

# Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones

“Técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana”



Ministerio de Ciencia,  
Tecnología e Innovación  
**Argentina**



Comisión Nacional  
de Energía Atómica



**Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones**  
**"Técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana"**

Casos Científicos presentados durante el  
III Congreso Argentino de Técnicas Neutrónicas

Octubre, 2023

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones : técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana / Gabriela Aurelio ... [et al.] ; Contribuciones de Karina Alejandra Pierpauli ... [et al.] ; Compilación de Gabriela Aurelio ; Coordinación general de Gabriela Aurelio ; Editado por Gabriela Aurelio ; Ilustrado por Natalia Gorbarán ; Gabriela Aurelio ; Prefacio de Gabriela Aurelio. - 1a edición especial - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2023. Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
Edición para COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
ISBN 978-987-1323-88-3

1. Técnicas de Laboratorio. 2. Centros de Investigación. 3. Proyectos de Investigación. I. Aurelio, Gabriela II. Pierpauli, Karina Alejandra, colab. III. Aurelio, Gabriela, comp. IV. Aurelio, Gabriela, coord. V. Aurelio, Gabriela, ed. VI. Gorbarán, Natalia, ilus. VII. Aurelio, Gabriela, ilus. VIII. Aurelio, Gabriela, pref.  
CDD 530.02

Para solicitar copias contactar a [lahn@cnea.gov.ar](mailto:lahn@cnea.gov.ar)

## Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones

"Técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana"

### Autores

#### **Karina Pierpauli**

Directora Ejecutiva

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones  
Comisión Nacional de Energía Atómica  
Argentina.

#### **Javier Santisteban**

Director Científico

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones  
Comisión Nacional de Energía Atómica  
Argentina.

#### **Rolando Granada**

Comisión Nacional de Energía Atómica  
Argentina.

#### **Javier Campo**

Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón  
Zaragoza, España.

#### **Gabriel J. Cuello**

Instituto Laue Langevin  
Grenoble, Francia.



## Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones

"Técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana"

### Edición General y Coordinación

#### **Gabriela Aurelio**

Responsable del Área de Vinculación Nacional e Internacional  
Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones.  
Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.

### Asistencia en Edición

#### **Astrid Bengtsson**

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones.  
Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.

### Maquetación y Diseño

#### **Natalia Gorbarán**

Instituto de Nanociencia y Nanotecnología  
(CNEA/CONICET). Argentina.

### Colaboración en Glosario

#### **Javier H. Lohr**

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones,  
Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.

### Coordinación Técnica

#### **Mariel A. López**

Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Sociales  
CONICET/Universidad Católica Argentina,  
Argentina.

#### **Nadia Álvarez**

Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones,  
Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.

#### **Elisa V. Pannunzio Miner**

CICTerra CONICET/Universidad Nacional de Córdoba.  
Argentina.

#### **Loreto del Pilar Troncoso Aguilera**

Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Chile.

#### **Sergio Soria**

Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.

#### **Javier Ellena**

Universidad de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos. Brasil.

#### **Guillermo Copello**

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Departamento de Ciencias Químicas. Argentina.

#### **Alejandro Wolosiuk**

Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (CNEA/CONICET). Argentina.

#### **César Sobrero**

Universität Kassel  
Kassel, Alemania/Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

#### **Leandro C. Gaetano**

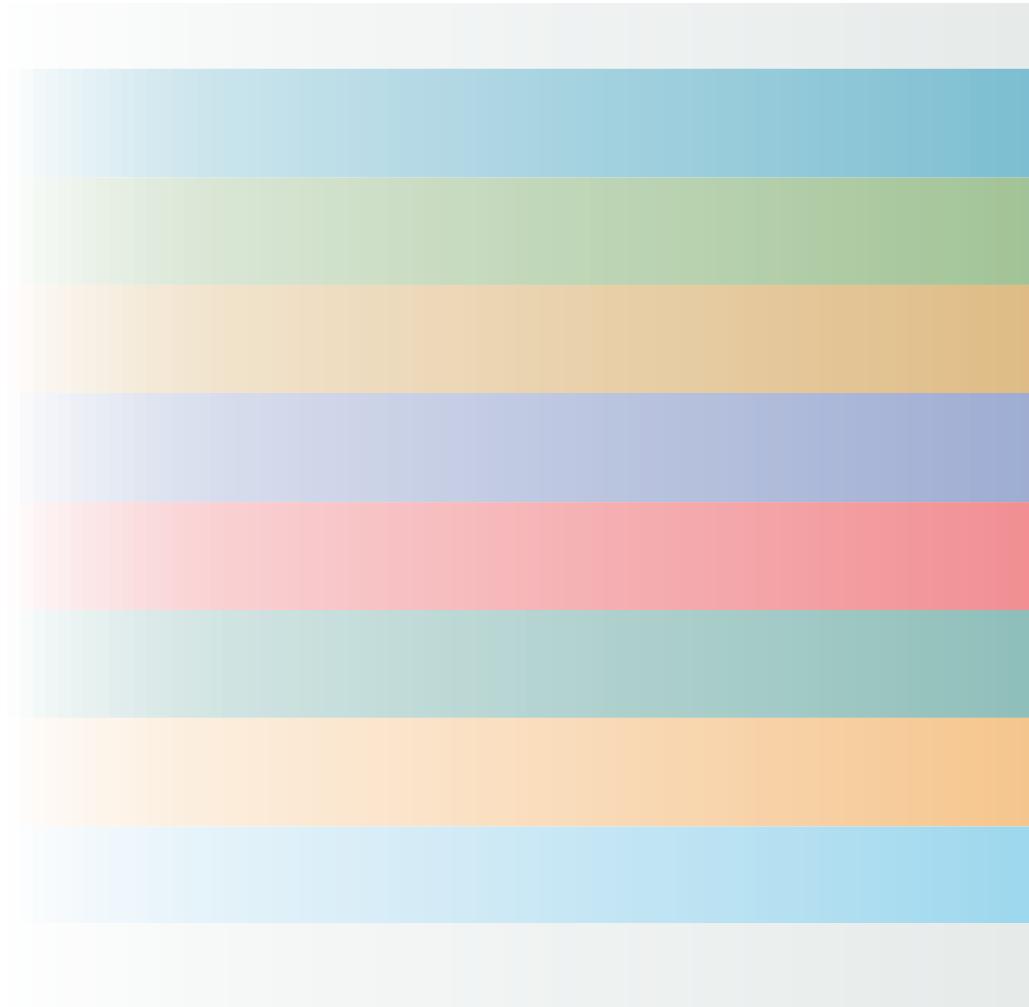
Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber" CONICET/Universidad de Buenos Aires. Argentina.

#### **Hernán Ritacco**

Instituto de Física del Sur,  
CONICET/Universidad Nacional del Sur.  
Argentina.

#### **Diego G. Franco**

Comisión Nacional de Energía Atómica.  
Argentina.



## Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones

"Técnicas neutrónicas para la ciencia argentina y latinoamericana"

### Índice

	<b>Prefacio</b>	<b>P. 11</b>
<b>1</b>	<b>El Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones</b>	<b>P. 13</b>
<b>2</b>	<b>Las técnicas neutrónicas: qué son y cuáles son las razones de su impacto en ciencia y tecnología</b>	<b>P. 21</b>
<b>3</b>	<b>Imágenes con neutrones</b> Casos Científicos para la técnica de imágenes con neutrones	<b>P. 33</b> <b>P. 39</b>
<b>4</b>	<b>Reflectometría de neutrones</b> Casos Científicos para la técnica de reflectometría de neutrones	<b>P. 75</b> <b>P. 83</b>
<b>5</b>	<b>Dispersión de neutrones a pequeño ángulo</b> Casos Científicos para la técnica de dispersión de neutrones a pequeño ángulo	<b>P. 101</b> <b>P. 109</b>
<b>6</b>	<b>Difracción de neutrones</b> Casos Científicos para la técnica de difracción de neutrones	<b>P. 147</b> <b>P. 155</b>
<b>7</b>	<b>Dispersión inelástica de neutrones</b> Casos Científicos para la técnica de dispersión inelástica y otras técnicas	<b>P. 207</b> <b>P. 213</b>
<b>8</b>	<b>Perspectivas de las técnicas neutrónicas en el mundo</b>	<b>P. 227</b>
	<b>Listado de Contribuciones</b>	<b>P. 237</b>
	<b>Glosario</b>	<b>P. 239</b>

## Análisis por activación neutrónica de micro-muestras de pigmentos en cerámicas arqueológicas del Noroeste argentino

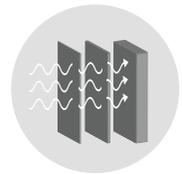
El objetivo general de este proyecto es realizar comparaciones entre cerámicas arqueológicas de diferentes estilos, localidades de hallazgo y cronología. La observación de similitudes y diferencias entre los conjuntos alfareros ha sido útil para indagar tópicos como la estandarización en la producción cerámica o la circulación de vasijas y materias primas en el espacio. También se busca establecer relaciones entre cerámicas y fuentes de materias primas, como son las arcillas o los pigmentos, a partir de las afinidades en la composición química. Estas relaciones se basan en el postulado de proveniencia, según el cual la variación en la composición de los materiales de una fuente es menor a la existente entre fuentes diversas. En este proyecto se buscará obtener una caracterización química de los baños y pinturas de estilos cerámicos tardíos (siglos XI a XVII) del valle de Yocavil para realizar comparaciones intra e interestilísticas atendiendo a variables cronológicas y espaciales; así como comparar la composición química de los pigmentos cerámicos con la de muestras de potenciales fuentes de materias primas presentes en la región. La caracterización de este tipo de cerámicas,

dada su valoración como objetos de patrimonio cultural, requiere de enfoques no destructivos y mínimamente invasivos para su estudio. Nuestro grupo tiene experiencia en la utilización de técnicas micro-destructivas sobre escamas o polvos obtenidos a partir de fragmentos de cerámicas arqueológicas no museables: microscopía electrónica acoplada con espectroscopía dispersiva en energía, micro-espectroscopía Raman y micro difracción de rayos X. Estas técnicas mostraron gran potencial para caracterizar baños y pinturas de tonos negros y crema, formados por compuestos heterogéneos, de baja cristalinidad y presencia de soluciones sólidas. Sin embargo, para cuantificar la presencia de trazas y determinar fehacientemente la composición química de las pinturas, se requiere la utilización de técnicas de análisis por activación neutrónica instrumentada (AANI). Dado que la AANI es una técnica de análisis multielemental que requiere procesar una masa muy pequeña para su implementación, ha sido aplicado al estudio de fragmentos de cerámicas arqueológicas considerados no museables. En particular, se cuenta con importantes antecedentes en la aplicación de esta técnica para estudiar

cerámicas arqueológicas del Noroeste argentino, siendo aplicada a la caracterización de pastas cerámicas y potenciales fuentes de arcillas. La caracterización química mediante AANI de los engobes y pinturas aplicados en delgadas capas en las superficies cerámicas debe aún ser desarrollada, ya que ha encontrado como limitante al tamaño de muestra mínima (2 a 3 g) de acuerdo con los protocolos de preparación de muestras requeridos para el reactor RA-3. Para muestras muy pequeñas, se requiere una irradiación con alto flujo de neutrones y un tiempo de irradiación prolongado. Se han desarrollado técnicas de micro muestreo y se ha realizado la irradiación de muestras pequeñas (10mg), pertenecientes a objetos declarados como patrimonio cultural, con alto flujo de neutrones; y también con esta técnica se han evaluado microgramos de meteoritos (ver referencias). Estos antecedentes abren una interesante perspectiva para el estudio de engobes y pinturas en las cerámicas arqueológicas del Noroeste argentino, cuyo análisis, combinando diferentes técnicas analíticas, continuaremos abordando de acuerdo a un enfoque multidisciplinario y colaborativo.



Energías

Neutralidad  
Penetración

Sekimoto, S., Shirai, N. & Ebihara, M. (2015) 'Application of neutron activation analysis to micro gram scale of solid samples', *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Springer Science and Business Media LLC, 307(3), pp. 1757–1764. | Palamarczuk, V. et al. (2020) 'Compositional study of slips and paintings in San José and Santa María pottery (Yocavil valley, Northwest Argentina): an approach by non-destructive and complementary techniques', *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*. Springer Science and Business Media LLC, 31(2), pp. 461–472. | Landsberger, S. & Yellin, J. (2018) 'Minimizing sample sizes while achieving accurate elemental concentrations in neutron activation analysis of precious pottery', *Journal of Archaeological Science: Reports*. Elsevier BV, 20, pp. 622–625.