo deberse a varias causas: poco tiempo de cochura del material cerámico, una rápida combustión de la leña o, por el contrario, una falta de combustión de la madera al momento de quemarla, y/o un aumento de los vientos que pudieron provocar un descenso rápido de las temperaturas del fogón, como lo están demostrando las actuales quemadas experimentales que está haciendo una de las autoras de este trabajo (MRG).

Los picos elevados de concentración de cuarzo en la matriz arcillosa registrados por DRX en muestras arqueológicas, arcillas puras y cerámicas experimentales hacen suponer que la contracción o expansión diferencial de las inclusiones de minerales de arcilla y de cuarzo durante el secado, cocción y enfriamiento, formaron una red de grietas. Durante el secado, la matriz de arcilla se contrae y ejerce tensión sobre las inclusiones de cuarzo, lo que provoca microdaños. Una posible explicación a la aparición de estas grietas se deba al tamaño más fino de las partículas de las arcillas, por ejemplo (Carter, 2002, p. 278). Otra causa, puede ser que, al momento de cocer las piezas, la gran expansión que acompaña a la transición de la fase alfa-beta alrededor de los 573 °C ejerce tensión sobre la matriz circundante, dando como resultado deterioros a nivel de micro fisuras/microgrietas tanto en la matriz como en las superficies (Tite et al., 2001). En el análisis macroscópico realizado a los fragmentos (N° 25 y N° 27 de La Cuña, N° 17 de Vitel y N° 39 de Techo Colorado) se pudieron detectar grietas y microgrietas en las superficies (Rivas González et al., 2021). Otra causa de la presencia de estas en el material arqueológico puede estar relacionada con su manufactura. Es decir, al momento de preparar la pasta, el uso de arcillas con un alto contenido de cuarzo en su composición provocará el agrietamiento durante el proceso de cocción (Ibáñez y Sandoval, 1996). Con el fin de contrarrestar dicha situación, los autores recomiendan ralentizar el enfriamiento de las piezas. De igual manera, el deterioro por grietas ha podido ser detectado a nivel macroscópico en los conjuntos aquí analizados. La aparición de grietas en los discos experimentales pudo deberse a que, durante el proceso de secado, el agua se evaporó más rápido en la superficie que en el interior y se contrajo de la misma manera (más rápido en el exterior que en el interior). En algunos casos, las grietas que se forman tienden a no ser visibles a ojo desnudo, pero sí aparecerán al cocinar las piezas. En los ensayos experimentales este problema fue solucionado agregando conchillas, arena o tiesto molido, los cuales evitaron los daños durante el secado y la cocción, ya que la arcilla tendió a encogerse menos y disminuyó el peligro de propagación de grietas dando más resistencia al choque térmico (Francese, 2000, p. 27). Análisis de pastas mediante cortes delgados en fragmentos cerámicos del sitio La Guillerma 1 indican una manufactura en la que se agregó tiesto molido a la preparación de la pasta arcillosa. Como vemos, los alfareros del Salado pudieron emplear este material antiplástico, o bien, utilizar las arcillas en su estado natural o mezclándolas con otras (Frère, 2015; González de Bonaveri, 2002)

Desde el punto de vista de la dureza, no se registraron diferencias sustanciales entre el material experimental y el arqueológico. Sin embargo, en cuanto al color, los contrastes indican diferencias de tonalidades entre ambos ejemplos. ¿A qué se debe tales disparidades? Los tiestos arqueológicos pudieron ser sometidos al fuego en reiteradas oportunidades y sufrir los efectos de los procesos postdeposicionales que propiciaron los cambios de tonalidad, a diferencia de los discos experimentales que son ejemplos de ensayos realizados en ambientes controlados sin ninguna alteración posterior. Por otro lado, no se descarta que las variaciones cromáticas también puedan deberse a otros factores, tales como la posición de los cacharros en el fogón, el cambio brusco de las temperaturas, entre otros.

Las relativas coincidencias porcentuales en la porosidad del material arqueológico y experimental (alrededor del 30%) pueden interpretarse como piezas que presentan un elevado porcentaje de poros, como ya fuera observado en estudios petrográficos previos (Frère et al., 2012). A nivel técnico y funcional, la porosidad, al estar vinculada directamente a la estructura del cuerpo de las cerámicas, constituye una de las propiedades básicas de la alfarería ya que no solo afecta a la densidad y permeabilidad de los cacharros sino también a la resistencia a la abrasión y al desgaste (la dureza), a la fragmentación o fisura (la fuerza), al choque térmico (la conductividad térmica) y a la erosión química y mecánica (Clop García, 2001; Shepard, 1968; Vidal, 2003, p. 3). Además, la presencia de materia orgánica resulta ser un potenciador de la plasticidad

que, al quemarse durante la cocción, aumenta la porosidad y, como los ítems de barro tienen baja vitrificación, esta porosidad no se vería absorbida (Morales Güeto, 2005). A menudo, con el propósito de mitigar el elevado porcentaje de porosidad, las superficies de las cerámicas suelen ser cubiertas por algún impermeabilizante o emparejamiento de las superficies a través de la aplicación de un engobe y/o pintura (García Heras, 2020). Esta técnica alfarera de recubrir las superficies de las piezas ha sido registrada en los fragmentos arqueológicos del Salado al igual que lo ha tenido en cuenta la ceramista Francesa al momento de manufacturar los discos experimentales que aquí se presentaron.

El análisis por DRX de los fragmentos cerámicos arqueológicos detectó la presencia del mineral gehlenita como un indicativo de la existencia de carbonatos (por ejemplo, caracoles u otros moluscos de agua dulce) que se descomponen alrededor de los 700 °C. La formación de gehlenita podría ocurrir como resultante de la descomposición de los minerales de arcilla con la sílice, con el cuarzo libre o con el óxido de calcio. Al mismo tiempo, la illita sin descomponer da cuenta de una quema de las piezas por debajo de los 950 °C (Gliozzo, 2020; Serra et al., 2013).

Los análisis de ATD/TG mostraron picos endotérmicos a los 200 °C y exotérmicos a los 300 °C. Los primeros refieren a un proceso de deshidratación y los segundos, a la combustión de la materia orgánica y/u óxido de hierro (Rivas González et al., 2021). En los termogramas de todas las muestras arqueológicas, se observó que a los 573 °C se produjo una transformación del cuarzo de alfa a beta. Como mencionamos en la introducción, esta inversión viene acompañada de una expansión del volumen que no suele ser muy alta (2%), pero que da lugar a la formación de grietas y microgrietas en los productos cocidos, produciendo un deterioro de la resistencia mecánica del material. Para subsanar este defecto, la curva de enfriamiento debe ser lo más lenta posible (Ibáñez y Sandoval, 1996, p. 434). La formación de grietas posiblemente puede coincidir con reiteradas exposiciones al fuego o con el momento de la inversión del cuarzo. Este último se correspondería con un enfriamiento ocurrido de forma rápida, quizás por apartar las vasijas del fogón demasiado pronto o por un enfriamiento del fogón a causa de ráfagas de viento que provocaron el descenso de las temperaturas. Vale notar que en fogones experimentales que se están llevando a cabo actualmente, que emplean madera de tala, pudimos registrar dos datos referidos al accionar de los vientos. Por un lado, éstos hicieron combustionar la leña demasiado rápido y por el otro, en días con fuertes ráfagas, por ejemplo, del sector SE (entre 18 y 22 km/h), ocasionaron que las temperaturas del fogón mostraran variaciones y descensos de grados en aproximadamente un 17% (de 540 a 450 °C).

Por último, los estudios dilatométricos fueron coincidentes con los datos de ATD/TG y DRX al aportar un rango de temperatura entre 750 y 800 °C al que fueron quemadas las cerámicas (Rivas González et al., 2021, pp. 35-36). Las temperaturas de cocción originales de las vasijas arqueológicas se ubican en un rango que oscila entre 600 y 950 °C. Asimismo, a nivel macrorregional, nuestra información es coincidente con los datos térmicos aportados por los colegas de la región bonaerense, noreste y Patagonia, mencionados inicialmente en la introducción. En base a sus resultados analíticos y experimentales, y los aportados en este trabajo, podemos suponer que los alfareros del Salado no cocieron sus vasijas en estructuras fijas ni cerradas, sino que utilizaron pozos o fogones a ras de piso y a cielo abierto con empleo de combustible local, alcanzando resultados de cocción similares a los experimentales.

El registro en forma de carbones arqueológicos de tala dispersos encontrados en la localidad arqueológica La Guillerma da cuenta del empleo del combustible leñoso local. Se sabe que los montes de tala estaban disponibles y pudieron ser la posible fuente de combustión usada por los grupos prehispánicos del Salado (González de

Bonaveri, 2002, p. 215). Probablemente, estos lugares protegidos por los bosques naturales de tala pudieron usarse no sólo para la quema de vasijas, sino que mientras el fogón estaba disponible, se llevarían a cabo otras funciones de la actividad cotidiana, como cocinar alimentos, y la obtención de luz, calor o protección frente a posibles amenazas de animales. Un trabajo de entrevistas realizado recientemente en la ribera platense sobre el empleo de recursos vegetales mostró que si bien el tala es un árbol nativo, en peligro de extinción, de madera semidura y que tarda años en desarrollarse, aún hoy las poblaciones de Buenos Aires lo siguen eligiendo (Domeucq, 2019). El uso que le dan es a nivel doméstico, como combustible. Su madera les sirve tanto para cocinar como para calefaccionarse. Los pobladores concuerdan que la madera del tala se combustiona muy rápidamente a diferencia de otras especies, como por ejemplo el quebracho. Tanto las experiencias de quema llevadas a cabo por la ceramista Francesa como las pruebas experimentales de cochuras de una de las autoras son coincidentes con lo observado por Domeucq, en cuanto a la extremada rapidez con que se consume esta madera. Frente a ello, suponemos que las poblaciones del Salado habrían tenido que moderar la cantidad y el ritmo a la hora de añadir material combustible al fogón. En este sentido, Carter (2002, p. 279) sostiene que el agregado de combustible durante el proceso de cocción de manera rápida o de una sola vez, podría elevar las temperaturas del fogón demasiado y provocar el agrietamiento o fracturas de las vasijas.

## Conclusión

La presentación de los resultados térmicos de las arcillas locales, de los ensayos experimentales y de los estudios arqueométricos nos permitió ahondar en los análisis de temperaturas de las alfarerías bonaerenses. La articulación de estos diferentes análisis nos permite sugerir que: 1) los grupos del pasado que habitaron la microrregión habrían seleccionado, manejado y procesado los barros del paisaje teniendo en cuenta sus propiedades, proporciones y aptitudes a la hora de elaborar los recipientes; 2) conocían el comportamiento de las pastas a la hora de someterlas a las temperaturas del fogón; y 3) realizaban quemas a bajas temperaturas y en fogones a cielo abierto con madera de montes de tala, dando como resultado piezas de una calidad óptima para el quehacer culinario.

En base a los resultados aquí presentados se sugiere que los artesanos del pasado se enmarcaban en un conocimiento y en una estrecha relación con los recursos del paisaje bonaerense. En este sentido, como menciona Cadena Muñóz (2020), la tradición alfarera se encontraría inmersa entre la materialidad (que está dispuesta en las cadenas de producción, las acciones tecnológicas, las tomas de decisiones) y el saber hacer. Ambos constituyen la identidad de una comunidad. Asimismo, tanto la elección del lugar de extracción de las arcillas como la labor con esta materia prima entablaría nexos entre sus atributos como el barro y el conocimiento de los alfareros. Estos últimos asumirían la arcilla como un componente cultural, como el eje central de la vida económica y social de la población. La arcilla forma parte de la vida de los alfareros, ambos confluyen y estos se apropian de ella.

Finalmente, entre los trabajos en curso se cuenta con el análisis térmico de nuevos fragmentos que conforman el repertorio de los sitios del río Salado, como, por ejemplo, cuellos de botella, masas de arcillas, bordes con agujeros de suspensión, tiestos con decoración unguiculada con pintura blanquecina, corrugados y cepillados, entre otros. Esta última tarea nos permitirá ahondar aún más en detalle sobre la tecnología cerámica y la cadena operativa de otros ítems cerámicos que conforman el conjunto artefactual alfarero de las poblaciones que habitaron la Depresión del Salado en el pasado.

## Agradecimientos

Agradecemos a las doctoras María Isabel González de Bonaveri, María Magdalena Frère y Paula Escosteguy, por sus lecturas críticas, y al personal del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC). A los evaluadores anónimos que con sus observaciones y comentarios mejoraron sustancialmente este manuscrito. También al Arq. Enrique Gaspar Böhl por la confección de las figuras, a la ceramista Alicia Francese por sus aclaraciones específicas del campo cerámico y al Prof. Alejandro Fernández por sus observaciones sobre sedimentología. Este trabajo se realizó bajo los subsidios PICT 00381/2020, PIP 112202001003242021/2023 y UBACYT 2018-2021 20020170100525BA.

## Referencias citadas

- » Araújo, J. H. D., Silva, N. F., Acchar, W. y Gomes, U. U. (2004). Thermal decomposition of illite. *Materials Research*, 7(2), 359-361. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/28983>
- » Balesta, B., Paleo, M. C., Pérez Meroni, M. y Zagorodny, N. (1997). Revisión y estado actual de las investigaciones arqueológicas en el Parque Costero Sur. En M. Berón y G. Politis (Eds), *Arqueología de la Región Pampeana en la década de los '90* (pp. 147-160). Mendoza: Museo de Historia Natural de San Rafael.
- » Bognanni, F. y de Haro, M. T. (2021). Estudio preliminar de la cerámica hallada en la costa de Itatí, Corrientes (Argentina). Caracterización y principales discusiones. *Nailos. Estudios Interdisciplinarios en Arqueología*, 8, 186-206. <https://nailos.org/index.php/nailos/article/view/208> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Botto, I. L., Barone, V. L., Cremonte, M. B. y Sánchez, M. A. (1998). Estudios arqueométricos de cerámicas provenientes del Noroeste Argentino. *Información Tecnológica*, 9(6), 79-86.
- » Brindley, G. y Brown, G. (1980). *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification*. Londres: Mineral Society Monograph Volumen 5, Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. <https://doi.org/10.1180/mono-5>
- » Cadena Muñoz, A. (2020). Saber hacer y tradición en La Chamba, Colombia: un estudio etnográfico de la selección de arcillas. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 49(1), 19-40. <https://doi.org/10.4000/bifea.11504>
- » Carter, M. (2002). Prehistoric Ceramic Production: Raw Materials and Firing Methods of the La Crosse Locality Oneota. *Journal of Undergraduate Research*, 5, 261-280. [https://www.uwlax.edu/globalassets/offices-services/urc/jur-online/pdf/2002/m\\_carter.pdf](https://www.uwlax.edu/globalassets/offices-services/urc/jur-online/pdf/2002/m_carter.pdf) (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Clop García, X. (2001). El foc i la ceràmica. *Cypsela*, 13, 59-72. <https://raco.cat/index.php/Cypsela/article/view/112469> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Cremonte, M. B. (2003). Producción cerámica de la tradición Tafí. Estudios tecnológicos de la alfarería arqueológica de la Ciénega (Tucumán, noroeste de Argentina). *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, 13, 57-74. <https://doi.org/10.11606/issn.2448-1750.revmae.2003.109465>
- » Cremonte, M. B., Baldini, M. y Botto, I. L. (2003). Pastas y colores. Un camino al conocimiento del estilo Portezuelo de Aguada. *Intersecciones en Antropología*, 4, 3-16. <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/handle/123456789/838>
- » Cremonte, M. y Botto, I. (2000). Cerámicas arqueológicas de La Ciénega (Dto. Tafí, Tucumán): estimación de las temperaturas de cocción en base a las propiedades térmicas de las arcillas. *Revista del Instituto de Geología y Minería*, 13(1-2), 33-40.
- » Di Prado, V., Bonomo, M., Conconi, S., Canela, C., Genazzini, C. y Silva, C. (2022). Lo que ganamos con el fuego. Estudio arqueométrico de las temperaturas de cocción en alfarería prehispánica del Delta Superior del río Paraná (Argentina). *El Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 17(3), 1-17. <https://doi.org/10.1590/2178-2547-BGOELDI-2021-0075>
- » Di Prado, V., Prieto, N., Conconi, S. y Maggi, J. (2015). Primeras aproximaciones a las condiciones de cocción de la alfarería prehispánica del sitio Los Tres Cerros 1 (Delta Superior del río Paraná, provincia de Entre Ríos). *Revista del Museo de La Plata, Antropología*, 14(89), 38. <https://doi.org/10.24215/25456377e204>
- » Domeucq, M. B. (2019). *Evaluación etnobotánica de los recursos vegetales combustibles actuales y potenciales de la Ribera Platense (Provincia de Buenos Aires, Argentina)* [Tesis de Doctorado inédita], Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- » Eiroa, J. J. (2000). *Nociones de prehistoria general*. Barcelona: Ariel Prehistoria.
- » Escosteguy, P. y Fernández, A. (2017). The Effects of Bioturbation by Earthworms. Preliminary Results of an Actualistic Taphonomy Experiment. *Journal of Taphonomy*, 15, 11-27. <http://hdl.handle.net/11336/75619>

- » Escosteguy, P., Rivas González, M., Fiel, M. V. y Vigna, M. (2017). A orillas de la Laguna de Lobos: el sitio arqueológico Techo Colorado (microrregión del río Salado Bonaerense), *Comechingonia. Revista de Arqueología*, 21(2), 15-45. <https://doi.org/10.37603/2250.7728.v21.n2.26576>
- » Fernández, A. y Escosteguy, P. (2019). Bioturbación por lombrices en sitios arqueológicos: Análisis desde la tafonomía experimental. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (Series Especiales)*, 7(2), 99-109. <http://hdl.handle.net/11336/163108>
- » Fidalgo, F., De Francesco, F. y Colado, U. (1973). Geología superficial en las hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio (Provincia de Buenos Aires). En *Actas del V Congreso de Geología Argentina Volumen 4*, pp. 27-39). Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina (AGA).
- » Francese, A. (2000). Secuencia de la experimentación cerámica en el sitio arqueológico de la Guillerma. En M. I. González de Bonaveri (Ed.), *Arqueología de la Provincia de Buenos Aires. Uso del territorio y vida cotidiana* (pp. 26-30). Chascomús: Municipalidad de Chascomús.
- » Francese, A., Miguéliz, G. y Sabbatella, M. (2011). *Cerámica y Arqueología. Producción Interdisciplinaria del Conocimiento*. Chascomús: ISFA-Escuela de Cerámica de Chascomús.
- » French, C. (2003). *Geoarchaeology in Action*. New York: Routledge
- » Frère, M. M. (2015). *Tecnología cerámica de los cazadores-recolectores-pescadores de la microrregión del río Salado, provincia de Buenos Aires* [Tesis de Doctorado inédita], Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- » Frère, M. M., Francese, A., González de Bonaveri, M. I., Miguéliz, G. y Sabbatella, M. (2023). Diseño experimental aplicado a coberturas cerámicas de cazadores-recolectores-pescadores pampeanos. *Folia Histórica del Nordeste*, 47, 247-264. <http://dx.doi.org/10.30972/fhn.0476799>
- » Frère, M. M., González de Bonaveri, M. I., Chan, D. y Flores, M. (2012). Evidencias químicas de preparación de alimentos en la alfarería de la Depresión del Río Salado. *Anuario de Arqueología*, 8, 141-151. <https://doi.org/10.37603/2250.7728.v16.n2.17992>
- » Frère, M. M., González de Bonaveri, M. I. y Francese, A. (2004). Experimentación y diseño decorativo: primeros ensayos. En C. Gradín y F. Oliva (Eds.), *La región Pampeana -su pasado arqueológico* (pp. 115-121). Buenos Aires: Laborde.
- » Frère, M. M., González de Bonaveri, M. I. y Greco, C. (2016). Continuity in the use of shallow sites of the Salado river basin in the Pampean region, Argentina. *Radiocarbon*, 58(4), 921-933. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.63>
- » Fuentes Ramírez, R., Mejía Ordaz, O., Álvarez, G., Caudillo, B., Guzmán Andrade, J. J. y Gallaga Ortega, Y. (2008). Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 18(3), 20-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41618303> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » García Heras, M. (2012). Caracterización de cerámicas arqueológicas e históricas. En R. Fort González y E. Pérez-Monserrat (Eds.), *La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio* (pp. 69-74). Madrid: Programa Geomateriales, Universidad Complutense de Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/47005>
- » García Heras, M. (2020). La disciplina arqueométrica y la investigación de las sociedades del pasado a través de la cerámica. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 30, 35-54. <https://doi.org/10.30827/cpag.v30i0.15371>
- » García Romero, E. y Suarez Barrios, M. (2012). *Las arcillas: propiedades y usos*. Madrid: Universidad Complutense. <http://www.ingenieroambiental.com/nov/ga.pdf> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » García Verduch, A. (1984). Algunos conceptos básicos de la cocción rápida. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 23(6), 387-392. <http://boletines.secv.es/upload/198423387.pdf> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Gliozzo, E. (2020). Ceramic technology. How to reconstruct the firing process. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(260), 1-35. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01133-y>
- » Gómez, S. E. y Toresani, N. (1998). Pampas. En: P. Canevari, D. Blanco, E. Bucher, G. Castro y I. Davidson (Eds.), *Los humedales de la Argentina - Clasificación, situación actual, conservación y legislación* (pp. 99-114). Buenos Aires: Wetlands International 46.

- » González de Bonaveri, M. I. (2005). *Arqueología de alfareros, cazadores y recolectores pampeanos*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología (SAA).
- » González Bonorino, F. (1965). Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20(1), 67-148.
- » González de Bonaveri, M. I. (1991). Tecnología de la cerámica arqueológica del partido de Chascomús. La cadena operativa en el sitio La Guillerma 1. *Arqueología*, 1, 105-124. <http://repositorio.filo.uba.ar/handle/filodigital/6935>
- » González de Bonaveri, M. I. (2002). *Los cazadores recolectores pescadores de la cuenca inferior del río Salado (Región Pampeana)* [Tesis de Doctorado inédita], Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- » González de Bonaveri, M. I. y M. Frère (2009). Talares y paisaje fluvial bonaerense: arqueología del río Salado. *Intersecciones en Antropología*, 10(1), 249-265. <http://repositorio.filo.uba.ar/handle/filodigital/12550>
- » González de Bonaveri, M. I., Frère, M. M. y Solá, P. (2000). Petrografía de cerámicas arqueológicas de la cuenca del río Salado, provincia de Buenos Aires. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 25, 207-226.
- » González de Bonaveri, M. I. y Zárate, M. (1993-194). Dinámica de suelos y registro arqueológico: La Guillerma, provincia de Buenos Aires. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 19, 285-305. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25056>
- » Gosselain, O. (1992). Bonfire of the Enquiries. Pottery Firing Temperatures in Archaeology: What For? *Journal of Archaeological Science*, 19, 243-259 [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(92\)90014-T](https://doi.org/10.1016/0305-4403(92)90014-T)
- » Hole, F. (1997). Origins of agriculture. En S. Jones, R. Martin, D. Pilbeam (Eds.), *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (pp. 373-379). Cambridge: Cambridge University Press.
- » Ibáñez, A. y Sandoval, F. (1996). La cocción rápida. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 35(6), 433-438. <http://boletines.secv.es/upload/199635433.pdf> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Kingery, W. D. (1974). A note on the differential thermal analysis of archaeological ceramics. *Archaeometry*, 16(1), 109-112. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1974.tb01099.x>
- » Kingery, W. D., Bowen, H. K. y Uhlmann, D. R. (1976). *Introduction to Ceramics*. Nueva York: Wiley Interscience Publication.
- » Lieberherr, R. (2006). *Le feu domestiqué, usage et pratiques dans l'architecture mondiale*. Paris: Collection Établissement Humains et Environnement Socio-Culturel, Volumen 54. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000146145> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Linares, J., Huertas, F. y Capel, J. (1983). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 8, 479-490. <https://doi.org/10.30827/cpag.v8i0.1224>
- » Livingstone Smith, A. (2001). Bonfire II: The Return of Pottery Firing Temperatures. *Journal of Archaeological Science*, 28, 991-1003. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0713>
- » López, M. (1999-2001). Los núcleos de cocción en las pastas cerámicas arqueológicas, indicadores y variables relacionados con algunos aspectos de la secuencia de producción. *Xama*, 12-14, 133-149. <http://repositorio.filo.uba.ar/handle/filodigital/15715>
- » Maggetti, M. (1982). Phase analysis and its significance for technology and origin. En: J. S. Olin y A. D. Franklin (Eds.), *Archaeological ceramics* (pp. 121-133). Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.
- » Maniatis, Y. (2009). The emergence of ceramic technology and its evolution as revealed with the use of scientific techniques. En A. J. Shortland, I. C. Freestone y T. Rehren (Eds.), *From Mine to Microscope: Advances in the Study of Ancient Technology* (pp. 1-18). Oxford: Oxbow Book. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1cd0p5n.7>
- » Mari, E. (1998). *Los materiales cerámicos*. Buenos Aires: Editorial Alsina.
- » Mazzanti, D. y Porto López, J. M. (2007). Caracterización petrográfica y estructural de cerámicas de las sierras de Tandilia. En M. B. Cremonte y N. Ratto (Eds.), *Cerámicas arqueológicas. Perspectivas arqueométricas para su análisis en interpretación* (pp. 97-122). San Salvador de Jujuy: Universidad Nacional de Jujuy.

- » Morales Güeto, J. (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- » Moyano, R. y Frigolé, C. (2013). Replicando cocciones de la cerámica proveniente del sitio San Ignacio (Noroeste de Mendoza). *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 1-2, 72-78. <http://hdl.handle.net/11336/10289>
- » Moyano, R., Marquet, M. y Sammarco Fazio, L. (2010). Tecnología cerámica: estudios experimentales sobre la cerámica del sitio arqueológico San Ignacio (Noroeste de Mendoza). *Huellas*, 7, 30-38. <https://bdigital.uncu.edu.ar/3247> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Munsell (1975). *Munsell soil color charts*. Michigan: Munsell Color Company.
- » Ortega, L. A., Zuluaga, M. C., Alonso, C. y Olaetxea, C. (2005). El estudio arqueométrico de las producciones cerámicas. *Munibe (Antropología-Arqueología)*, 57, 365-388. <http://www.aranzadi-zientziak.org/fileadmin/docs/Munibe/200502365388AA.pdf> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Ots, M. J. y Cahiza, P. (2016). Archaeometric approaches to the functionality of combustion structures (CS) from Central Western Argentina. En E. Stovel y G. de la Fuente (Eds.), *Vessel explored: applying archaeometry to south American ceramics and their production*. (pp. 77-87). Oxford: British Archaeological Reports, BAR International Series #2808, Archaeopress.
- » Palamarczuk, V. (2004). Cocción experimental de cerámica con estiércol de llama. *Intersecciones en Antropología*, 5, 119-127. <http://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/886>
- » Palavinel, R. y Rajesh Kumar, U. (2011). Thermal and spectroscopic analysis of ancient potteries. *Romanian Journal Physics*, 56(1-2), 195-208. [https://rjp.nipne.ro/2011\\_56\\_1-2/0195\\_0209.pdf](https://rjp.nipne.ro/2011_56_1-2/0195_0209.pdf)
- » Pérez Meroni, M. y Blasi, A. (1997). Sitio Arqueológico "El Ancla" Provincia de Buenos Aires. Ensayo y Experimentación de sedimentos pelíticos locales para la manufactura de cerámica. En M. Berón y G. G. Politis (Eds.), *Arqueología pampeana en la década de los '90* (pp. 175-185). Mendoza: Museo de Historia Natural de San Rafael.
- » Radeva, V. (2006). Adaptando el Método de Arquímedes para determinar las densidades y porosidades de muestras pequeñas de cerámica. *Ciencia y Sociedad*, 31(4), 565-585. <https://doi.org/10.22206/cys.2006.v31i4.pp565-585>
- » Ramos Sáinz, M. L. (2002). Historia de la tecnología cerámica: ensayo experimental de su manufactura. En J. Torres (Ed.), *Historica et Philologica: in honorem José María Robles*, (pp. 255-281). Santander: Universidad de Cantabria.
- » Rapp, G. y Hill, C. (1998). *Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*. New Haven: Yale University Press.
- » Rice, P. (1987). *Pottery Analysis: A Sourcebook*. Chicago: University of Chicago Press
- » Rivas González, M., Conconi, S., Magdalena, M. M. y González, M. I. (2021). Estimación de temperaturas de cocción de alfarerías prehispánicas en el río Salado, Pampa Argentina. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 30(2), 25-40. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5745766>
- » Rivas González, M. y Granda, P. (2016). Macroscopic analysis of the archaeological pottery of hunter gatherer fisher groups (Buenos Aires, Argentina). *Dig it. Journal of the Flinders of Archaeological Society*, 3, 24-33. [https://issuu.com/flindersarchsoc/docs/dig-it\\_online](https://issuu.com/flindersarchsoc/docs/dig-it_online) (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Roux, V. (2017). Ceramic Manufacture: The chaîne opératoire Approach. En A. Hunt (Ed.), *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis* (pp. 1-17). Oxford: Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199681532.013.8>
- » Rye, O. S. (1994). *Pottery technology. Principles and reconstruction*. Washington D.C.: Manuals on Archaeology, Volumen 4, Taraxacum.
- » Sánchez Sánchez, V. (2013). *Proyecto para la construcción de un horno cerámico de combustión mixta: gas propano y combustibles vegetales* [Proyecto Final de Carrera inédito]. Escuela Superior de Cerámica de Manises, España.
- » Serra, M. F., Conconi, M. S., Suárez, G., Agiotti, E. F. y Rendtorff, N. M. (2013). Firing transformations of an argentinean calcareous commercial clay. *Cerámica*, 59(350), 254-261. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000200010>

- » Schuster, V. y Prieto, M. E. (2021). *Estimación de temperaturas de cocción en la cerámica del sitio Oporto 2 (provincia de Chubut, Patagonia argentina)*. Trabajo presentado en el VIII Congreso Nacional de Arqueometría. Palpalá, Provincia de Jujuy. Argentina.
- » Shepard, A. (1968). *Ceramics for the archaeologist*. Washington D.C.: Publication 609, Carnegie Institution.
- » Sinopoli, C. M. (1991). *Approaches to archaeological ceramics*. Nueva York: University of Wisconsin Milwaukee Plenum Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9274-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9274-4_1)
- » Solá, P. (2002). Alcances del estudio petrográfico y análisis petrológico de cerámica arqueológicas. Ficha preparada para la Cátedra de Ergología y Tecnología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. Manuscrito inédito.
- » Tcheichvili, L. (1982). Que le debe la humanidad a la arcilla. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 21(4-5), 255-266. <https://boletines.secv.es/upload/198221255.pdf> (Acceso: 11 de marzo, 2024).
- » Tite, M. (1969). Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion: a reassessment. *Archaeometry*, 11(1), 131-143. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1969.tb00636.x>
- » Tite, M., Kilioglou, V. y Vekinis, G. (2001). Strength, Toughness and Thermal Shock Resistance of Ancient Ceramics, and Their Influence on Technological Choice. *Archaeometry*, 43, 301-324. <https://doi.org/10.1111/1475-4754.00019>
- » Vidal, A. (2003). Análisis porosimétricos de materiales cerámicos tempranos del noroeste argentino. En M. J. Feliu Ortega, J. Calleja, M. Edreira Sanchez, M. Fernández Lorenzo, M. Martínez Brell, A. Gil Montero y R. Alcántara Puerto (Eds.), *Avances en Arqueometría* (pp. 3-9). Cádiz: Universidad de Cádiz. <http://hdl.handle.net/10498/27123>
- » Vidarte, L. (1997). *Química. Para descubrir un mundo diferente*. Buenos Aires: Plus Ultra.
- » Wachsmann, N., Callegari, A., de Acha, S. y Soto, D. (2020). Está que arde. Hornos de cocción cerámica del sitio La Cuestecilla, La Rioja. Análisis de las tecnologías de cocción. *Arqueología*, 26(1), 57-85. <https://doi.org/10.34096/arqueologia.t26.n1.5946>
- » Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (UNR), Rosario, Argentina. Manuscrito inédito. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf> (Acceso: 1 de marzo, 2024).
- » Zárate, M., González de Bonaveri, M. I., Flegenheimer, N. y Bayón, C. (2000-2002). Sitios arqueológicos someros: el concepto de sitio en estratigrafía y sitio de superficie. *Cuadernos del Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 19, 635-653. <http://hdl.handle.net/11336/40844>
- » Zhu, J., Zhang, Y., Wang, T., Zhao, C. H., Yu, J. C., Glascock, M. y Wang, C. S. (2014). Determining the firing temperature of low-fired ancient pottery: an example from the Donghulin site, Beijing, China. *Archaeometry*, 56(4), 562-572. <https://doi.org/10.1111/arc.12033>