

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

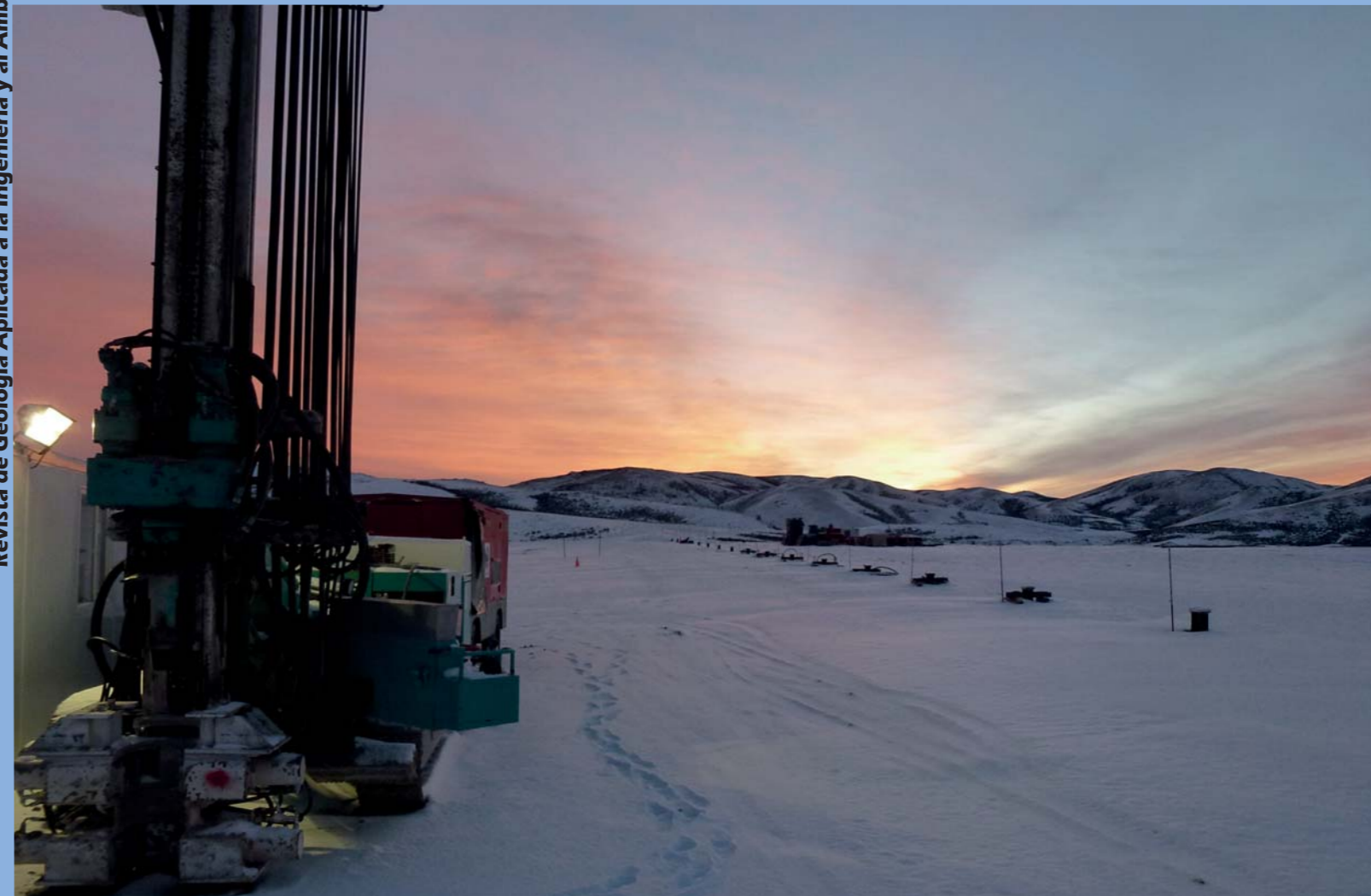
Síntesis de zeolita Na-P en solución alcalina a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada  
*Locati, F. - Marfil, S. - Lescano, L. - Madsen, L. - Cravero, F. - Castillo, L. - Barbosa, S. - Maiza, P.*

Los terremotos, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. La influencia en las construcciones  
*Pizarro, Nery F. - Tornello, Miguel E. - Gallucci, Ángel Rubén*

Correlación entre parámetros de compactación y propiedades geotécnicas en suelos tropicales misioneros  
*Bogado, Gustavo O. - Pintos, Nicolás A. - Reinert, Hugo O. - Bressan, Daniel A.*

Portada: Yacimiento de oro y plata Cerro Negro, al centro-norte de la provincia de Santa Cruz. Durante las tareas de perforación y colocación de micropilotes para la fundación del molino de trituración del mineral. *Fotografía Alejandro E. Celli.*

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**



# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



Maipú 645, Piso 1° - C1006ACG  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
editor@editoresasagai.org.ar  
www.editoresasagai.org.ar  
www.asagai.org.ar  
Tel/Fax (011)4322-2820

Número 39 • 2017

ISSN 2422-5703 (En línea)

ISSN 1851-7838 (Impresa)





**EDITOR JEFE**

*MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman*  
UCIS Consultores  
editor@editoresasagai.org.ar

**EDITOR ASOCIADO**

*Dr. Clemente Irigaray Fernández*  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad de Granada  
España  
clemente@ugr.es

**COMITÉ EDITORIAL**

*Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé*  
Departamento de Engenharia Geotécnica  
Politécnico do Porto  
Portugal  
hic@isep.ipp.pt

*Prof. Dr. Luis I. Gonzalez de Vallejo*  
Departamento de Geodinámica  
Universidad Complutense de Madrid  
España  
vallejo@geo.ucm.es

*Dr. Julio Luis del Río*  
Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario  
Universidad Nacional de Mar del Plata  
Argentina  
julioluisdelrio@gmail.com

*Dra. Ofelia Tujchneider*  
Departamento de Hidrología y Ambiente  
Universidad Nacional de El Litoral. Santa Fe  
Argentina  
pichy@fich1.unl.edu.ar

*Lic. Luis Mario Giaconi*  
Cátedra de Geología Aplicada (FCNyM)  
Universidad Nacional de La Plata  
Argentina  
lmgiaconi@gmail.com

**SECRETARIA**

*Lic. María Paula Bunicontro*  
IGEBA (CONICET-UBA)  
Argentina  
secretaria@editoresasagai.org.ar

**PRODUCCIÓN EDITORIAL**

Encargada de Diseño *Paula Paredes*  
paulaparedes13@hotmail.com

Webmaster *Guillermo Saint*  
saintdisegno@arnet.com.ar

---

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

**COMISIÓN DIRECTIVA 2014 - 2018**

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Fabio Sergio Luna</i>
SECRETARIA	<i>Cristina Dapeña</i>
TESORERO	<i>Alejandro Emmanuel Celli</i>
VOCAL TITULAR	<i>Rubén A. López</i>
VOCAL TITULAR	<i>Julia Löffler</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Gabriela Coelho dos Santos</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>María Beatriz Ponce</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>José Gabriel Salminci</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>Cristian Elías Cocchiarale</i>

Maipú 645, Piso 1º - C1006ACG - Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
asagai@asagai.org.ar  
www.asagai.org.ar

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Síntesis de zeolita Na-p en solución alcalina a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada	<i>Locati, F. - Marfil, S. - Lescano, L. - Madsen, L. - Cravero, F. - Castillo, L. - Barbosa, S. - Maiza, P.</i>	1
Los terremotos, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. La influencia en las construcciones	<i>Pizarro, Nery F. - Tornello, Miguel E. - Gallucci, Ángel Rubén</i>	9
Correlación entre parámetros de compactación y propiedades geotécnicas en suelos tropicales misioneros	<i>Bogado, Gustavo O. - Pintos, Nicolás A. - Reinert, Hugo O. - Bressan, Daniel A.</i>	19
Instrucciones para autores		27
Formulario de suscripción o compra		31



## MISIÓN Y OBJETIVOS DE LA PUBLICACIÓN

### Misión y objetivos de la publicación

La *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* es la publicación oficial en Argentina de la asociación miembro de la *International Association of Engineering Geology and the Environment*. La *Geología Aplicada a la Ingeniería* se define, en los estatutos de la IAEG, como "la ciencia dedicada a la investigación, estudio y solución de los problemas ambientales e ingenieriles que correspondan como resultado de la interacción entre la geología y las obras y actividades del ser humano, así como de la predicción y del desarrollo de medidas previsoras o de corrección de los peligros geológicos". La *Geología Aplicada a la Ingeniería* comprende: "la definición de la geomorfología, estructura, estratigrafía, litología y los acuíferos de las formaciones geológicas, las propiedades químicas e hidráulicas de todos los materiales involucrados en la construcción, extracción de recursos y cambio ambiental; la valoración del comportamiento hidrológico y mecánico de los suelos y macizos rocosos; la predicción de los cambios de las anteriores propiedades con el tiempo; la determinación de los parámetros a tener en cuenta en el análisis de estabilidad de las obras de ingeniería y de los terrenos; el mantenimiento y mejora de la condición ambiental del terreno"

La *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* tiene por objeto fomentar la publicación y difusión de artículos originales de calidad en todos los ámbitos propios, así como la difusión de noticias sobre eventos y publicaciones de interés en la temática. Está dirigida a científicos y profesionales geólogos, ingenieros y tecnólogos.

En todos los casos, las opiniones vertidas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan posiciones oficiales de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Todos los artículos son sometidos a un proceso de revisión por pares a cargo de especialistas de reconocido prestigio que colaboran, a tal fin, voluntariamente y sin lucro alguno, con la Revista.

### Leyenda de protección de derechos de autor

Todos los artículos publicados en esta Revista cuentan con protección de los derechos de autor. Ninguna parte del material publicado aquí podrá ser reproducido, transmitido, almacenado o utilizado en ninguna forma o por cualquier medio gráfico, electrónico, o mecánico, incluyendo, pero no limitándose a, el fotocopiado, grabación, escaneo, digitalización, grabación en cinta, distribución en la Web, redes de información, o sistemas de almacenamiento y recuperación, sin permiso previamente aceptado del Editor.

El autor podrá incluir una versión del artículo en su propio sitio Web o en el de su institución. Los Autores podrán reproducir el Artículo, total o parcialmente, y difundir su contenido o ponerlo a disposición del público, en formato impreso o electrónico, como parte de un contenido docente o como una recopilación, para su uso en el ámbito académico o de investigación en la institución a la que pertenezcan, citando que fue publicado en la revista.

### Precio de la revista

Quienes estén interesados en adquirir un ejemplar de la Revista deberán contactarse con la Editorial ([editor@editoresasagai.org.ar](mailto:editor@editoresasagai.org.ar)).

En la página 31 encontrará el formulario a completar a tal efecto



## Aims and objectives

*The Journal of Engineering and Environmental Geology (JEEG) is the official publication in Argentina of the corresponding association of the **International Association of Engineering Geology and the Environment**. "Engineering geology, is defined in the statutes of the IAEG as the science devoted to the investigation, study and solution of engineering and environmental problems which may arise as the result of the interaction between geology and the works or activities of man, as well as of the prediction of and development of measures for the prevention or remediation of geological hazards. Engineering geology embraces: the definition of the geomorphology, structure, stratigraphy, lithology and ground water conditions of geological formations; the characterisation of the mineralogical, physico-geomechanical, chemical and hydraulic properties of all earth materials involved in construction, resource recovery and environmental change; the assessment of the mechanical and hydrological behaviour of soil and rock masses; the prediction of changes to the above properties with time; the determination of the parameters to be considered in the stability analysis of engineering works and earth masses; the improvement and maintenance of the environmental condition and properties of the terrain".*

*The aims of this journal are the publication and diffusion of original quality paper in all related fields and also the diffusion of news about related events and publications of interest. It is addressed to scientist and professional geologists, engineers and technologists.*

*In any case, the opinions expressed in this publication are responsibility of the authors and do not reflect official positions of the Argentina Association of Engineering Geology. All items are submitted to a peer review process by renowned specialists who collaborate to that end, voluntarily and without any profit, with the Journal.*

## Authors Copyrights

*All papers published in this Journal are protected by copyrights. No part of published material covered herein may be reproduced, transmitted, stored, or used in any form or by any means graphic, electronic, or mechanical, including but not limited to photocopying, recording, scanning, digitizing, taping, Web distribution, information networks, or information storage and retrieval systems, without a previously accepted permission by the Editor.*

*The author(s) will be allowed to include a paper version in his own or institutional Web site. The author(s) may reproduce the paper, totally or partially, and diffuse it contain or let it available to the public in impressed or electronic format only as a part of a teaching context or as a state-of-the art reviewing, for its use in an academic context or for researches in their institution, by citing its previous publication in this Journal.*

## Price of the Journal

*All interested in buying a copy of any Journal issue should be in contact with the Editor ([editor@editoresasagai.org.ar](mailto:editor@editoresasagai.org.ar)).*

*In page 31 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.*



## Síntesis de zeolita Na-P en solución alcalina a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada

## Synthesis of Na-P zeolite in alkaline solution from a partially zeolitized vitreous tuff

Locati, F.<sup>1</sup> - Marfil, S.<sup>2,3</sup> ✉ - Lescano, L.<sup>2,3</sup> - Madsen, L.<sup>2,3</sup> - Cravero, F.<sup>4</sup> - Castillo, L.<sup>5</sup> - Barbosa, S.<sup>5</sup> - Maiza, P.<sup>2,3</sup>

Recibido: 20 de diciembre de 2016 • Aceptado: 27 de octubre de 2017

### Resumen

*En este trabajo se realizaron ensayos de síntesis en condiciones alcalinas a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada de la provincia de Mendoza (rica en mordenita), a fin de incrementar su grado de zeolitización, mejorar su cristalinidad y obtener un producto más homogéneo. Disponer de un material de estas características mediante procedimientos de síntesis simples permitirá en un futuro el diseño de compuestos de base polimérica, con propiedades mejoradas de absorción de agua y aromas. Los ensayos se llevaron a cabo con el material inicial molido (pasante tamiz #200) en soluciones 1, 0,5 y 0,1 N de NaOH a temperaturas de 40 °C y 95 °C, evaluando el desarrollo de la reacción cada 7 días durante 6 y 4 semanas respectivamente. El proceso fue monitoreado mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido acoplada con espectroscopía dispersiva de energías. A lo largo de las experiencias se observó un consumo progresivo de la mordenita, disminución del contenido de material amorfo (vidrio volcánico) y desaparición de la fase tridimita. A seis semanas de ensayo en solución 1N a 40 °C se obtuvo zeolita Na-P con escasa mordenita relicta, mientras que a 4 semanas de ensayo en solución 1N a 95 °C desapareció completamente la mordenita y se obtuvo zeolita Na-P y analcima. Mediante este procedimiento se incrementó la proporción de zeolita en la muestra y se mejoró la cristalinidad del material resultante, obteniéndose un producto de buena homogeneidad.*

**Palabras clave:** mordenita, síntesis, zeolita Na-P.

### Abstract

*In this work, synthesis tests were carried out in alkaline conditions from a partially zeolitized vitreous tuff from the province of Mendoza (rich in mordenite), in order to increase their degree of zeolitization, improve their crystallinity and to obtain a more homogeneous product. Having such a material by means of simple synthesis procedures will in the future allow the design of polymer-based compounds with improved absorption properties of water and aromas. The tests were performed with the initial ground material (sieve # 200) in*

1. CICTERRA (CONICET-UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611 (X5016GCA), Córdoba.
  2. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. (8000) Bahía Blanca.
  3. CGAMA (CIC-UNS). San Juan 670 (8000), Bahía Blanca.
  4. CETMIC (CIC-CONICET). Av. Centenario y 506 (B1897), Gonnet, La Plata.
  5. PLAPIQUI (CONICET-UNS). Camino La Carrindanga km. 7 (8000), Bahía Blanca.
- ✉ smarfil@uns.edu.ar.

1, 0.5 and 0.1 N NaOH solutions at temperatures of 40 °C and 95 °C, evaluating the development of the reaction every 7 days during 6 and 4 weeks respectively. The process was monitored by X-ray diffractometry and scanning electron microscopy coupled with energy dispersive spectroscopy. Throughout the experiments a progressive consumption of the mordenite, reduction of the amorphous material content (volcanic glass) and disappearance of the tridymite phase was observed. At 6 weeks of testing in 1N solution at 40 °C Na-P zeolite was obtained with little relic mordenite, whereas at 4 weeks of test in 1N solution at 95 °C the mordenite disappeared completely and Na-P zeolite and analcime were obtained. By this procedure the proportion of zeolite in the sample was increased and the crystallinity of the resulting material was improved, obtaining a product of good homogeneity.

**Keywords:** mordenite, synthesis, zeolite Na-P.

## INTRODUCCIÓN

Las zeolitas son minerales secundarios (aluminosilicatos con diferentes grados de hidratación) que se forman a baja presión y temperatura en presencia de agua, principalmente a partir de la alteración de rocas volcánicas que contienen vidrio natural (*Chiperá y Apps, 2001* y referencias allí citadas). En su estructura cristalina, se destacan canales y vacíos de dimensiones características para cada grupo, que suelen estar ocupados por moléculas de agua o cationes.

En la actualidad, coexisten en el mercado numerosas zeolitas sintéticas (*Robson, 2001*) y naturales (*Coombs et al., 1998*) teniendo las primeras mayor valor comercial debido a que poseen una gran variabilidad en las dimensiones de los canales que pueden ser definidas antes de su desarrollo. Están constituidas por una estructura tridimensional de tetraedros (Si, Al)O<sub>4</sub> unidos entre sí formando puentes de oxígeno. El reemplazo de Al<sup>3+</sup> por Si<sup>4+</sup> en los tetraedros genera un desbalance de cargas en la estructura cristalina que se compensa por la incorporación de cationes alcalinos y alcalinotérreos, esto le otorga la capacidad de intercambio catiónico (*Armbruster y Gunter, 2001*).

Las zeolitas también poseen alta eficiencia de absorción que está relacionada a la gran superficie interna que poseen. El tamaño del poro determina la posibilidad de absorción, cuanto mayor sea, más posibilidad de absorber moléculas de mayor tamaño. Además, la presencia de canales y vacíos facilitan los procesos de hidratación-deshidratación sin provocar la ruptura de la estructura cristalina (*Payra y Dutta, 2003*).

En trabajos previos el grupo de investigación ha desarrollado materiales compuestos a base de poliolefina con distintas nanocargas en función de la capacidad que se quiere incrementar en el polímero (*Alonso et al., 2015; Espinosa et al., 2016*), por lo que se plantea la posibilidad de incorporar zeolitas con capacidad absorbente/adsorbente mejorada en polímeros termoplásticos, teniendo en cuenta que existen antecedentes sobre el uso de estos materiales zeolíticos tanto para el control de humedad (*Djaeni et al., 2007*) como de olores (*Sircar y Myers, 2003; Cai et al., 2007; Sharadqah y Al-Dwairi, 2010*). Para esto, se debe disponer de un material con alta proporción de zeolita y relativamente homogéneo que permita un desarrollo controlado del compuesto. Sin embargo, los materiales zeolíticos con suficiente concentración de estos minerales, son muy escasos en el mundo y con más del 85% de zeolita, son raros de encontrar en la naturaleza.

En Argentina existe una gran variedad de zeolitas naturales, la mayoría están relacionadas con el grupo de la heulandita/clinoptilolita, mordenita y estilbita aunque no se han realizado explotaciones comerciales de gran envergadura.

En este trabajo se presentan los resultados de experiencias de síntesis utilizando soluciones de NaOH sobre una toba vítrea parcialmente zeolitizada (mordenita) de la provincia de Mendoza (*Bengochea et al., 1997*). A partir de estas experiencias, se pretende determinar las mejores condiciones (simples y económicas) que permitan incrementar el grado de zeolitización del material inicial y así obtener un producto homogéneo y de buena cristalinidad adecuado para el desarrollo de materiales compuestos a base de poliolefina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como material de partida para las experiencias una toba vítrea de la provincia de Mendoza que localmente ha sido afectada por procesos cataclásticos, dando como resultado rocas de textura brechosa. Asociado a estos procesos se observa una zeolitización con intensidad variable, que se acentúa en los sectores más porosos del yacimiento, lo que le otorga heterogeneidad al material resultante. Por lo tanto, es común observar zonas aún vítreas que conservan la textura perlítica y otras totalmente zeolitizadas (*Bengochea et al., 1997*).

Para los estudios de síntesis se utilizó 1 (un) gramo de la toba molida (pasante tamiz #200) y se tomaron como base los resultados de experiencias previas de *Marfil (1990)*, donde se obtuvieron zeolitas tipo Na-P utilizando vidrio volcánico y soluciones de NaOH 1 N a 40 °C. Además se modificó la concentración a 0,5 y 0,1 N con el objeto de evaluar si se podía obtener un buen producto a menor costo y luego se elevó la temperatura a 95 °C para reducir el tiempo de la experiencia basados en estudios de síntesis a mayor temperatura donde también se obtuvieron zeolitas tipo Na-P de gran capacidad de intercambio catiónico a partir de sedimentos tobáceos zeolitizados (*Kang y Egashira, 1997*). Se evaluó el desarrollo de la reacción cada 7 días durante 6 y 4 semanas a 40 °C y 95 °C respectivamente. Los ensayos se llevaron a cabo sin agitación en esta primera etapa.

La composición mineralógica del material inicial utilizado para estas experiencias y la evolución de la reacción, se analizaron por difracción de rayos X (DRX) utilizando un difractómetro Rigaku D-Max IIC, con radiación de Cu-K $\alpha$  y monocromador de grafito operado a 35 kV and 15 mA. Los difractogramas se realizaron entre 3 y 60 ( $2\theta$ ), con un paso de 0,02° y 2 segundos de conteo por paso. De forma complementaria, se efectuó la caracterización morfológica y química semicuantitativa del material inicial en un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss FE (Field Emission)-Sigma de alta resolución, equipado con un espectrómetro dispersivo de energías (EDS), trabajando a 10 kV sobre muestras metalizadas con carbono y sobre muestras metalizadas con oro en los productos de síntesis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El material inicial está constituido principalmente por mordenita con cantidades subordinadas de feldespato potásico y tridimita (Figura 1), aunque no se descarta la presencia de

otras fases minoritarias como clinoptilolita, cuarzo y cristobalita (Bengochea *et al.*, 1997). La elevación del fondo del difractograma entre 20° y 30° (2 $\theta$ ) se debe a la presencia de material amorfo (vidrio volcánico).

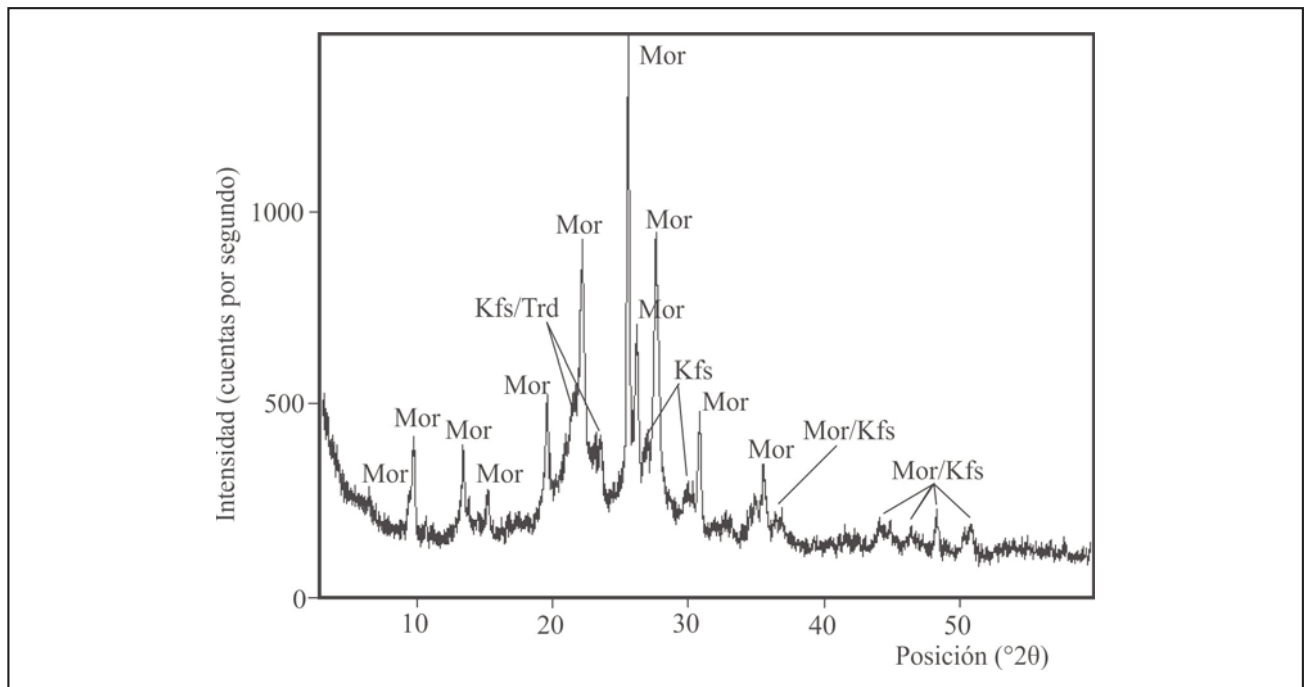


Figura 1. Difractograma del material natural. Mor: mordenita, Kfs: feldespato potásico, Trd: tridimita.

Mediante MEB se reconocieron sectores vítreos de textura homogénea y fractura concoidea que corresponden al vidrio volcánico relicto (Figura 2a), sectores ricos en mordenita (Figura 2b) de morfología fibrosa (fibras de  $\sim 9 \mu\text{m}$  de largo y  $\sim 0,15 \mu\text{m}$  de ancho) y otra variedad de este mismo mineral poco cristalina (Figura 2c) y sin hábito definido (mayoritaria), con granos de tamaño entre 0,15 y 1  $\mu\text{m}$ . En la Figura 2d se muestra el espectro de EDS de la zeolita mayoritaria y su composición química semicuantitativa expresada en óxidos (% en peso). La mordenita analizada posee una relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar de 11,41.

Las experiencias de síntesis en solución 1 N de NaOH a 40 °C mostraron una disminución progresiva en la intensidad absoluta de las reflexiones de mordenita y del material amorfo (entre 20 y 30° - 2 $\theta$ ). A las 6 semanas la mordenita se transformó casi completamente en zeolita Na-P con sus principales reflexiones en 3,17 Å (100%), 7,10 Å (97%), 4,10 Å (70%), 2,68 Å (58%) y 5,02 (54%), disminuyó notablemente el contenido de material amorfo y no se observa tridimita en la muestra (Figura 3a). El único mineral que persiste a lo largo de la síntesis (en todas las soluciones y a ambas temperaturas) es el feldespato potásico. Con la solución 0,5 N la transformación de la mordenita en zeolita Na-P es parcial y el proceso ocurre de forma más lenta. A las 6 semanas todavía se observa abundante mordenita y material amorfo, aunque no se reconoce tridimita (Figura 3b). Con la solución 0,1 N el material inicial casi no sufre modificaciones a excepción de la desaparición de la tridimita y la disminución en la intensidad absoluta de las reflexiones de la mordenita (Figura 3c).

El incremento en la temperatura de la síntesis de 40 °C a 95 °C aceleró la reacción. En una semana con una solución 1 N de NaOH la mordenita se transformó en zeolita Na-P y desapareció el material amorfo y la tridimita. Con la solución 0,5 N comienza a identificarse zeolita Na-P aunque se observa mordenita aún sin transformarse y material amorfo. Con la solución 0,1 N no se observaron cambios significativos respecto al material inicial a esa edad de ensayo. Los resultados a las 2 semanas fueron similares a los de la primera. A las 3 semanas, comienza a aparecer en la solución 1N analcima con sus principales reflexiones en 5,60 Å (100%), 3,43 Å (99%) y 2,92 Å (55%), además de zeolita Na-P. A las 4 semanas, en la solución 1 N la toba se transformó completamente (a excepción del feldespato potásico) en una mezcla de zeolita Na-P y analcima, en menor proporción. Con la solución 0,5 N la transformación es incompleta reconociéndose aún mordenita y material amorfo. Además, la intensidad absoluta de las reflexiones de la zeolita sintética es menor que en la solución 1N y no se observa analcima. Finalmente, con la solución 0,1 N el resultado es similar al obtenido a 40 °C aunque en este caso comienzan a reconocerse algunas reflexiones de la zeolita sintética.

La zeolita Na-P aparece como aglomerados de cristales prismáticos (0,4-3  $\mu\text{m}$ ) de hábitos variables (se reconocen algunos prismas tetragonales bipiramidales), con una relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar de 3,61 (Figura 5a), mientras que la analcima aparece como cristales bien formados de hábito trapezoidal ( $\sim 12-15 \mu\text{m}$ ) y con una relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar aproximada de 4,43 (Figura 5b).

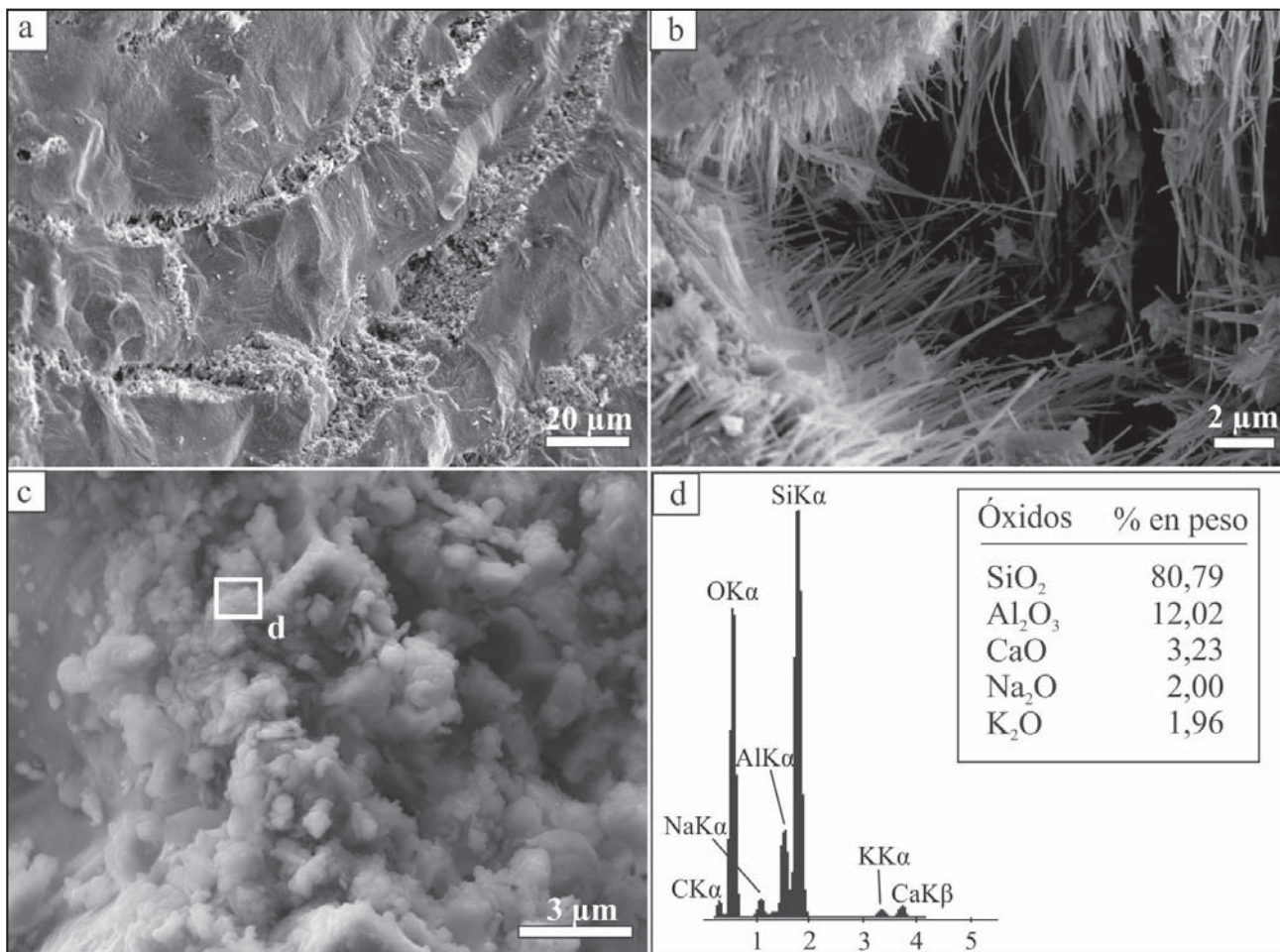


Figura 2. Fotomicrografías MEB (imágenes de electrones secundarios) y análisis semicuantitativos determinados por EDS. a: sectores vítreos de la toba zeolitizada. b: mordenita fibrosa. c: mordenita sin hábito definido (mayoritaria). d: espectro de EDS y % en peso de óxidos del punto "d". Análisis recalculados al 100% sin considerar el carbono.

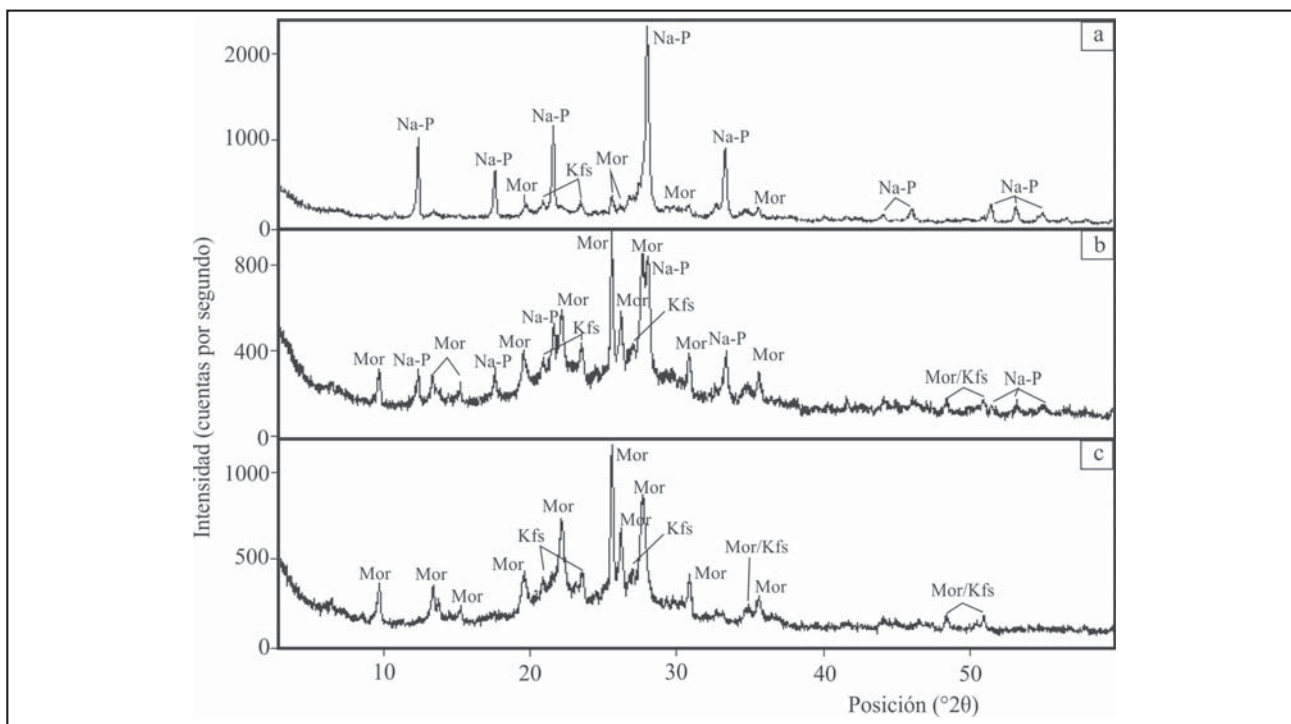


Figura 3. Difractogramas del material obtenido en los ensayos a 40 °C durante 6 semanas. a: con NaOH 1N. b: con NaOH 0,5 N. c: con NaOH 0,1 N. Mor: mordenita, Kfs: feldspato potásico, Na-P: zeolita Na-P.

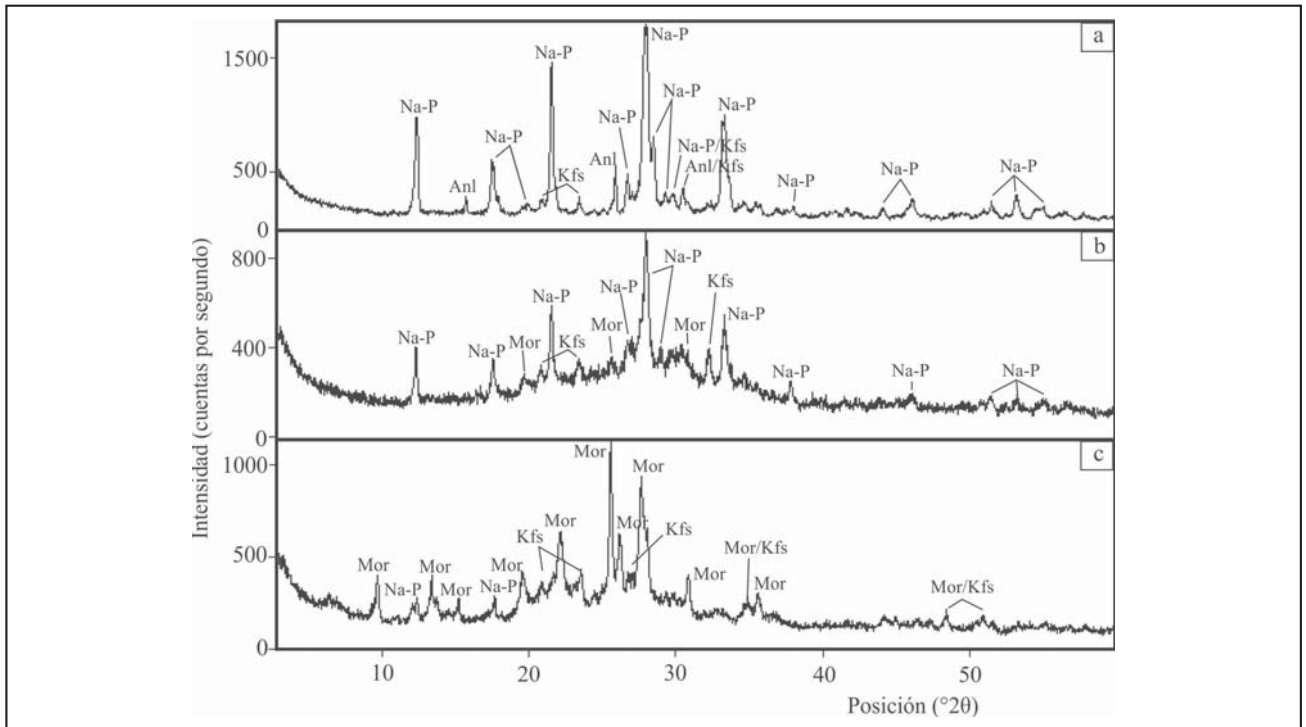


Figura 4. Difractogramas del material obtenido en los ensayos a 95 °C durante 4 semanas. a: con NaOH 1N. b: con NaOH 0,5 N. c: con NaOH 0,1 N. Mor: mordenita, Kfs: feldespato potásico, Na-P: zeolita Na-P, Anl: analcima.

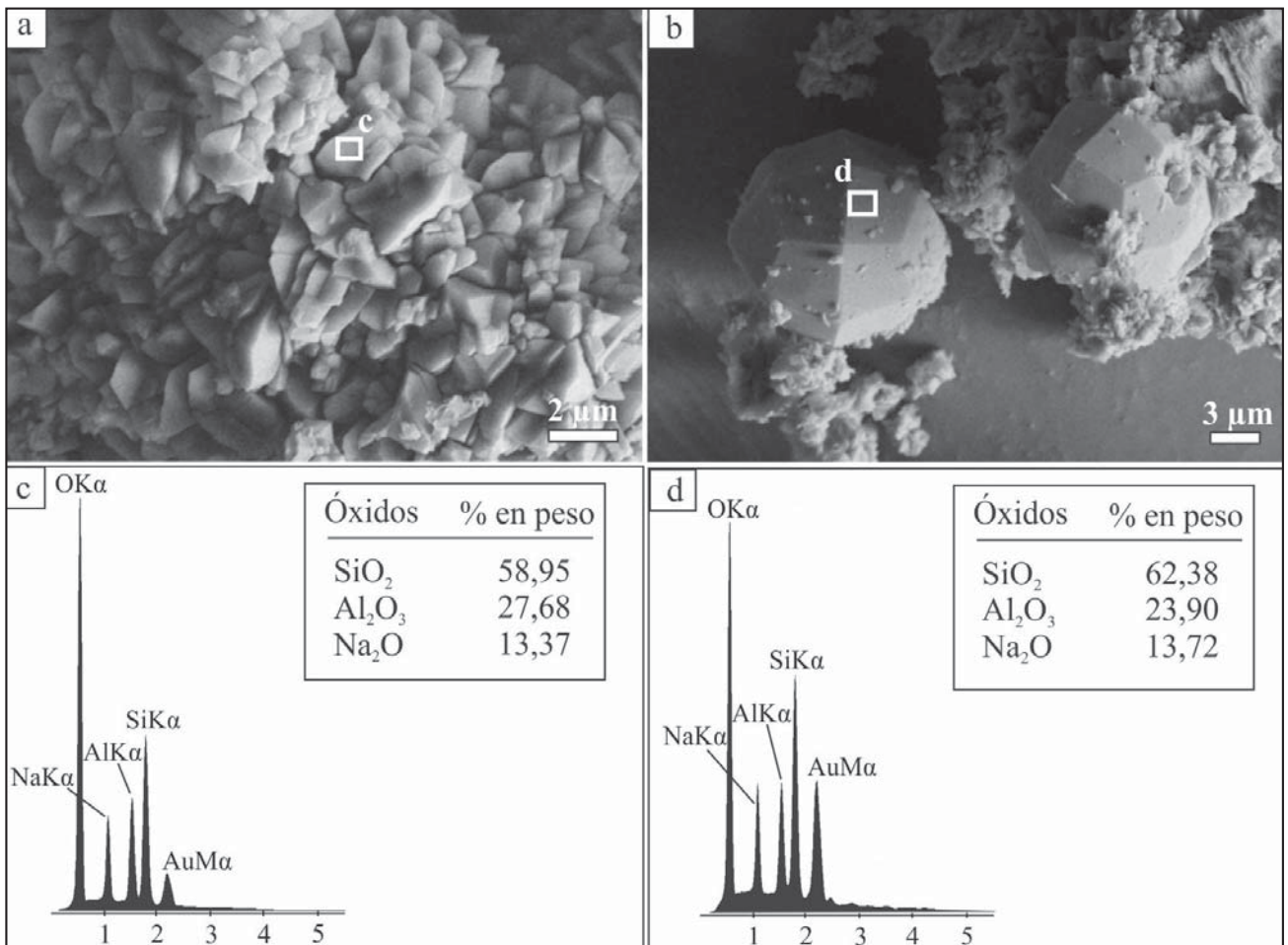


Figura 5. Fotomicrografías MEB (imágenes de electrones secundarios) y análisis semicuantitativos determinados por EDS. a: zeolita Na-P. b: analcima y zeolita Na-P de menor tamaño de grano. c: espectro de EDS y % en peso de óxidos del punto "c". d: espectro de EDS y % en peso de óxidos del punto "d". Análisis recalculados al 100% sin considerar el oro.

Ambas zeolitas sintéticas poseen menor relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  respecto de la mordenita original por lo que se espera un mayor reemplazo de  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Si}^{4+}$  en los tetraedros y un mayor desbalance de cargas, favorable para los procesos de adsorción e intercambio catiónico (Kang y Egashira, 1997). La relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar de 3,61 de la zeolita Na-P habría favorecido el desarrollo de aglomerados de agregados prismáticos con tendencias hacia la formación de prismas tetragonales bipiramidales (Huo et al., 2012).

La analcima podría formarse a expensas de la zeolita Na-P (Sanhueza Núñez and Bennun Torres, 2015) lo que explicaría en parte la menor intensidad absoluta de las reflexiones de este último material en la solución 1N a 95 °C respecto de la solución 1N a 40 °C.

En una segunda etapa se prevén estudios de síntesis bajo condiciones controladas de agitación a fin de acelerar los tiempos de reacción y poder extrapolar los resultados a escala industrial (Marrot et al., 2001). La agitación de la solución incrementaría la frecuencia de colisión entre partículas provocando la nucleación secundaria de los productos de síntesis (Coker y Jansen, 1998).

### CONCLUSIONES

A través de ensayos de síntesis en solución alcalina de NaOH fue posible obtener una zeolita Na-P de la familia de la phillipsita a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada (rica en mordenita).

Las experiencias mostraron un consumo progresivo de la mordenita, disminución del contenido de material amorfo (vidrio volcánico) y desaparición de la tridimita.

A seis semanas de ensayo en solución 1N a 40 °C se obtuvo zeolita Na-P con escasa mordenita reléctica, mientras que a 4 semanas de ensayo en solución 1N a 95 °C desapareció completamente la mordenita y se obtuvo zeolita Na-P más analcima. Las zeolitas sintetizadas poseen baja relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar por lo que es de esperarse una mejora en las propiedades de sorción e intercambio catiónico del material original. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales a fin de evaluar el mejoramiento de estas propiedades.

Mediante este procedimiento se incrementó la proporción de zeolita en la muestra y se mejoró la cristalinidad del material resultante, obteniéndose un producto de buena homogeneidad.

En una segunda etapa se prevén estudios de síntesis bajo agitación controlada a fin de acelerar los tiempos de reacción y extrapolar los resultados a escala industrial.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur (UNS), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. (CIC), al CGAMA (CIC-UNS), al CICTERRA (CONICET-UNC), al CETMIC (CIC-CONICET), a la PLAPIQUI (CONICET-UNS) y a la Agencia Nacional de Promoción Científica por el apoyo brindado. Además, agradecen los comentarios del revisor anónimo que mejoraron sustancialmente el trabajo. Este trabajo se financió con el proyecto PICT-2015 N° 367.

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ALONSO, Y., R.E. MARTINI, A. IANNONI, A. TEREZI, J.M. KENNY Y S. BARBOSA, 2015.  
Polyethylene/sepiolite fibers. Influence of drawing and nanofiller content on the crystal morphology and mechanical properties.  
*Polymer Engineering and Science*, Vol. 55(5): 1096-1103.
- ARMBRUSTER, T. Y M.E. GUNTER, 2001.  
Crystal structures of natural zeolites.  
En: D.L. Bish & D.W. Ming (eds.), *Natural zeolites: Occurrence, properties, applications. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Mineralogical Society of America*, Vol. 45: 1-67, Washington, USA.
- BENGOCHEA L., G. MAS, P. MAIZA, Y J. BENGOCHEA, 1997.  
Mordenite occurrence in the Mendoza province, Argentina.  
En: *Zeolite '97. 5th International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites*, 63-64, Ischia, Italia.
- CAI, L., J.A. KOZIEL, Y. LIANG, A.T. NGUYEN Y H. XIN, 2007.  
Evaluation of zeolite for control of odorants emissions from simulated poultry manure storage.  
*Journal of Environmental Quality*, Vol. 36(1): 184-193.
- CHIPERA, S.J. Y J.A. APPS, 2001  
Geochemical stability of natural zeolites.  
En: D.L. Bish & D.W. Ming (eds.), *Natural zeolites: Occurrence, properties, applications. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Mineralogical Society of America*, Vol. 45: 117-161, Washington, USA.
- COKER, E.N. Y J.C. JANSEN, 1998.  
Approaches for the synthesis of ultra-large and ultra-small zeolite crystals.  
En: H.G. Karge & J. Weitkamp (eds.), *Synthesis. Springer, Molecular Sieves Science and Technology Series*, Vol. 1: 120-155, Berlin, Alemania.

- COOMBS, D.S., A. ALBERTI, T. ARMBRUSTER, G. ARTIOLI, C. COLELLA, E. GALLI, J.D. GRICE, F. LIEBAU, J.A. MANDARINO, H. MINATO, E.H. NICKEL, E. PASSAGLIA, D.R. PEACOR, S. QUARTIERI, R. RINALDI, M. ROSS, R.A. SHEPPARD, E. TILLMANN, G. Y VEZZALINI, 1998.  
Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association.  
*Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, Vol. 62(4): 533-571.*
- DJAENI, M., P. BARTELS, J. SANDERS, G. VAN STRATEN Y A.J.B. VAN BOXTEL, 2007.  
Process integration for food drying with air dehumidified by zeolites.  
*Drying Technology, Vol. 25: 225-239.*
- ESPINOSA, K.R., L.A. CASTILLO Y S.E. BARBOSA, 2016.  
Blown nanocomposite films from polypropylene and talc.  
*Influence of talc nanoparticles on biaxial properties. Materials and Design, Vol. 111: 25-35.*
- HUO, Z., X. XU, Z. LÜ, J. SONG, M. HE, Z. LI, Q. WANG Y L. YAN, 2012.  
Synthesis of zeolite NaP with controllable morphologies.  
*Microporous and Mesoporous Materials, Vol. 158: 137-140.*
- KANG, S.-J. Y K. EGASHIRA, 1997.  
Modification of different grades of Korean natural zeolites for increasing cation exchange capacity.  
*Applied Clay Science, Vol. 12(1-2): 131-144.*
- MARFIL, S., 1990.  
La reacción álcali agregado. Investigación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, utilizados en Bahía Blanca y su zona de influencia.  
*Tesis Doctoral-UNS. Biblioteca Central. 283 pp., Bahía Blanca.*
- MARROT, B., C. BEBON, D. COLSON Y J.P. KLEIN, 2001.  
Influence of the shear rate during the synthesis of zeolites.  
*Crystal Research and Technology, Vol. 36(3): 269-281.*
- PAYRA, P. Y P.K. DUTTA, 2003.  
Zeolites: A Primer.  
*En: S.M. Auerbach, K.A. Carrado & P.K. Dutta (eds.), Handbook of zeolite science and technology. Marcel Dekker, Inc., Capítulo 1, 19 pp., New York, USA.*
- ROBSON, H., 2001.  
Verified syntheses of zeolitic materials.  
*2da edición. Elsevier, 272 pp., Amsterdam.*
- SANHUEZA NÚÑEZ, V.M. Y L.D. BENNUN TORRES, 2015.  
Synthesis of zeolitic materials from volcanic ash in presence and absence of cetyltrimethylammonium bromide.  
*Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 31 (2): 185-193.*
- SHARADQAH, S.I. Y R.A. AL-DWAIIRI, 2010.  
Control of odorants emissions from poultry manure using Jordanian natural zeolites.  
*Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 4(4): 378-388.*
- SIRCAR, S. Y A.L. MYERS, 2003.  
Gas separation by zeolites.  
*En: S.M. Auerbach, K.A. Carrado & P.K. Dutta (eds.), Handbook of zeolite science and technology. Marcel Dekker, Inc., Capítulo 22, 42 pp., New York, USA.*







## Los terremotos, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. La influencia en las construcciones

## The earthquakes, the depth of the hypocenter and the energy released. The influence in the constructions

Pizarro, Nery F. <sup>1,2</sup> ✉ - Tornello, Miguel E. <sup>1,2</sup> - Gallucci, Ángel Rubén <sup>1,2</sup>

Recibido: 22 de agosto de 2017 • Aceptado: 21 de noviembre de 2017

### Resumen

*El Centro-Norte de la provincia de Mendoza, Argentina, es considerado como zona de elevado riesgo sísmico. La elevada probabilidad de ocurrencia de un terremoto destructivo no dependerá solamente de su magnitud. La poca profundidad del hipocentro es una característica muy importante. Los grandes terremotos históricos han dejado su enseñanza.*

*La magnitud de un terremoto está relacionada con la energía que se libera y ésta a los posibles daños en las construcciones. Esta energía se disipa de diversas formas, una gran cantidad lo hace en el entorno del foco y otra en la distancia que recorren las ondas sísmicas y las características geológicas del sustrato. El tipo de terremoto, armónico o impulsivo, toma una importante relevancia en los estudios realizados.*

*La base de datos utilizada, son registros de terremotos proporcionados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica y los obtenidos en el CEREDETEC.*

*Se clasifica a los terremotos según la profundidad de su hipocentro, distinta a la clasificación existente, teniendo en cuenta las características propias de la zona sismo-tectónica. La profundidad del foco está relacionada con la energía que llega a la superficie terrestre. El nombre asignado a esta energía es: "Energía Superficial". Se propone considerarla como un parámetro importante para relacionarlo con las características estructurales que deberán poseer las construcciones para disiparla y así controlar los daños. Se ha construido una curva de atenuación, propia para la región, de la energía que libera el terremoto para calcular la Energía Superficial. La validación deberá corroborarse cuando ocurra un terremoto destructivo.*

**Palabras Claves:** *Energía de los terremotos - Profundidad del hipocentro - Atenuación.*

### Abstract

*The Center - North of the of, Argentina, is considered a zone of high seismic risk. The high probability of occurrence of a destructive earthquake will not depend only on its magnitude. The shallow depth of the hypocenter will be a very important feature. The big historical earthquakes have left their lessons.*

1. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza. Argentina.

2. CEREDETEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica)

✉ nery@frm.utn.edu.ar

*The magnitude of an earthquake is related to the energy that is released and this one to the possible damage to the buildings. This energy is dissipated in different ways: a lot is dissipated in the environment of the focus and another in the distance travelling seismic waves and the soil type. The earthquake harmonic or impulsive, takes an important relevancy in the studies realized.*

*The database used, are records of earthquakes provided by the National Institute of Seismic Prevention and those obtained in CERDETEC.*

*The earthquakes are classified according to the depth of the hypocenter, different from the existing classification, taking into account the characteristics of the seism-tectonic zone.*

*The depth of focus is related to the energy that reaches the Earth's surface. The name assigned to this energy is "Surface Energy". It is proposed to consider this energy like an important parameter to relate it to the structural characteristics of the constructions to dispel it and in this way to control the damages. A curve of attenuation has been elaborated, for this region, of the energy released by the earthquake to calculate the surface energy. The validation will have to be corroborated when a destructive earthquake happens.*

**Keywords: Earthquake energy - Depth of hypocenter - Attenuation .**

## INTRODUCCIÓN

El centro-norte de la provincia de Mendoza, Argentina, es una zona de elevado riesgo sísmico. Este proviene de una gran cantidad de fallas tectónicas intraplaca (Costa, C., et al., 2000. González, M.A., et al., 2002. Costa, C., 2011) que existen en la corteza terrestre y que se extienden a poca profundidad.

La clasificación de los terremotos según su profundidad normalmente adoptada en el mundo no representa la realizada de la región estudiada, por lo tanto se propone una clasificación distinta (Sauter, F., 1989). *New Manual of Seismological Observatory Practice, 2002. Bolt y Bruce, A., 2017. Servicio Geológico Colombiano 2017. USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2017.* Teniendo en cuenta la profundidad del hipocentro de los terremotos que ocurren en la zona, y la distribución de ellos según los datos del INPRES (*Instituto Nacional de Prevención Sísmica*) (2017), motiva a realizar una modificación de esta clasificación.

La distribución de los focos de los terremotos ha demostrado que, según los datos disponibles, en especial la magnitud y profundidad, los efectos que han de soportar las construcciones dependen de ellos. Esto es muy común que se lo mencione en muchos trabajos de investigación y ya es considerado como un conocimiento adoptado por los profesionales en el tema (*New Manual of Seismological Observatory Practice. 2002*).

Se plantea que, un evento sísmico de igual magnitud pero cuyo hipocentro está a distinta profundidad, le brindará una distinta demanda energética a disipar por las estructuras de las construcciones. La demanda se la ha relacionado con la liberación de energía de los terremotos, que se transforma en distintos tipos, trasladándola a la superficie de la tierra. A esta energía se la denomina "Energía Superficial" (Esup). Para calcularla se propone una curva de atenuación de la energía liberada en relación magnitud-profundidad del hipocentro.

Se conoce que éste aspecto no es el único, y tal vez no el principal, efecto que provoca daños a las estructuras, como por ejemplo el efecto Near-Fault o el de direccionalidad, entre otros (Silva, E., et al., 2002. Frau, C., 2009). Sin embargo contribuye a poder evaluar el poder destructivo de los terremotos. Es necesario aclarar que la terminología "poder destructivo" que es utilizada por otros investigadores (Orosco, L. y Alfaro Villegas, I.,

2007. Zúñiga Dávila, F. R., 2011), no posee el mismo contenido conceptual que la "Energía superficial". En esos trabajos se designa como "poder destructivo" de un terremoto relacionándolo con el registro instrumental, generalmente de velocidades, respecto a la disipación de energía que poseería un sistema estructural de un grado de libertad. Ejemplo de esto es la Intensidad de Housner (1952) donde relaciona la pseudo-velocidad espectral integrada en un determinado tiempo. La intensidad de Arias (1970) que relaciona la aceleración del terremoto en un periodo determinado de tiempo. Por último se cita el poder destructivo de Araya y Saragoni (1985) que toma la intensidad de Arias y la modifica teniendo en cuenta un parámetro que surge de la cantidad de veces que el registro de aceleración pasa por el cero. Este último parámetro introduce el concepto: contenido de frecuencia. Por lo expresado, en la investigación realizada se ha denominado a este concepto "Energía superficial".

El trabajo queda limitado a validarlo ya que los terremotos destructivos (INPRES. 1986) que se han producido en la zona no han tenido un registro instrumental o bien este no es acorde a los requerimientos tecnológicos que se necesitan para aseverar que la propuesta es aproximadamente correcta, acorde a lo que se está proponiendo. La validación de los resultados podría contrastarse cuando ocurra un terremoto destructivo en la zona.

Los resultados obtenidos, se pueden relacionar con otros aspectos característicos de los sismos que influyen en la demanda de disipación de energía que deberán poseer las construcciones, algunos de ellos son: la estructura sismorresistente que posee, su ubicación en cercanía o lejanía a la falla tectónica, el tipo de suelo de emplazamiento, la diferencia entre un sismo del tipo armónico o del tipo impulsivo, entre otros. Lo que surge de la investigación determina como disminuiría o limitaría la influencia de los aspectos mencionados.

En los resultados de la investigación se presenta una propuesta que involucra parámetros propios de los terremotos, no así lo que ocurriría con las construcciones. La investigación realizada propone contribuir al conocimiento de otro parámetro, característico de un terremoto destructivo, que influiría desfavorablemente en la respuesta de las construcciones. Se define una forma de considerar la energía superficial mediante una curva de atenuación propia de la región.

Se destaca que el desarrollo o difusión de resultados de investigaciones sobre el presente tema es escasa.

En esta investigación se tomaron como datos los registros de los terremotos publicados por el INPRES desde el 9 de octubre de 1998 hasta el 26 de octubre de 2016 y los registros instrumentales que se posee en el CEREDETEC. Los mismos se limitaron entre la Latitud Sur, desde el paralelo  $32^\circ$  hasta  $33,5^\circ$  y Longitud Sur, desde el meridiano  $68^\circ$  hasta  $69,5^\circ$ . El recuadro de la región en estudio (Figura 1) está ubicado: al Este por la ciudad de Las Catitas, departamento de Santa Rosa; al Oeste, por la ciudad de Uspallata, departamento de Las Heras; al Norte, por la ciudad de Media Agua (sur de la provincia de San Juan) y al Sur por la localidad de Zapata en el departamento de Tunuyán.

Los terremotos han sido procesados graficándolos, en primera instancia, por año de ocurrencia. Hay que tener en

cuenta que en los primeros años de registros no se pudieron publicar la totalidad, ya que el sistema de registro y publicación estaba poniéndose en marcha. La Figura 2 muestra la variación de la cantidad de sismos por año desde el 2006, con magnitudes mayores a 3. No se tiene en cuenta: la profundidad del hipocentro ni la ubicación exacta del epicentro.

Observando la Figura 2 se justifica trabajar únicamente con los terremotos ocurridos desde el año 2011 en adelante. Desde ese año se poseen una significativa cantidad de datos de los eventos sísmicos. Se puede destacar que existe una disminución notable de la cantidad de sismos de magnitudes mayores o iguales a 3 desde el año 2012 hasta la fecha del presente análisis. Esto puede que se llegue a intuir que existe una acumulación de energía que en algún momento se liberará, siguiendo la teoría del "Rebote Elástico".

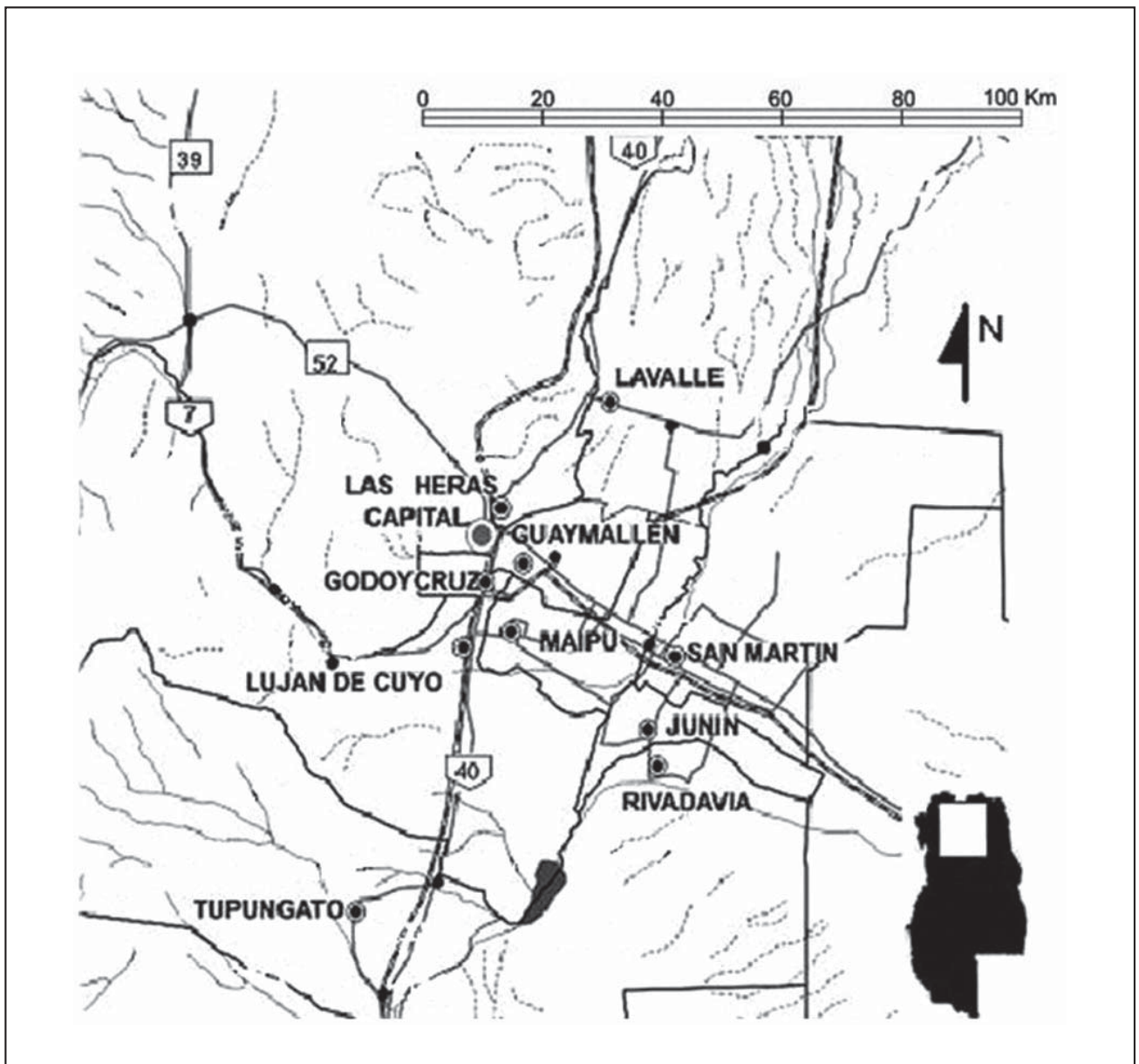


Figura 1. Zona de análisis. Ubicación en la provincia de Mendoza, Argentina.

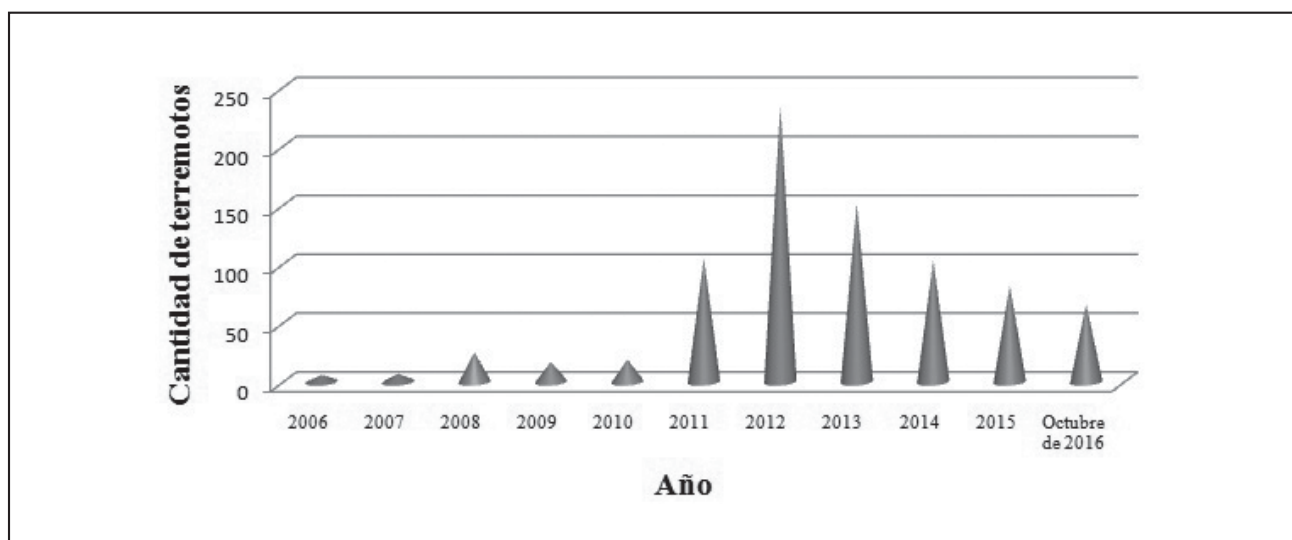


Figura 2. Cantidad de terremotos por año con magnitudes mayores o iguales a 3.

### CARACTERÍSTICA SISMO-TECTÓNICA DE LA REGIÓN

La placa Sudamericana se desplaza hacia el oeste y la placa de Nazca lo hace en sentido opuesto. Este mecanismo induce un estado de esfuerzos compresionales a la placa Sudamericana, que domina la configuración estructural de la región en estudio. Son éstos los responsables de la orientación y sentido del desplazamiento de las fallas intraplacas que caracterizan la sismicidad de la zona (INPRES, 1986). En la Figura 3, se indican algunas de las fallas sismogénicas de la zona en estudio, donde las fuentes corresponden al proceso de fallamiento cuaternario asociado al marco tectónico local, estudiado y conocido en la zona en estudio (Costa, C., et al. 2000. González, M.A., et al. 2002. Nafá y Zamarbide 1989).

En la región de estudio la probabilidad de ocurrencia de que haya un terremoto destructivo no depende principalmente de su magnitud, la poca profundidad del hipocentro es una de las características importantes a tener en cuenta. El sismo tendría su foco en una falla intraplaca (Figura 3). Una causa importante es que la placa tectónica de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana, cerca a las costas de Chile. La inclinación en dicha región es aproximadamente de 27° a 30° y a medida que se introduce bajo la placa sudamericana la inclinación disminuye a un ángulo de 10° a 7° (Figura 4) a una profundidad cercana a los 100 Km INPRES (2005).

### PROFUNDIDAD. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE LOS TERREMOTOS

Con la base de datos disponible se ha realizado un estudio de los sismos con magnitudes iguales o mayores a 3 (Figura 5).

Según lo que se observa en la Figura 5 justifica que los sismos sean catalogados de distinta forma a la que se ha generalizado en la mayor parte del mundo. Se dice que los sismo entre 0 y 70 Km de profundidad son superficiales, de 70 Km a 300 Km son intermedios y mayor a 300 Km de profundidad son profundos (según distintas publicaciones: Carpetta Pedagógica, 2017). La propuesta es que los sismos deben ser catalogados según cada región sismo-tectónica.

Para la zona en estudio serían superficiales cuando la profundidad del foco del terremoto se encuentran entre 0 a 40 Km,

desde allí y hasta los 100 km, se los denomine someros, luego y hasta los 200 Km serán intermedios y más de 200 Km son profundos (Silva, E. y Tornello, M. 1997). Esta propuesta da base a lo que se propone en la investigación acerca de la energía superficial de los terremotos.

### ENERGÍA DE LOS TERREMOTOS

Cuando ocurre un terremoto se produce, en el área de ruptura, una liberación de energía que está muy relacionada con la magnitud. Al incrementarse la magnitud, la energía crece en forma exponencial. Es muy conocido que existen distintos tipos de magnitud que dependen fundamentalmente de la onda sísmica con la que se calcula y ésta, a su vez, de otros factores, como el de la distancia epicentral desde donde se obtiene el registro, el tipo de registro según el instrumental de medición, la máxima amplitud onda, entre otros. En este trabajo se ha incluido la profundidad del foco.

Para un sismo superficial y con registro no lejano, se utiliza generalmente la magnitud local ML. Si el foco está a mayor profundidad, se utilizan la magnitud onda superficial Ms y si las ondas son de borde la magnitud mb.

La magnitud no es una variable física (Zúñiga Dávila, F. R. 2011) por lo que se ha buscado relacionarla con cantidades físicas, como es el caso de la energía liberada. La energía se expresa en forma logarítmica y la unidad de medida es el Ergio. Su valor se la compara normalmente con la energía que libera una explosión (INPRES, 2017). Actualmente la magnitud más utilizada es la magnitud momento, Mw, la cual tiene una directa relación física con la energía.

Gutenberg - Richter en 1956 establecieron expresiones que relacionan la energía liberada con la magnitud:

Para sismos superficiales:  $\text{Log } E_s = 11,8 + 1,5 M_s$

Para sismos profundos:  $\text{Log } E_s = 5,8 + 2,4 m_b$

En la Figura 6 se representa la energía de los terremotos ocurridos en la zona Nor-Oeste de la provincia de Mendoza según las expresiones planteadas, y en la Figura 7 se muestran por año.

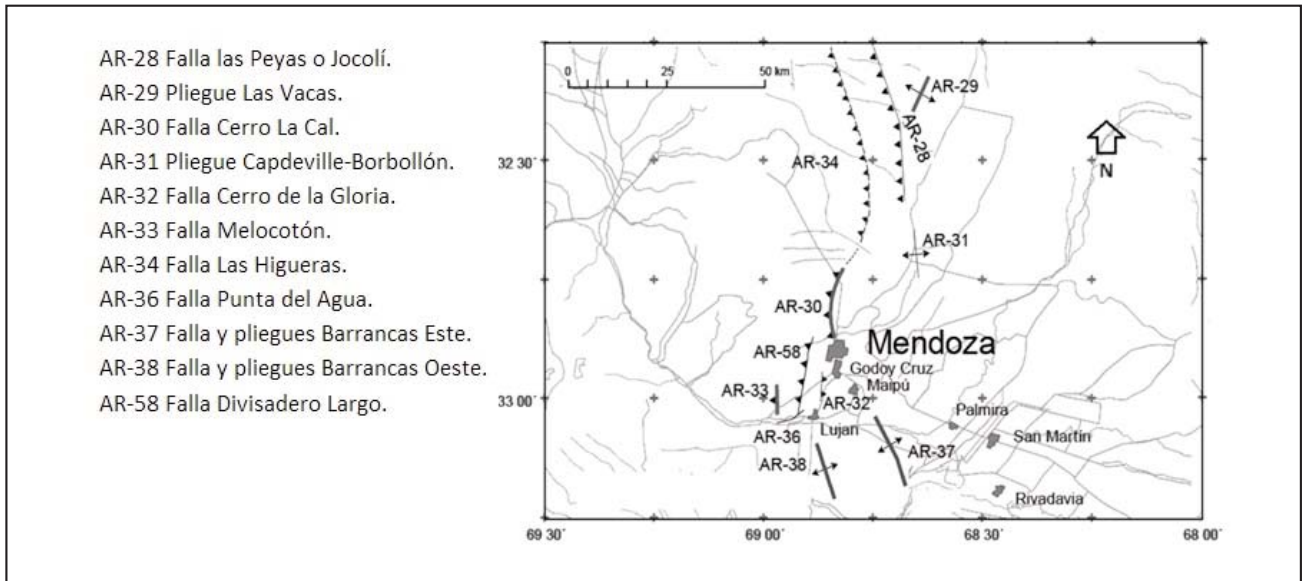


Figura 3. Fuentes sísmogénicas potenciales asociadas al área de estudio. Fuente: Costa C, et al. 2000.

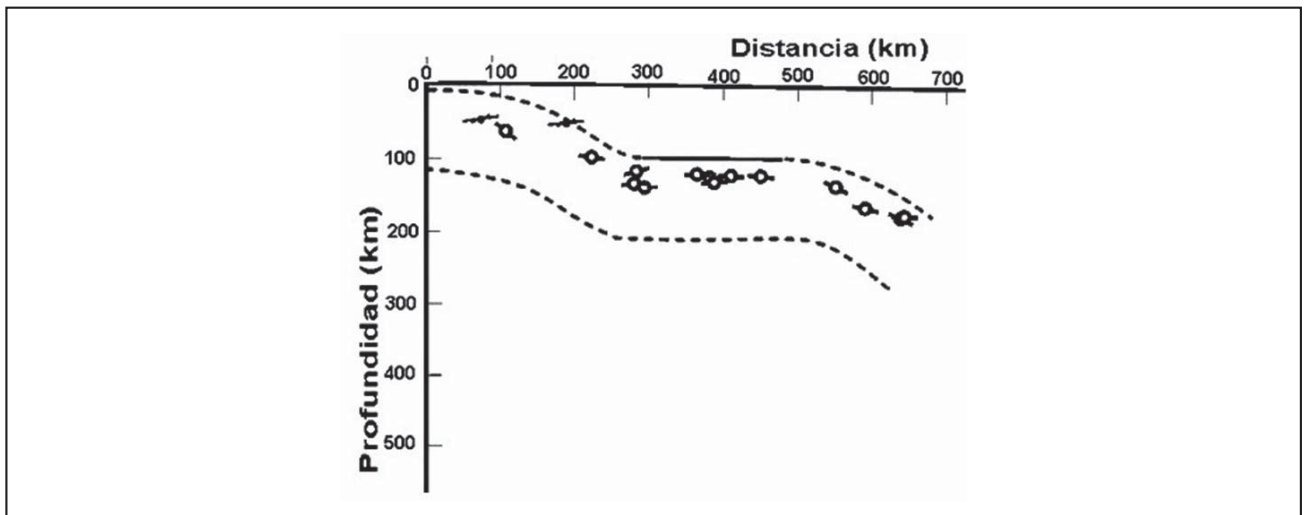


Figura 4. Corte transversal bajo la zona de estudio de la subducción de la placa de Nazca que subduce por debajo de la placa Sudamericana. Fuente: INPRES 2005.

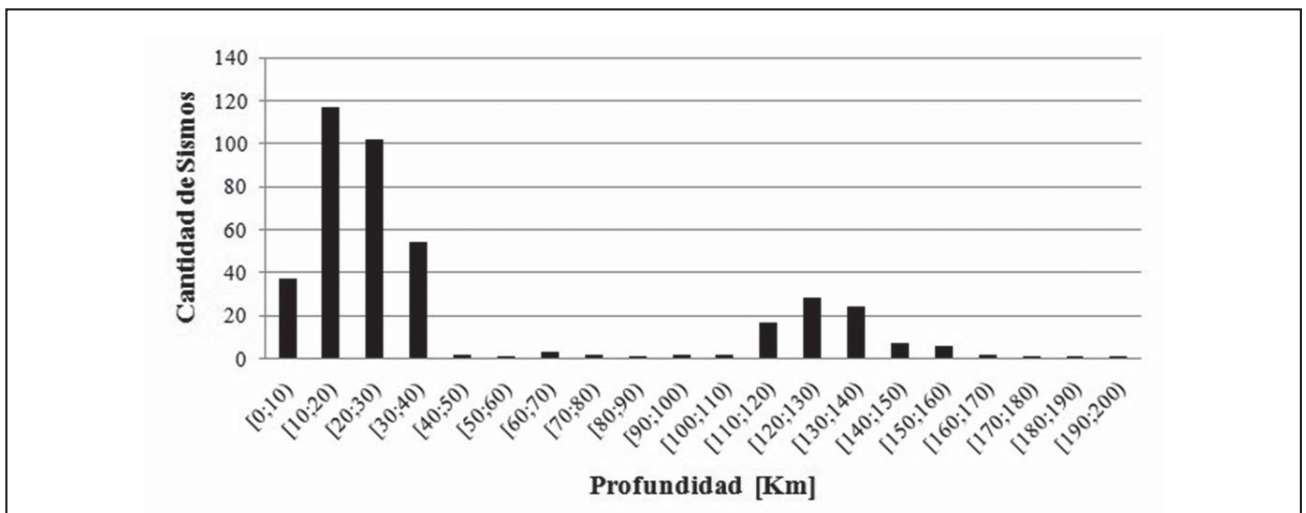


Figura 5. Sismos en Mendoza entre las latitudes  $-32,25^\circ$  y  $-33,50^\circ$  y longitudes  $-68,00^\circ$  y  $-69,50^\circ$  (Fuente: INPRES).

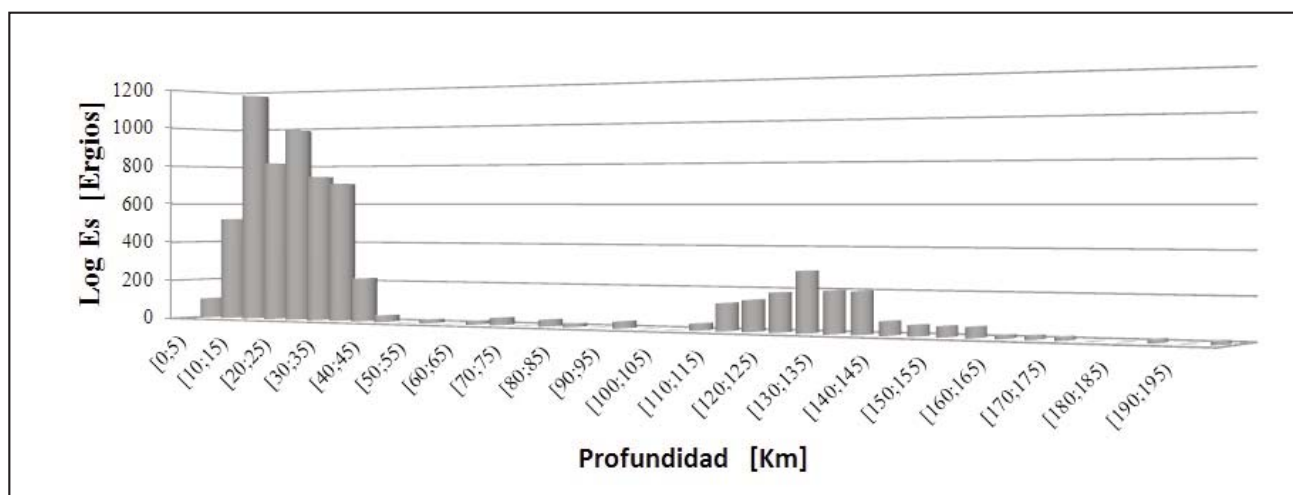


Figura 6. Energía liberada por los terremotos expresada en Log Es vs. Profundidad del hipocentro en Km.

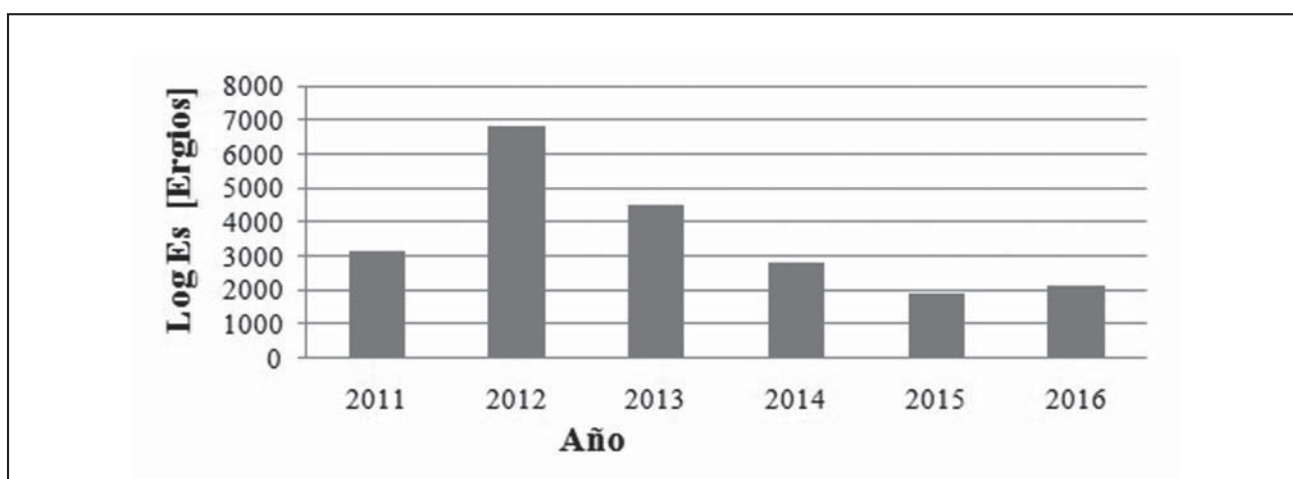


Figura 7. Energía liberada por los terremotos según Gutenberg - Richter (1956)

### ENERGÍA SUPERFICIAL

La energía que produce un terremoto depende, de la energía cinética, según la masa del suelo y de la velocidad de las ondas sísmicas; de la energía potencial, en forma general de las deformaciones del suelo y de la producción de calor, efectos de fricción interna en el suelo.

La energía siempre está en equilibrio, pero depende del tipo de onda, del recorrido hasta la superficie de la tierra y de las características de suelo, ya sea por la posibilidad o no de trasladarse por distintos medios y por la deflexión que se produce al pasar de un medio a otro. Hay que tener en cuenta que en cada región donde se realiza el estudio la heterogeneidad del suelo en profundidad puede ser muy acentuada. Infiere en forma directa el cambio de las velocidades de los distintos tipos de onda al pasar por determinados estratos del suelo. Puede ocurrir que algún tipo de onda no llegue a la superficie terrestre. En general, las velocidades que tienen las ondas sísmicas disminuyen en el recorrido por los distintos estratos que posee la corteza terrestre (*New Manual of Seismological Observatory Practice. 2002*), existen zonas en la superficie terrestre, generalmente

muy delimitadas y pequeñas, donde la velocidad se incrementa. Para estos casos en particular, la energía superficial debería incrementarse según registros propios del lugar.

Según el análisis de la profundidad del hipocentro de los terremotos se puede inferir que, desde éste hasta el epicentro, la energía se ha ido disipando, disminuyendo hasta llegar a la superficie donde están emplazadas las construcciones. Por este motivo, la demanda energética que las construcciones deberán disipar depende, además de otros parámetros, de la profundidad del hipocentro.

Los sismos que se han utilizado como base de datos y sus magnitudes son de poca envergadura, por lo tanto, los daños que han ocasionado son escasos. Analizando terremotos de similar magnitud y de diferentes profundidades, se ha confeccionado una curva de atenuación de la energía liberada hasta llegar a la superficie terrestre. Esta curva de atenuación tiene base en las expresiones de Gutenberg - Richter. Es una primera aproximación a lo que realmente pueda suceder cuando ocurran terremotos de mayor envergadura. En estos casos se podrá validar o adecuar la curva de atenuación.

La curva de atenuación posee las siguientes expresiones (Ecuación 1 y Ecuación 2) y está representada en la Figura 8:

De 0 hasta 60 Km de profundidad:

$$50 * [ \cos (1,8 * Z) + 1 + 10^{-2} * Z + 10^{-5} * Z^2 ] \leq 100$$

Ecuación 1

De 61 hasta 200 Km de profundidad:

$$3750 / Z$$

Ecuación 2

Donde Z es la profundidad del hipocentro medida en Km.

En esta curva se observa que los terremotos ocurridos a una profundidad igual o menor a los 20 Km, la atenuación de la energía es nula. Desde allí y hasta los 40 Km, sismos que se proponen también denominarlos superficiales, la energía que se disipa es solamente de un 15%. Luego la disipación disminuye inversamente proporcional y en forma suave con la profundidad.

Si aplicamos esta atenuación a los sismos de la base de datos, obtenemos la energía superficial que se tiene de los terremotos. Por año y por profundidad (Figura 9 y Figura 10).

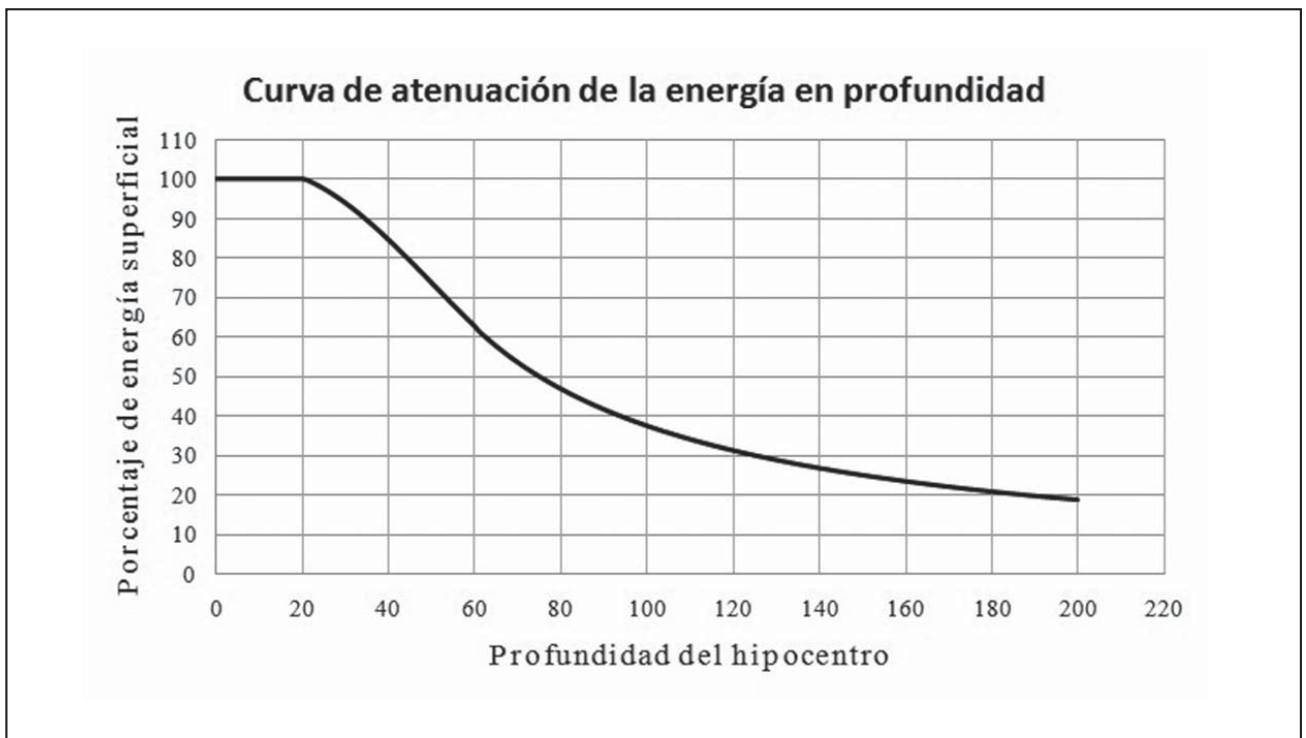


Figura 8. Curva de atenuación de la energía liberada por un terremoto según la profundidad del hipocentro al llegar a la superficie terrestre (Energía superficial).

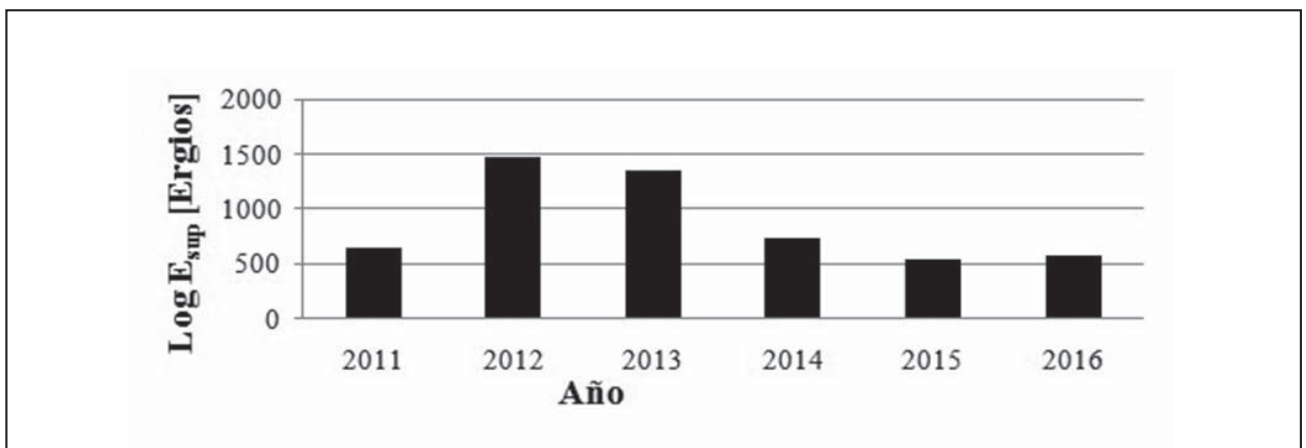


Figura 9. Energía superficial liberada por los terremotos por año expresada en Log E<sub>sup</sub>.



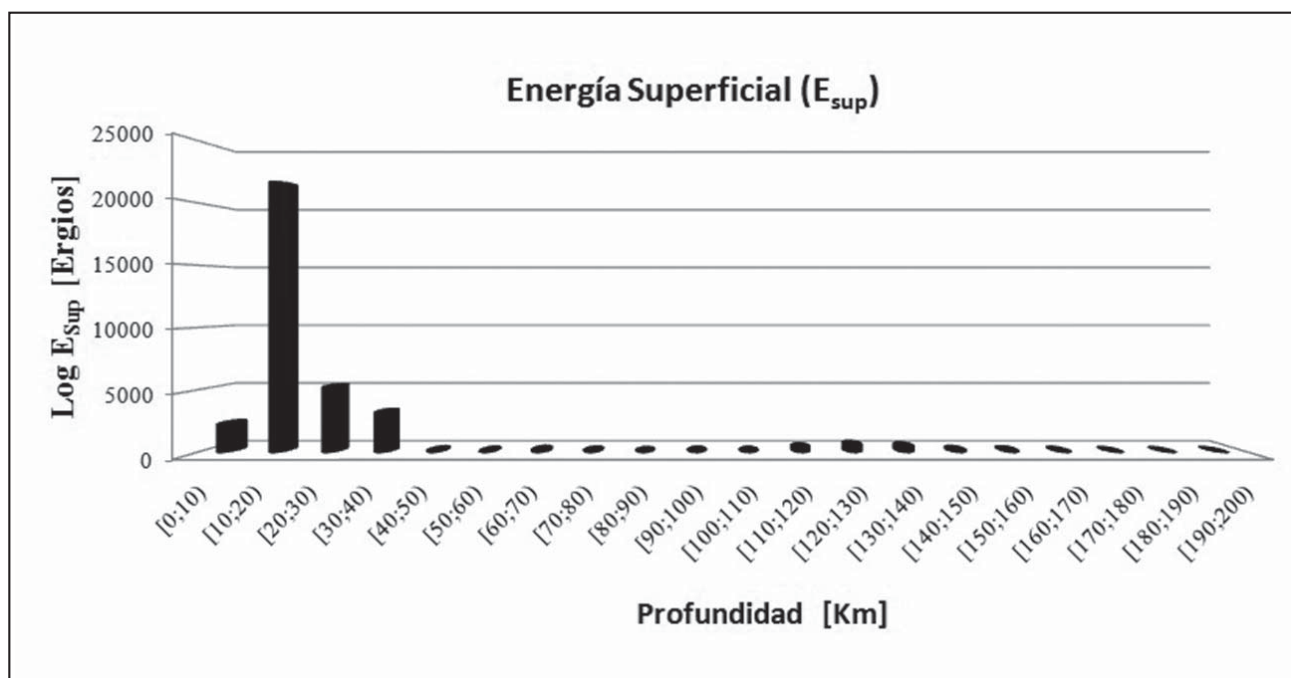


Figura 10. Energía superficial liberada por los terremotos expresada en Log  $E_{sup}$  vs. Profundidad del hipocentro en Km.

### CONCLUSIONES

La investigación realizada, basada en los registros obtenidos de los terremotos en el CEREDETEC y contrastados con los registrados por el INPRES, ponen en evidencia que sismos de muy similar magnitud pero cuyo foco está ubicado en distintas profundidades producen distintos efectos en las construcciones. Los registros de los terremotos utilizados en el presente análisis no son destructivos, sus magnitudes no superan los 5 grados Richter. Por tal motivo habría que realizar, en el futuro, la contrastación de la curva de disipación propuesta que nos permite obtener la  $E_{sup}$ , con registros de terremotos de mayor envergadura. No se disponen de datos de estos ya que no han ocurrido en los últimos años.

La Energía superficial mejora la relación de la demanda que los terremotos le otorgan a las construcciones y a su poder destructivo. Se recuerda que no se ha utilizado la terminología "poder destructivo", ya que otros investigadores la han utilizado pero en un contexto diferente. Será necesario estudiar, si al combinar ambos conceptos, se puede obtener una relación que nos brinde mayor acercamiento a lo que ocurre realmente.

Es importante conocer la demanda real que le brinda un terremoto a las construcciones. Al conocerla, se podrá actuar con aspectos de diseño y cálculo de las estructuras más adecuados, según cada región sismo-tectónica. Esto es un posible acercamiento empírico para diferenciar los efectos que produce un terremoto del tipo armónico con otro del tipo impulsivo.

La propuesta de clasificar los terremotos según su profundidad se condice con las figuras que se han presentado. En otras regiones no debería aplicarse lo mismo, sino, adecuarla a sus realidades. Esta nueva clasificación se la ha tomado como fundamento para la propuesta de la curva de atenuación de la energía de los terremotos respecto a la profundidad de su hipocentro.

Se propone seguir avanzando en esta línea de investigación en la medida de disponer nuevos registros. Hay que combinar los aspectos ya mencionados en el cuerpo del artículo, tendiendo a diferenciar lo que puede provocar sobre las construcciones un terremoto impulsivo con otro del tipo armónico.

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BOLT Y BRUCE, A., 2016.

Enciclopedia Británica. Last Updated: 12-23-2016 See Article History. Earthquake Geology. Shallow, intermediate, and deep foci.

En: <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology#toc176199main>. Obtenido en junio de 2017.

CARPETA PEDAGÓGICA

Plataforma educativa de recursos digitales. 2011. Clasificación de los sismos según su profundidad.

<http://cienciageografica.blogspot.com.ar/2011/09/clasificacion-de-los-sismos-segun-su.html>. Obtenido en Junio de 2017.

COSTA, C., MACHETTE, M., DART, R., BASTÍAS, H., PAREDES, J., PERUCCA, L., TELLO, G. Y HALLER, K., 2000.

Map and database of quaternary faults and folds in Argentina, USGS,

International, Lithosphere Program, Task Group II-2, Major Active Faults of the World, Open-File Report 00-0108.

- COSTA, C.H., 2011.  
Curso: Neotectónica Aplicada a la Ingeniería. Análisis de fallas y peligro sísmico asociado.  
*ASAGAI. Córdoba. 15 al 17 de junio de 2011.*
- FRAU, C., 2009.  
Espectro de diseño considerando efectos de directividad en zonas Near-Fault de Argentina.  
*Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.*
- GONZÁLEZ, M.A., GONZÁLEZ DÍAZ, E.F., SEPÚLVEDA, E., REGAIRAS, M.C., COSTA, C., CISNEROS, H., BEA, S., GARDINI, C., PÉREZ, I. Y PÉREZ, M., 2002.  
Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II, Mendoza, Provincias de Mendoza y San Juan.  
*Boletín N° 324. Servicio Geológico Minero Argentino, Subsecretaría de Minería de la Nación, Argentina.*
- INPRES (INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA), 2017.  
Secretaría de obras públicas - ministerio del interior, obras públicas y vivienda.  
*http://www.inpres.gov.ar. Obtenida la información en abril de 2017.*
- INPRES, 1986.  
Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en la República Argentina,  
*Publicación Técnica N° 10, 1986 a.*
- INPRES, 2005.  
Subducción de la placa de Nazca y Sudamericana. San Juan, Argentina.  
*Disponible en http://www.inpres.gov.ar. Obtenida la información en abril de 2017.*
- NAFÁ Y ZAMARBIDE, 1989.  
Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, República Argentina.  
*Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan, Argentina, Resumen Ejecutivo, Volume I y II.*
- NMSOP (NEW MANUAL OF SEISMOLOGICAL OBSERVATORY PRACTICE), 2002.
- OROSCO, L. Y ALFARO VILLEGAS, I., 2007.  
Potencial Destructivo de Sismos.  
*Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.*
- SAUTER, F., 1989.  
Fundamentos de Ingeniería Sísmica - Introducción a la Sismología. Costa Rica,  
*Editorial Tecnológica de Costa Rica.*
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2017.  
Profundidad de un sismo:  
*http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos. Obtenido en Junio de 2017.*
- SILVA, E., TORNELLO, M. Y FRAU, C., 2002.  
Caracterización de la relación magnitud-frecuencia para fuentes sismogénicas próximas al conurbano de la ciudad de Mendoza.  
*8° Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Valparaíso, Chile.*
- SILVA, E. Y TORNELLO, M., 1997.  
Cuantificación energética de la actividad sísmica con origen en la provincia de Mendoza en el periodo 1956 A 1990.  
*IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente y I Seminario Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. La Serena. Chile. Noviembre de 1997. Vol. 1 Pág. 19 a 28.*
- USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), 2017.  
*http://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/how.html. Obtenido en junio de 2017.*
- ZÚÑIGA DÁVILA, F. R., 2011.  
Madrid. Centro de Geociencias. Unam-Campus Juriquilla.  
*Posgrado en Ciencias de la Tierra Centro de Geociencias.*





# Correlación entre parámetros de compactación y propiedades geotécnicas en suelos tropicales misioneros

## Correlation between compaction parameters and geotechnical properties for tropical soils

Bogado, Gustavo O. <sup>1</sup>✉ - Pintos, Nicolás A. <sup>1</sup> - Reinert, Hugo O. <sup>1</sup> - Bressan, Daniel A. <sup>1</sup>

Recibido: 26 de octubre de 2017 • Aceptado: 30 de diciembre de 2017

### Resumen

*La compactación mecánica es el método utilizado con mayor frecuencia para la mejora de las propiedades de suelo principalmente en suelos del tipo arcilloso. En condiciones de laboratorio, los parámetros de compactación se determinan mediante ensayos Proctor. Sin embargo, el tiempo consumido en la realización del mismo es grande y limitado en etapas previas al proyecto, por lo cual, es razonable obtener correlaciones para el diseño preliminar entre los parámetros de compactación y parámetros geotécnicos. En este estudio, se describen y examinan modelos empíricos para determinar cuáles de las propiedades índices poseen un ajuste considerable con las características de compactación para suelos residuales provenientes de la Provincia de Misiones. Se recopilaron diferentes modelos de estimación de los parámetros de compactación. A partir de 60 ensayos de laboratorios ejecutados se analizó su variabilidad y se obtuvieron diferentes combinaciones de propiedades índices, por medio de análisis de regresión lineal múltiple. Para concluir este trabajo se propone una correlación lineal entre  $L_L$  (límite líquido.),  $L_P$  (límite plástico) incorporando  $PT_{200}$  (pasante tamiz N°200).*

**Palabras clave:** *suelos residuales compactados, compactación, propiedades físicas, correlación.*

### Abstract

*Mechanical compaction is the method most frequently used for the improvement of soil properties mainly in soils of the clay type. Under laboratory conditions, compaction parameters are determined by Proctor tests. However, the time consumed in the realization of the same is expensive and limited in preliminary projects, therefore, it is reasonable to obtain correlations for the preliminary design between the parameters of compaction and geotechnical parameters. In this study, empirical models are described and examined to determine which of the index properties have a considerable adjustment with compaction characteristics for residual soils. Different models of compaction parameter estimation were compiled. From 60 laboratory tests performed, their variability was analyzed and different combinations of index properties were obtained by means of multiple linear regression analysis. To conclude this work is proposed a linear correlation between  $L_L$ ,  $L_P$  and incorporating ( $PT_{200}$ ).*

**Keywords:** *compactated residual soil, compaction, physical properties, correlation.*

1. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de Oberá, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

✉ gustavobogado777@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La compactación produce la densificación y mejoramiento de las propiedades del suelo y es ampliamente utilizada en muchas aplicaciones de ingeniería geotécnica para mejorar la resistencia al corte, consolidación y permeabilidad (Mitchell y Soga, 2005). La estructura alcanzada por el suelo compactado dependerá de la humedad de compactación, es decir, si se compacta por la rama seca (humedad menor a la óptima) o rama húmeda. Existen estudios publicados en la literatura donde se correlacionan los parámetros de compactación de los suelos con las propiedades geotécnicas (Al-Khafaji, 1993; Blotz et al., 1998; Gurtug y Sridharan, 2002; Günaydin, 2009; Sridharan y Nagaraj, 2005; Ören, 2014; Najjaral et al., 2015). La Tabla 1 compila los diferentes parámetros geotécnicos utilizados por varios autores como variables independientes para estimar la humedad óptima y densidad seca máxima, entre los cuales se encuentran; límite líquido ( $L_L$ ), límite plástico ( $L_P$ ), energía de compactación ( $E_C$ ) y grado de Saturación ( $S_r$ ). Al-Khafaji (1993) investigó las características de compactación de 88 muestras locales de Irán e informó que los parámetros de compactación se correlacionaron con un alto ajuste con el límite de líquido ( $L_L$ ) y el contenido de arcilla (c). Günaydin (2009) realizó estimaciones de parámetros de compactación mediante análisis de regresión simple en 126 muestras, en los cuales determinó diferentes coeficientes de correlación ( $r^2$ ). Cuando se utilizó el  $L_L$  como parámetro independiente de estimación, los coeficientes  $r^2$  fueron 0,82 y 0,73 para  $\omega_{opt}$  y  $\gamma_{dmax}$ , respectivamente. En cambio, el mismo autor obtuvo coeficientes menores ( $r^2 < 0.3$ ) cuando

utilizó el  $L_P$  como parámetro independiente. Günaydin (2009) también realizó análisis de regresión múltiple en las muestras y concluyó que las mejores predicciones podrían ser hechas cuando los  $L_L$  y  $L_P$  son variables independientes. Todas estas ecuaciones muestran que los parámetros de compactación pueden ser estimados usando diferentes parámetros geotécnicos como variables independientes. Sin embargo, no se reportan correlaciones para el caso de suelos residuales. Haciendo hincapié en lo mencionado anteriormente, se realizaron ensayos de compactación para elaborar un registro de las propiedades estudiadas, con el fin de proporcionar información base sobre el comportamiento de los suelos de la provincia y estimar posibles correlación entre los parámetros de compactación y las propiedades geotécnicas.

En el presente trabajo se propone una correlación lineal multivariable incorporando como variable independiente el pasante tamiz N° 200 ( $PT_{200}$ ) a las variables comúnmente utilizadas (límites de Atterberg), el cual es una rutina rápida de ejecutar y se encuentra directamente relacionado con el contenido de finos. El objetivo del presente estudio es establecer correlaciones empíricas entre las características de compactación y parámetros índices de los suelos residuales presentes en el norte de Argentina. En primer lugar, se analiza la variabilidad de las propiedades geotécnicas para luego correlacionar las diferentes propiedades. Los resultados del presente trabajo son de gran utilidad para estimar valores de humedad y peso unitario de compactación en la región, principalmente para estudios previos al proyecto, en los cuales existen limitaciones económicas para la caracterización de los materiales.

**Tabla 1. Resumen de correlaciones (x indican el parámetro utilizado como variable).**

Referencia	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\omega_{opt}$ [%]	$L_L$ [%]	$L_P$ [%]	$E_C$ [kJ/m]	$S_r$ [%]
Al-Khafaji (1993)	x	x	x	x	-	-
Pandian et al.(1997)	-	x	x	-	-	x
Sridharan y Nagaraj (2005)	x	x	-	x	-	-
Gunayin (2009)	x	x	x	x	-	-
Blotz et al. (1998)	x	x	x	-	x	-
Nagaraj et al.(2015)	x	x	-	x	-	-

## MARCO GEOLÓGICO

La geología de la región central de Misiones fue descrita de manera exhaustiva por Gentili y Rimoldi (1979). Una descripción detallada de la estratigrafía típica de la región central-sur de la provincia de Misiones en la cual se obtuvieron las muestras para la ejecución de los ensayos, con su respectiva descripción litológica se encuentra en Bogado et al. (2017). Particularmente, en la provincia de Misiones la formación Serras Geral representa la unidad expuesta más antigua de Misiones; sus afloramientos se distribuyen ampliamente en todo el territorio de la Provincia, incluye dos miembros uno de naturaleza magmático (miembro Posadas) y otro de origen sedimentario clástico (miembro Solari). La formación Apóstoles, está formada por arena fina de color rojizo en que los niveles inferiores asumen una coloración roja, variando su granulometría en profundidad disminuyendo el tamaño del grano hacia la superficie asumiendo una mayor representatividad la fracción limosa hasta pasar a constituir limos arenosos y arcillas en superficie (Gentili y Rimoldi, 1979).

Los suelos utilizados en este estudio pertenecen a la formación Apóstoles, cuyas profundidades de extracción rondan 2-6 metros, también denominado laterítico, según la relación sílice/ sesquióxidos mayor a 2 (Fookes, 1997; Bogado et al., 2017). Los mismos resultan del proceso de lixiviación de sílice-álcali y la acumulación de hierro hidratado y óxidos de aluminio denominados sesquióxidos (Fookes, 1997). La formación de los suelos residuales está caracterizada por procesos de alteración físico-químicos y biológicos de su estructura y de los minerales primarios presentes en la roca madre. La meteorización física actúa cambiando el material parental sin producir cambios en las propiedades químicas o mineralógicas, entre algunos procesos físicos se encuentran; la descompresión de juntas, expansiones y contracciones térmicas, crecimientos de cristales y actividad orgánica (Mitchell y Soga, 2005). La meteorización química es mucho más compleja e implica cambios químicos en el contenido mineral de la roca madre causada por la acción de filtraciones de agua, oxígeno y dióxido de carbono (Wesley, 2009).

Los cambios físicos y químicos producen un material altamente complejo y con una gran dispersión. Las variaciones de las propiedades geotécnicas fueron reportadas en (Bogado *et al*, 2017) y los minerales característicos presentes en los suelos residuales en (Bogado y Francisca, 2017).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de los estudios realizados

En este trabajo se realizaron 60 ensayos de compactación

con su respectiva caracterización de parámetros índices. Los suelos fueron obtenidos de la zona centro y sur de la provincia de Misiones, como lo indica la Figura 1. Los ensayos de compactación fueron realizados siguiendo los lineamientos de la Norma (IRAM 10511, 1972) para Proctor tipo I y III. Además, se efectuaron ensayos de límites de Atterberg (IRAM 10501, 2007), y pasante tamiz N° 200 (IRAM 10507, 1986). En la Figura 2 se muestran imágenes de los suelos empleados en este estudio, como así también algunas probetas compactadas y retiradas del molde de compactación.



Figura 1. Ubicación geográfica de muestras obtenidas.

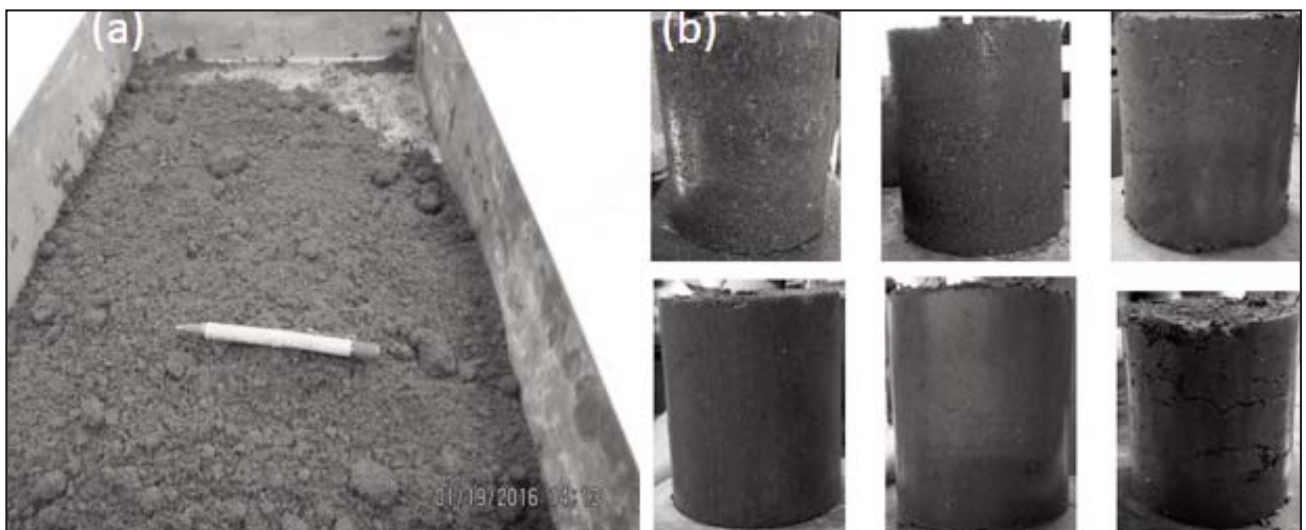


Figura 2. Fotografías de suelo laterítico. a) suelo humedecido. b) muestras compactadas.

### Variabilidad y análisis estadístico de datos

Los suelos residuales presentan gran variabilidad espacial en las propiedades físicas ya que estas dependen del clima, topografía, grado de meteorización y la naturaleza de la roca madre (Rahardjo et al., 2004). Las propiedades geotécnicas varían espacialmente tanto en dirección horizontal como en profundidad producto del proceso de meteorización. Una manera de obtener el rango de variación de propiedades es por medio de la ecuación 1 y 2, calculando la media ( $SD_w$ ) y la covarianza (COV) de los suelos como lo indica (Phoon y Kulhawy, 1999a). Valores de covarianza elevados  $COV > 70$  indican una gran dispersión en los resultados.

$$SD_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w(z_i))^2} \quad (1)$$

$$COV_w = \frac{SD_w}{t} \quad (2)$$

Donde:  $SD_w$  = desviación estándar de la propiedad inherente,  $n$  = número de datos,  $W(z_i)$  = fluctuación de la propiedad con la profundidad  $z_i$ ,  $t$  = valor medio.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Variabilidad de las propiedades y distribuciones probabilísticas

La Tabla 2 muestra los valores estadísticos calculados para los resultados de laboratorio obtenidos. Los valores medios de humedad óptima para suelos residuales compactados  $\omega_{op} = 28.49\%$  y el peso unitario seco  $\gamma_{dmax} = 14.80 \text{ kN/m}^3$  para energía Proctor estándar (Tipo I). En el caso del Proctor (tipo III),  $\omega_{op} = 24.77\%$  y  $\gamma_{dmax} = 15.70 \text{ kN/m}^3$ .

Harr (1977) realizó un estudio sobre las variaciones típicas de los coeficientes de variación COV, el autor detalla que el límite líquido posee una variación,  $COV_{LL} = 10-20\%$ , límite plástico,  $COV_{LP} = 10-20\%$  e índice de plasticidad,  $COV_{IP} = 20-30\%$ . Los resultados obtenidos se encuentran dentro de la misma variación, por lo tanto, los parámetros medidos son factibles de utilizarse para realizar un análisis de correlación. Por otro

lado, Francisca et al. (2008) relacionaron el tamaño muestral ( $N$ ) y el coeficiente de variación (COV) para distintos valores del índice de precisión  $p$  (relación entre el intervalo de confianza superior e inferior), de acuerdo con esta relación la cantidad de mediciones utilizadas en este trabajo (60), muestran un valor de precisión razonable.

La Figura 3 muestra los histogramas para el límite líquido y plástico, humedad óptima y peso unitario máximo, además, en la respectiva figura se grafica el peso unitario probabilístico acumulado. En todas las propiedades, los histogramas se ajustan a una distribución del tipo Normal, con parámetros de media y variancias indicados en el gráfico.

#### Correlación entre parámetros de compactación y límites de consistencia (modelo literatura)

La Figura 4 muestra los resultados para la humedad óptima y la densidad seca máxima calculados a partir de las correlaciones recopiladas de la literatura con los datos propios de laboratorios de los suelos lateríticos de Misiones. En ambos casos es posible notar la gran dispersión que las estimaciones dado que las mismas fueron obtenidas para otros suelos de diferentes formaciones y en algunos casos específicos como Al-Khafali (1993) para suelos aluvionales. Los mejores ajustes obtenidos fueron mediante la ecuación de Nagaraj et al., (2015) la cual relaciona los parámetros de compactación con el límite plástico.

### ANÁLISIS Y DISCUSIONES

#### Modelo propuesto para suelos residuales

Considerando la gran dispersión de los resultados obtenidos mediante los diferentes modelos recopilados en la literatura, para este estudio se considera la implementación de un análisis de regresión lineal múltiple utilizando como variable independiente  $L_L$ ,  $L_p$  y  $PT_{200}$ . En la Tabla 3 se resumen 15 ecuaciones con su respectivo coeficiente de correlación ajustado. Los valores de coeficiente de correlación resultaron  $r^2 > 0.30$  para todas las ecuaciones. Es posible notar valores de  $r^2 > 0.41$  para las ecuaciones en las que son variables independientes el  $L_L$  y  $L_p$ . Por otro lado las ecuaciones en la que se incorporaron el parámetro  $PT_{200}$  indican fuertes correlaciones,  $r^2 > 0.45$  tanto para el Proctor Tipo I como para el Tipo III.

Tabla 2. Resumen de las propiedades estadísticas (\*Proctor tipo I, \*\*Proctor tipo III).

Propiedad	Unidad	Cantidad	Media	Desviación	COV[%]
$L_L$	[%]	30	55.30	5.62	9
$L_p$	[%]	30	36.80	4.13	10
IP	[%]	30	18.09	4.41	24
$PT_{200}$	[%]	30	89.00	0.05	6
$\omega_{opt}^*$	[%]	60	28.49	2.08	7
$\gamma_{dmax}^*$	[kN/m <sup>3</sup> ]	60	14.80	0.70	5
$\omega_{opt}^{**}$	[%]	60	24.77	3.53	14
$\gamma_{dmax}^{**}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	60	15.70	0.80	5

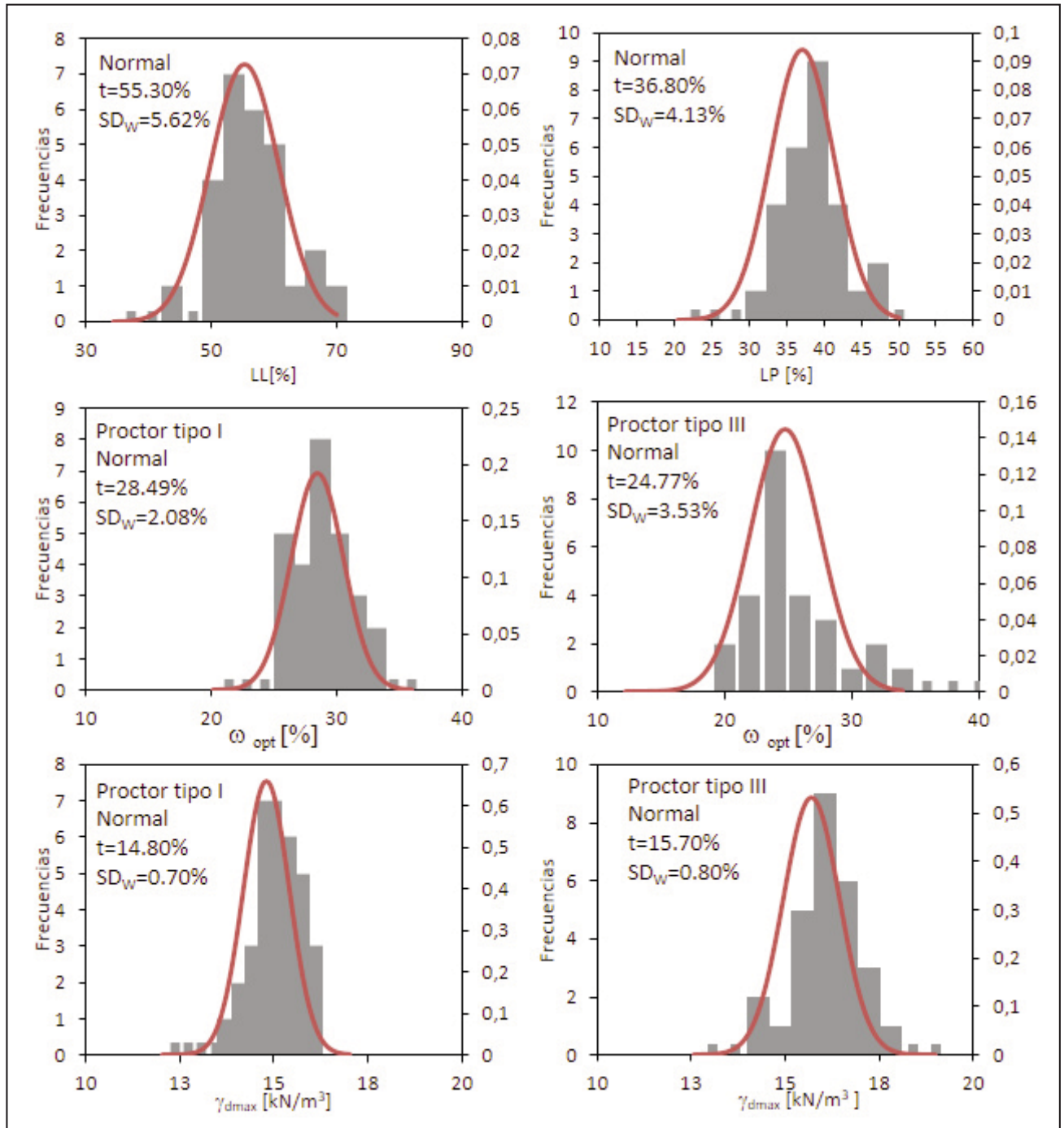


Figura 3. Histograma y distribución estadística.

En la Figuras 6 se grafican los datos medidos y los modelos de correlaciones propuestos. Principalmente se aprecia un ajuste razonable de los modelos propuestos con los datos observados, para los rangos de variación que posee  $\gamma_{dmax}$  (14-18  $\text{kN/m}^3$ ) y  $\omega_{opt}$  (16- 35 %).

### CONCLUSIONES

En este trabajo se correlacionaron parámetros de compactación de suelos residuales compactados proveniente de la Provincia de Misiones con las propiedades índices. En primer lugar se realizó una revisión actualizada de diferentes correlaciones en la literatura. Considerando que con dichas correlaciones no se obtuvo una correlación satisfactoria, se optó por

el uso de un análisis de regresión lineal múltiple a los resultados. A partir del análisis es posible afirmar las siguientes conclusiones:

- Las correlaciones recopiladas en la Tabla 1 no se pueden extrapolar a los suelos residuales de la provincia de Misiones dado la compleja génesis que posee los mismos.
- El análisis de correlación y regresión lineal dieron como mejor resultado las ecuaciones en las cuales se utiliza como variable independiente ( $L_L$ ,  $L_p$ ,  $PT_{200}$ ), dado que las mismas poseen coeficientes de correlación ( $t^2$ ) mayores. Esta correlación es muy factible dado que el  $PT_{200}$  es una rutina rápida de ejecutar y se encuentra directamente relacionado con el contenido de finos.



Tabla 3. Ecuaciones de análisis de regresión lineal múltiple (\*Proctor tipo I, \*\*Proctor tipo III)

Modelo	Ecuación	r <sup>2</sup>
M1	$\gamma_{dmax} = 16.903 + 0.033 L_L - 0.11 L_P + 0.004 PT_{200}^*$	0.45
M2	$\gamma_{dmax} = 17.152 + 0.033 L_L - 0.10 L_P^*$	0.55
M3	$\gamma_{dmax} = 16.734 - 0.0325 L_L^*$	0.44
M4	$\gamma_{dmax} = 17.702 - 0.074 L_P^*$	0.52
M5	$\gamma_{dmax} = 20.747 + 0.0157 L_L - 0.0518 L_P - 0.0433 PT_{200}^{**}$	0.40
M6	$\gamma_{dmax} = 17.84 + 0.0156 L_L - 0.0769 L_P^{**}$	0.60
M7	$\gamma_{dmax} = 17.542 - 0.03135 L_L^{**}$	0.24
M8	$\gamma_{dmax} = 18.09 - 0.061 L_P^{**}$	0.32
M9	$\omega_{opt} = 15.533 - 0.103 L_L + 0.2732 L_P + 0.0092 PT_{200}^*$	0.53
M10	$\omega_{opt} = 21.681 - 0.102 L_L + 0.326 L_P^*$	0.49
M11	$\omega_{opt} = 22.944 - 0.097 L_L^*$	0.35
M12	$\omega_{opt} = 19.99 - 0.221 L_P^*$	0.46
M13	$\omega_{opt} = -17.134 - 0.086 L_L + 0.161 L_P + 0.455 PT_{200}^{**}$	0.74
M14	$\omega_{opt} = 13.37 - 0.0845 L_L + 0.425 L_P^{**}$	0.41
M15	$\omega_{opt} = 15.015 - 0.175 L_L^{**}$	0.40
M16	$\omega_{opt} = 11.97 - 0.394 L_P^{**}$	0.38

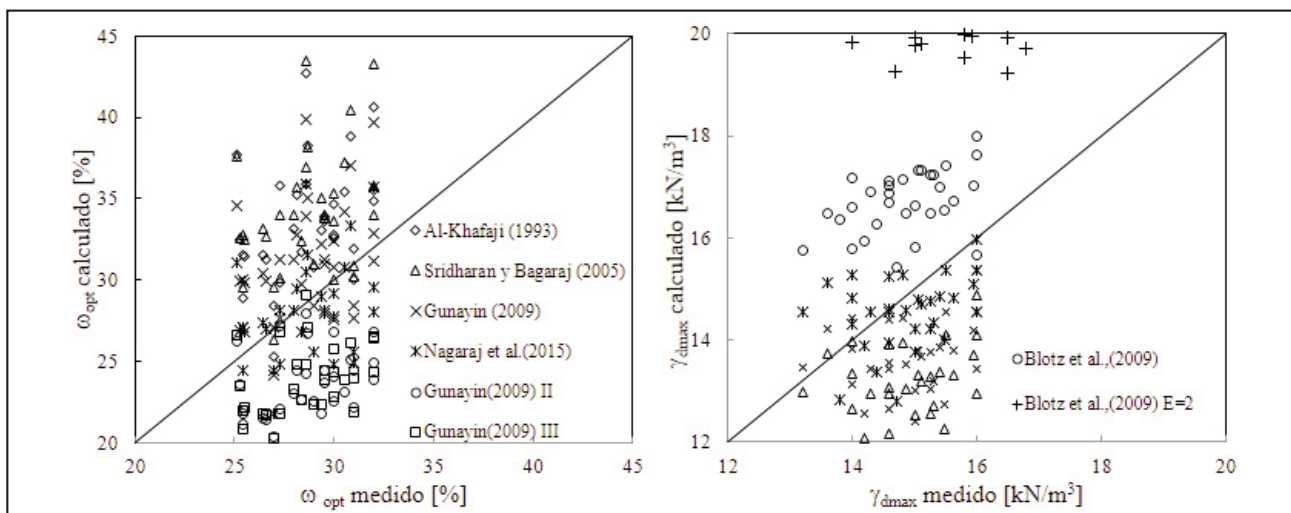


Figura 4. Relación entre; a)  $\gamma_{dmax}$  medido y  $\gamma_{dmax}$  calculado mediante correlaciones de la literatura. b)  $\omega_{opt}$  medido y  $\omega_{opt}$  calculado mediante correlaciones de la literatura.

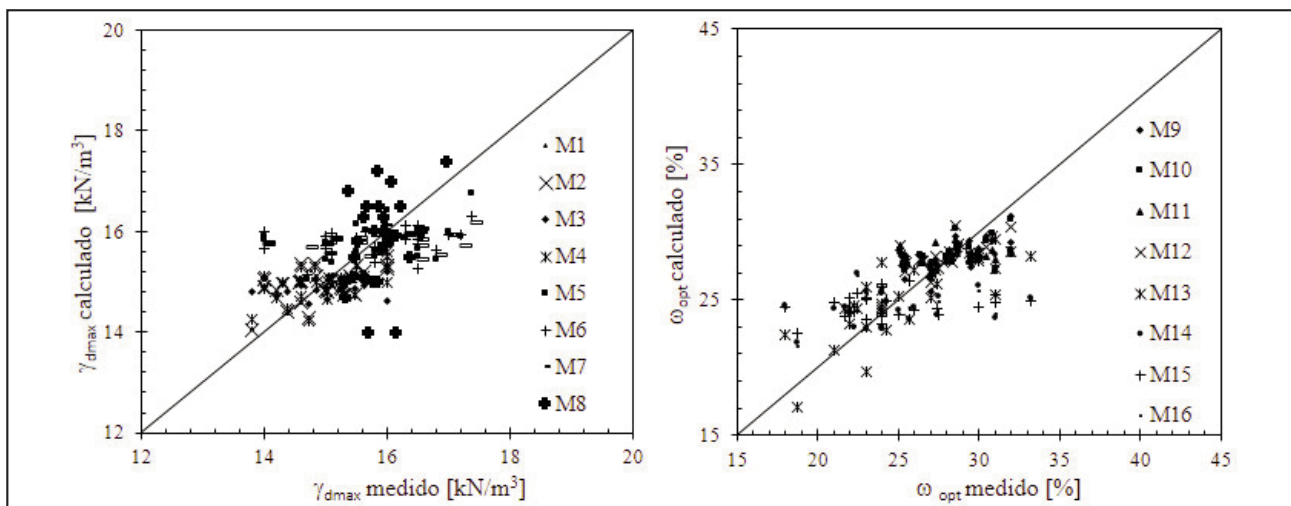


Figura 5. Relación entre; a)  $\gamma_d$  medido y calculado, b)  $\omega_{opt}$  medido y calculado.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería por el financiamiento de las Becas de Iniciación a la Investigación de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil, Melina Elizabeth Morgenstern y Ingrid

Beatriz Drewes, en el marco del Proyecto de Investigación "Estudio del Comportamiento Geomecánico de Suelos Residuales Lateríticos Compactados" identificado con el Código 16/I145. Se agradece al Grupo consultor Mesopotámico por su gentileza de facilitar parte de los datos de ensayos utilizados en esta investigación.

**TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO**

- AL-KHAFI A.N., 1993.  
Estimation of soil compaction parameters by means of Atterberg limits.  
*Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 26(4), 359-368.
- BLOTZ L.R., BENSON C.H., BOUTWELL G.P., 1998.  
Estimating optimum water content and maximum dry unit weight for compacted clays.  
*Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(9), 907-912.
- BOGADO G.O., FRANCISCA F.M., 2017.  
Caracterización geo-mecánica de un perfil de meteorización residual.  
*Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 4(1), 49.
- BOGADO G.O., REINERT H.O., FRANCISCA F.M., 2017.  
Geotechnical properties of residual soils from the North-east of Argentina.  
*International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-10.
- FOOKES P.G. (Ed.), 1997.  
Tropical residual soils: A Geological Society Engineering Group working party revised report.  
*Geological Society of London*.
- FRANCISCA, F. M., ROCCA, R. J., DAHBAR, P., & VERRA, M. 2008.  
Variabilidad de las propiedades geotécnicas de los limos loésicos de Córdoba.  
*XIX Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (Vol. 15)*.
- GENTILI C.A., RIMOLDI H.R., 1979.  
Geología Regional Argentina -Mesopotámica.  
*Volumen I. Academia Nacional de Ciencias. p. 186-223. Buenos Aires*.
- GÜNA YDIN O., 2009.  
Estimation of soil compaction parameters by using statistical analyses and artificial neural networks.  
*Environmental Geology*, 57(1), 203.
- GURTUG Y., SRIDHARAN A., 2002.  
Prediction of compaction characteristics of fine-grained soils.  
*Geotechnique*, 52(10), 761-763.
- HARR, M.E., 1977.  
Mechanics of Particulate Media.  
*New York; McGraw Hill*
- IRAM 10511, 1972.  
Método de ensayo de compactación en laboratorio.
- IRAM 10507, 1986.  
Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda".
- IRAM 10507, 1986.  
Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda.
- IRAM 10501, 2007.  
Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad.
- IRAM 10503, 2007.  
Método de determinación de la densidad relativa de los sólidos y de la densidad de los sólidos de un suelo.
- MITCHELL J.K., SOGA K., 2005.  
Fundamentals of soil behavior.  
*John Wiley & Sons*.
- NAGARAJ H.B., REESHA B., SRAVAN M.V., SURESH, M.R. (2015).  
Correlation of compaction characteristics of natural soils with modified plastic limit.  
*Transportation Geotechnics*, 2, 65-77.

- ÖREN A.H., 2014.  
Estimating compaction parameters of clayey soils from sediment volume test.  
*Applied Clay Science*, 101, 68-72.
- PHOON K.K., KULHAWY F.H., 1999.  
Characterization of geotechnical variability.  
*Canadian Geotechnical Journal*, 36(4), 612-624.
- RAHARDJO H., AUNG K.K., LEONG E.C., REZAUR R.B., 2004.  
Characteristics of residual soils in Singapore as formed by weathering.  
*Engineering Geology*, 73(1), 157-169.
- SRIDHARAN A., NAGARAJ H.B., 2005.  
Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils.  
*Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 9(1), 17-22.
- WESLEY L.D., 2009.  
Fundamentals of soil mechanics for sedimentary and residual soils.  
*John Wiley & Sons*.

# INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente publica: Artículos Originales, Artículos Invitados, Notas Técnicas, Reseñas de Libros, Artículos especiales sobre casos de estudio históricos de interés relevante, Discusiones Técnicas breves de artículos y comunicaciones publicadas en la Revista y Anuncios de eventos.

En atención al procedimiento de arbitraje, se solicita a los autores leer y seguir estrictamente las siguientes instrucciones:

## a) De carácter general:

- Las contribuciones deben ser originales.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no ha sido publicado, total o parcialmente, con anterioridad.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no será publicado en otras publicaciones en cualquier idioma sin el consentimiento de los propietarios de los derechos de autor (o copyright), que los derechos de terceros (terceras partes) no serán violados y que el editor no será considerado legalmente responsable si existe algún reclamo de indemnización.
- Se podrán recibir trabajos escritos en español, portugués o inglés.
- El Comité Editorial y la Dirección de la Revista se reservan la posibilidad de invitar a especialistas reconocidos a enviar artículos sobre temas de interés específico

## b) Sobre el formato y la extensión del texto, tipos de letra, páginas, párrafos y leyendas:

- La versión original deberá ser editada en Microsoft Word (.doc o .docx).
- En la primera página se deberá incluir el título del artículo, que debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas. Se debe utilizar letra Times New Roman tamaño 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.  
El título se debe expresar en español y en inglés. Si el trabajo está escrito en portugués, también se debe incluir en inglés. Si el trabajo está escrito en inglés, también se debe incluir en español.
- Debajo del título, el texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, con los datos de los autor/es y afiliaciones. Los nombres de los autores se deben escribir en letra normal, las afiliaciones y direcciones de correo electrónico en letra cursiva. Se deberá identificar con un superíndice al autor que se deba dirigir la correspondencia.
- Desde la segunda página comienza el desarrollo del trabajo. En el caso que el idioma del trabajo sea español, se debe incorporar, en forma consecutiva, el "Resumen" de hasta 250 palabras, las "Palabras clave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords". A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea inglés, la primera sección será el "Abstract" de hasta 250 palabras, seguido de las "Keywords" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Resumen" y las correspondientes "Palabras clave" en español. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea portugués, la primera sección será el "Resumo" de hasta 200 palabras, seguido de las "Palavras chave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords" en inglés. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a interlineado sencillo, con sangría de un centímetro y sin doble espacio entre párrafos. Se conservarán

los tipos de letra destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras. Deberá estar escrito en una sola columna.

- El tamaño de la hoja es A4 (210 x 297 mm). El área de trabajo será de 170 mm de ancho y 247 mm de altura. Es decir, 20 mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25 mm. Se debe usar justificación completa.
- La extensión no deberá superar las 20 páginas en el caso de Artículos Originales. En el caso de Artículos Invitados la extensión podrá ser superior, siempre que el interés del contenido lo justifique y previo acuerdo con la Dirección de la Revista y el Comité Editorial. En el caso de las Notas Técnicas la extensión no deberá superar las 3 carillas, y en el resto de las situaciones mencionadas una página. En todos los casos la fuente y los márgenes se conservan.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Cuando una abreviatura, o un acrónimo, aparezca en el texto por primera vez, su significado deberá ser aclarado en forma completa entre paréntesis.
- No se aceptarán notas de pie de página. La información respectiva deberá incorporarse en el texto.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:}}).
- Las fórmulas deben ser digitadas. Deje un espacio amplio alrededor de la fórmula.
- Los subíndices y superíndices deben ser claros.
- Los caracteres especiales y otras letras no latinas deben ser explicados en el margen, donde sean usados por primera vez. Tenga especial cuidado en diferenciar entre cero (0) y la letra "o", y entre uno (1) y la letra "l".
- Proporcione el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo "/" en lugar de la línea horizontal; por ejemplo:  $Sy/Xm$  en lugar de  $\frac{Sy}{Xm}$
- En las fórmulas químicas deben especificarse la valencia de los iones como, por ejemplo,  $Ca^{2+}$  y  $CO_3^{-2}$ , no como  $Ca^{++}$  o  $CO^{-3}$ .
- Los números de isótopos deben indicarse mediante un superíndice antecediendo a los símbolos químicos, por ejemplo:  $^{18}O$ .
- Donde sea posible se debe evitar la escritura repetida de fórmulas químicas en el texto. En lugar de ello se debe dar el nombre completo del compuesto. Se exceptuarán aquellos casos de nombres muy largos y frecuentes, o de compuestos que son descritos como el producto final de una determinación gravimétrica (ejemplo: fosfato como  $P_2O_5$ ).

## c) Sobre el formato de figuras y tablas:

- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, gráficos, etc., presentes en el texto, que deberán llevar numeración arábiga correlativa por orden de aparición y se ajustarán al tamaño de la caja.  
Las ilustraciones deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de claridad. Deben

tener una resolución mínima de 300 dpi.

- Se deben evitar los espacios en blanco sobrantes alrededor de la figura, o la presencia de grandes sectores sin información en el interior de la misma.
- Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma, la que no se debe incluir en el cuerpo de la figura. Se usará letra Times New Roman punto 12, a interlineado sencillo. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Figura n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- Las figuras serán citadas en el texto como (Figura n), siendo n el número de orden que corresponda, sea directamente como Figura 1, por ejemplo, o bien entre paréntesis como (Figura 1). Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo considerar el espacio ocupado por el epígrafe. Se las deberá enviar como archivos individuales en uno de los formatos aceptables (.tif, .jpg, .pdf o .eps). No se aceptan archivos incluidos en documentos de otros formatos, como Word o PowerPoint, por ejemplo. En el caso de una figura compuesta por varias imágenes las mismas deberán estar debidamente identificadas con una letra en la esquina inferior derecha de la misma.
- Las fotografías (y figuras en formato raster con tono continuo) deben ser pancromáticas, contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura. Deben ser enviadas como archivos .tif, .jpg, .pdf o .eps. No se aceptarán fotografías en color. Las fotografías en color serán reproducidas en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.  
Deberán incluir escala, vertical y horizontal en caso de ser distintas, cuando no existan elementos en la misma que permitan su dimensionamiento (escala, cinta métrica, martillo geológico, brújula, vehículo, etc.).
- Las figuras delineadas o dibujos deben ser contrastados y claros.
- Las figuras de tipo mapa deben estar orientadas, incluir escala gráfica e indicación de la localización geográfica (trazas UTM o Lat/Long). Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados. No se aceptarán mapas en color. Los mapas en color serán reproducidos en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.
- Se debe utilizar la misma tipografía en todas las ilustraciones.
- Los gráficos deben poseer ejes de coordenadas correctamente rotulados y con indicación de la unidad de medida correspondiente, en el caso que corresponda.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto. Se deben remitir como archivo de texto y no como imagen.
- Las Tablas serán citadas en el texto iniciando con mayúscula en citas directas, o indirectas entre paréntesis. Es decir como Tabla 1, o bien (Tabla 1).
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Cada tabla debe llevar, del mismo modo que las figuras, una leyenda breve y explicativa, en la parte inferior. Se usará letra Times New Roman punto 12, a interlineado sencillo. La tabla y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Tabla n: donde n es el número de orden que corresponda.

#### **d) Sobre las referencias bibliográficas y las citas de trabajos de otros autores**

- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales

de otros artículos o capítulos de libros si no se dispone de la autorización expresa de quién detente los derechos, es decir de la editorial responsable de la publicación correspondiente o bien del autor o los autores. La reproducción autorizada de tablas, fotografías u otras ilustraciones procedentes de otros trabajos deberá incorporar en el epígrafe la cita del trabajo original de donde fue obtenido. Con respecto a las figuras, en el caso que la misma se reelabore, o de una tabla, que sea editada, se deberá indicar “modificada a partir de ...” seguido de la cita del artículo original.

- A los autores que deseen incluir figuras tablas o secciones completas de texto que ya han sido publicados en otras publicaciones, se les requiere obtener el permiso del/de los propietario/s del copyright y que incluyan evidencias que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio que otras inclusiones de párrafos, definiciones, conceptos o clasificaciones provenientes de otros autores puedan ser aceptadas con la cita expresa de la referencia correspondiente. Cualquier material recibido sin esa documentación será considerado como originado por los autores, quienes, por lo tanto, deberán asumir la responsabilidad legal correspondiente.
- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Las mismas deberán estar ordenadas alfabéticamente.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores (en mayúsculas) y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, sin subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Las citas bibliográficas estarán justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán empleando texto en cursiva sea para el título de la revista o actas de congreso o reunión científica, en el caso de artículos o el título del libro, en el caso de textos:  
CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Vol. VI: 250-267.
- Los artículos en textos:  
MATEOS RUIZ, R.M. y M. FERRER GIJÓN, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & A.P. Cunha (eds.), 7th International Congress International Association of Engineering Geology, Vol III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:  
DEARMAN, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
- En el caso de citar un párrafo o frase de otro trabajo, éste deberá aparecer entre comillas y cursiva, acompañada de la correspondiente cita. Por ejemplo,..... según Casio et al., (1980), “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma”... o bien directamente “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma” (Casio et al., 1980).
- Las citas correspondientes incluirán a la totalidad de los autores. Ejemplo para Casio et al., (1980):

---

CASIO, M.; MARCINUS, F; SALINA, R y HUBBARD, R.T., 1980. La caída del imperio romano. *Revista de Occidente*, Vol 180: 224-234.

- Las citas correspondientes de páginas Web se efectuarán de acuerdo al siguiente modelo: Barker, A and C Jones 2007. Reassessing the direction of postgraduate environmental assessment education: the Manchester experience 1996–present. En *Environmental Assessment Lecturer's Handbook*, ed. T B Fischer et al., pp. 29-38. Disponible en <<http://www.penta-eu.net>>, ultimo acceso 28 de Junio de 2010.

#### e) Notas Técnicas

- Es un artículo original que describe un proceso o técnica sin incluir, necesariamente, una exposición teórica y datos. También puede referirse a un estudio de caso, el que por

lo novedoso de los datos que se obtienen o de las técnicas utilizadas, el/los autor/es consideran de interés su difusión. La extensión total del manuscrito, que no debe superar las 3 (tres) páginas y ajustarse a los parámetros mencionados en el punto b, incluye Resumen, Abstract, palabras clave, keywords, hasta 2 (dos) figuras y una tabla acorde a lo establecido en el punto c. Las referencias bibliográficas deberán respetar lo establecido en el punto d.

#### f) Arbitraje

- La evaluación por pares es efectuada mediante el envío del original a dos evaluadores. En el caso de disparidad de opiniones, se remite a un tercer evaluador.
- Los Editores se reservan la posibilidad de tomar la decisión final en el caso que la tercera evaluación no establezca si el artículo debe ser aceptado, o no, para su publicación.



**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

**FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA**

ENVIAR A:

**Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería**

Maipú 645 - Piso 1° - C1006ACG

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

(Una vez completado el formulario envíelo a la dirección antes mencionada)

1. Suscripción a la *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, por el corriente año (marcar la siguiente casilla) [ ]

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

\_\_\_\_\_ [ ]

3. Deseo comprar los artículos:

\_\_\_\_\_ [ ]

Indique si desea recibir su pedido en formato *papel* (por correo tradicional), o en formato *electrónico en fichero pdf* (por correo electrónico):

**FORMA DE PAGO**

Adjuntando cheque a nombre de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.

Mediante depósito en la Cuenta Corriente N° 20566/5 Sucursal 115 del Banco Santander Río

Mediante transferencia bancaria a la Cuenta Corriente. CUIT: 30 - 67660597- 1.

CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de *factura* para pago mediante transferencia.

**PRECIO DE COMPRA (Desde 01-10-2017):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **1250** Pesos
- Compra de número atrasado: **980** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **350** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **66** Dólares
- Compra de número atrasado: **52** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **18** Dólares por artículo

**PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-10-2017):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **1550** Pesos, en formato electrónico, y **2450** Pesos en edición papel
- Suscripción Instituciones: **6200 / 9800** Pesos
- Compra de número atrasado: **980** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **350** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **82** Dólares, en formato electrónico, y **129** Dólares en edición papel
- Suscripción Instituciones: **328 / 516** Dólares
- Compra de número atrasado: **52** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **18** Dólares por artículo

**Envíos fuera de Argentina:** se añadirán gastos de envío a los precios anteriormente señalados. Ver tarifas de correos en: [www.correoargentino.com.ar](http://www.correoargentino.com.ar)

*Quienes quieran asociarse a la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería encontrarán información a tal efecto en [www.asagai.org.ar](http://www.asagai.org.ar)*

**Los Socios de ASAGAI reciben sin cargo alguno la revista.**





# COMISIÓN ROCAS ORNAMENTALES Y ROCAS DE APLICACIÓN

## INVITACIÓN A PARTICIPAR



**Monumento  
Luis María Campos  
Cementerio de la  
Recoleta.  
Ponce, 2010**

Las rocas de aplicación, principalmente las ornamentales, poseen rasgos que les proporcionan un estilo propio y característico de cada ciudad o región del mundo.

El estudio y conocimiento de las características físicas, químicas y mineralógicas de dichas rocas son importantes para determinar la durabilidad de estos materiales, así como las técnicas de saneamiento, rehabilitación y restauración.

El estudio de los yacimientos es importante para establecer las propiedades de las rocas in situ y elaborar estrategias extractivas a largo plazo.

Para ello se le invita a participar de la Comisión de Rocas Ornamentales y de Aplicación de ASAGAI, y que tiene por objeto reunir a profesionales en la materia con el fin de llevar a cabo investigaciones que puedan resultar útiles a la comunidad que hace uso de dichos materiales, siendo uno de los fines primordiales el de la divulgación en revistas o publicaciones de nivel nacional e internacional.



**Monumento Histórico Nacional a la  
Bandera. Rosario. Santa Fe.  
Travertino**



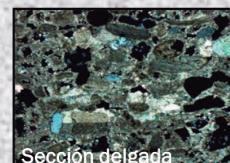
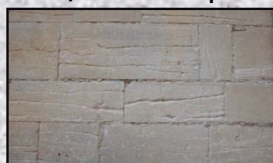
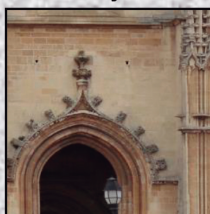
**Corte y extracción de bloques**



**Bloques de travertino**



**Placas comerciales**



**Sección delgada**

**Caliza piedra muelle (España), utilizada en Catedral de Oviedo del Siglo XVI.**

**CONTACTO: [rocasornamentales.asagai@gmail.com](mailto:rocasornamentales.asagai@gmail.com)**

**Lic. María Beatriz Ponce**

**Lic. Gabriela Soledad Coelho dos Santos**



# 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



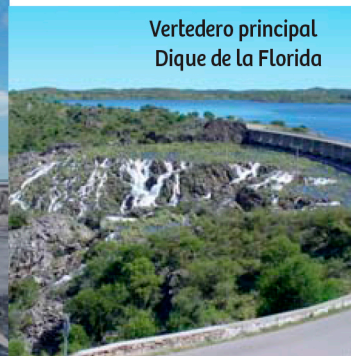
Ex estación de trenes (FFCC San Martín).  
Hoy Centro Cultural de la  
Municipalidad de San Luis

**Ciudad de San Luis**

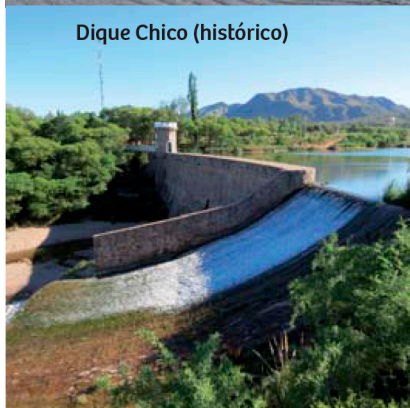
**22, 23 y 24 de agosto de 2018**



Salinas del Bebedero.  
Explotación de Sal. Prou. de San Luis



Vertedero principal  
Dique de la Florida



Dique Chico (histórico)

Organiza



Contacto: [congreso@asagai.org.ar](mailto:congreso@asagai.org.ar)

# 1º Congreso Argentino

## de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

### TEMARIO:

#### Aspectos geológico-ingenieriles en la construcción de obras y patologías de terrenos

- Estudios geológicos y geotécnicos en el proyecto y construcción de obras de ingeniería.
- Investigación científico tecnológica: Aspectos geomecánicos (resistencia y deformabilidad) e hidráulicos (permeabilidad) de suelos y rocas (macizos rocosos) en la excavación y fundación de obras de ingeniería.
- Casos de obras.
- Geología Aplicada a la actividad minera.
- Geología Aplicada a la Ingeniería Vial y Ferroviaria.
- Geología Aplicada al proyecto y construcción de molinos eólicos.
- Geología Forense (estudios de patologías del terreno y sus consecuencias).
- Auscultación geológico-geotécnica de las obras de ingeniería.
- Materiales de construcción.

#### Aspectos geológicos relacionados con:

- la energía geotérmica.
- la energía hidráulica.
- los sensores remotos.
- la geoquímica aplicada.
- la geofísica aplicada.

#### Cartografía temática

- Mapas de peligrosidad, susceptibilidad y riesgo.
- Mapas geotécnicos.
- Mapas de ordenamiento territorial.

#### Geología ambiental

- Conservación de la roca ornamental.
- Contaminación y degradación de recursos naturales.
- Evaluación ambiental de planes, proyectos y obras.
- Geoindicadores.
- Recuperación y rehabilitación de espacios degradados.
- Pasivos ambientales (depósitos de residuos domiciliarios e industriales, pasivos mineros, pasivos petroleros, abandono de sitios utilizados como obradores, etc.).

#### Geología Urbana y el Ordenamiento Territorial

- El ordenamiento del territorio y la geomorfología aplicada.
- Ordenamiento territorial urbano, estudios geológicos y geotécnicos vinculados.
- Impacto ambiental de intervenciones en áreas urbanas.

#### Geología costera

- Problemática del retroceso costero: natural o inducido.
- Urbanizaciones y ordenamiento territorial: crecimiento, impactos ambientales y planificación.
- Manejo costero (restauración de dunas y playas, medidas estructurales y no estructurales, etc.).

## **Ciudad de San Luis.**

**22, 23 y 24 de agosto de 2018**

- *Alteraciones a la dinámica litoral (perfil de playa, desbalance sedimentario, etc.)*
- *Explotación de acuíferos y de áridos en zonas costeras.*
- *Contaminación costera y calidad ambiental de playas*
- *Geomorfología y paisaje costero.*
- *Gestión de playas.*

### **Geología y las patologías profesionales**

- *Afecciones a la salud de origen geológico: asbesto, fluorosis, contaminación minera, etc.*

### **Geomecánica**

- *Ensayos de mecánica de rocas, suelos y hormigones.*
- *Geomecánica de macizos rocosos.*
- *Geomecánica aplicada a la explotación de recursos naturales (agua, hidrocarburos, minería).*
- *Modelado geomecánico.*

### **Gestión integrada de recursos hídricos**

- *Hidrología subterránea.*
- *Hidrología superficial.*
- *Inundaciones.*
- *Modelado de acuíferos con relación a proyectos de ingeniería, acuíferos costeros e intrusiones marinas.*

### **Parques Geológicos, Geoturismo y Educación.**

- *Geoparques y geositios.*
- *Gestión de áreas protegidas.*
- *Gestión de proyectos de geoparques: casos de estudio*
- *Patrimonio geológico.*
- *Protección de sitios de interés geológico-paleontológicos.*

### **Riesgo geológico**

- *Erosión y cárcavamiento.*
- *Expansividad y colapsabilidad de suelos.*
- *Hundimientos y subsidencias.*
- *Impacto de meteoritos y cuerpos estelares.*
- *Problemática ligada a las Inundaciones.*
- *Movimientos de ladera: reptación y deslizamientos. Estabilidad de laderas y taludes.*
- *Sismos: licuefacción de suelos, fallas activas, tsunamis, seiches, efectos directos.*
- *Volcanismo activo.*

### **MESA REDONDA**

- *Enseñanza de la geología aplicada en la carrera de grado de Geología.*

*El programa contempla presentaciones a cargo de conferencistas y sesiones técnicas que permitirán a los autores de los resúmenes aceptados exponer en forma oral, o de póster, su propuesta.*

Copyright  
© Editorial ASAGAI. 2017  
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Diciembre de 2017