

# Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani  
(organizador)

 EDITORA  
ARTEMIS  
2023

# Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani  
(organizador)

 EDITORA  
ARTEMIS  
2023



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitted o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

<b>Editora Chefe</b>	Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>a</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>a</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizador</b>	Prof. Dr. Alireza Mohebi Ashtiani
<b>Imagem da Capa</b>	Abstract Style Landscapes /123RF
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba  
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal  
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*  
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*  
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal  
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*  
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*  
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal  
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil  
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*  
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil  
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal



Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Sílvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo (USP), Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia  
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E82 Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades / Organizador Alireza Mohebi Ashtiani. – Curitiba, PR: Artemis, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Digital Editions

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-74-3

DOI 10.37572/EdArt\_240223743

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Ashtiani, Alireza Mohebi.

CDD 509

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



## APRESENTAÇÃO

As ciências exatas e da terra têm uma importância muito especial e são consideradas a origem e a base principal do progresso de outras áreas de conhecimento, que ganharam destaque com a evolução tecnológica e a complexidade dos desafios humanos.

De modo geral, pode-se dizer que as importantes conquistas dos séculos passados e atuais se devem à atuação e ao avanço do campo das ciências exatas e da terra, que, através de desafios, situações e aplicações, avançaram e cruzaram as fronteiras tradicionais de outras áreas de conhecimento, resolvendo problemas complexos que abrangem diversas áreas: a isto chamamos “interdisciplinaridade”.

Diante dessa realidade, o primeiro volume de **“Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades”** publicado pela Editora Artemis e apresentado em 10 capítulos, tem por objetivo dar um panorama geral dos desafios, avanços e possibilidades que envolvem essa área de conhecimento, tanto na teoria quanto na prática.

Os trabalhos aqui apresentados, de pesquisadores de diversos países, entre eles Argentina, Brasil, México, Paraguai, Portugal e Rússia, oferecem aos leitores e interessados a oportunidade de ampliar seus conhecimentos e adquirir uma visão mais profunda da área.

Alireza Mohebi Ashtiani

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

APLICACIÓN DE LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE AGUACATE (*Persea americana*) PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) DE AGUAS CONTAMINADAS

Ismael Acosta Rodríguez  
Adriana Rodríguez Pérez  
Juan Fernando Cárdenas González  
Víctor Manuel Martínez Juárez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237431](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237431)

### **CAPÍTULO 2..... 10**

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE EXTRATOS BRUTOS OBTIDOS DE DOIS FUNGOS ENDOFÍTICOS ISOLADOS DE *COCHLOSPERMUM REGIUM*

João Vitor Fonseca Montel  
Gleys Kellen Aquino Moraes  
Sara Bruna Souza Dantas  
Vanessa Mara Chapla

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237432](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237432)

### **CAPÍTULO 3..... 18**

COMPARACIÓN DEL CONTENIDO FENÓLICO EN MUESTRAS DE TÉ NEGRO Y VERDE COMERCIALES MEDIANTE EL MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU

Daniela Yusbizareth Rodríguez Jiménez  
Candy Andreina Montaña Pérez  
Martha Edith Cansino Marentes  
Rogelio Fernández Argüelles  
Javier German Rodríguez Carpena  
Gabriela María Ávila Villarreal

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237433](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237433)

### **CAPÍTULO 4..... 24**

QUÍMICA: DESARROLLANDO ENSEÑANZA VIRTUAL EN LA PANDEMIA

Susana Juanto  
Gerónimo Prado  
Lucas Emanuel Mardones

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237434](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237434)

**CAPÍTULO 5..... 36**

VARIACIÓN EN EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN DISTINTOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: CONSECUENCIAS AMBIENTALES Y PRODUCTIVAS PARA EL SO BONAERENSE

Nico Digüero  
M.A. Luna  
L.M. Molina  
H.J. Hernández  
P.I. Pesatti  
G.M. González

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237435](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237435)

**CAPÍTULO 6..... 43**

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOUR AND CORRELATIONS WITH PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOLID CERAMIC BRICKS IN ASUNCIÓN

Roberto Alejandro Rojas Holden  
Juan de Dios Jacobo

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237436](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237436)

**CAPÍTULO 7..... 63**

COMPARISON OF ANALYTICAL AND NUMERICAL SOLUTIONS TO THE STRESSES PROBLEM IN A CYLINDRICAL SHELL WITH A CIRCULAR HOLE

Stanislava V Kashtanova  
Alexey V Rzhonsnitskiy

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237437](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237437)

**CAPÍTULO 8.....70**

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ALTIMÉTRICOS MEDIANTE LA ARTICULACIÓN ENTRE CÁTEDRAS DE DISTINTAS ÁREAS

Claudio Eduardo Justo  
Viviana Angélica Costa

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237438](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237438)



**CAPÍTULO 9.....79**

CARACTERIZACIÓN DE LA CORTEZA DE TRANSICIÓN Y LÍMITE CORTICAL CONTINENTAL-OCEÁNICO EN EL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO

María Alejandra Arecco

Patricia Alejandra Larocca

Francisco Ruiz

Guillermo Domingo Pizarro

María Florencia Canero

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2402237439](https://doi.org/10.37572/EdArt_2402237439)

**CAPÍTULO 10..... 94**

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SUBMARINE GROUNDWATER DISCHARGES AT OLHOS DE ÁGUA, ALGARVE, PORTUGAL – FREEZE PROJECT

Fátima Sousa

Helena Frazão

Judite Fernandes

Dmitri Boutov

Francisco Leitão

Pedro Range

Gabriela Carrara

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_24022374310](https://doi.org/10.37572/EdArt_24022374310)

**SOBRE O ORGANIZADOR.....107**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 108**

# CAPÍTULO 1

## APLICACIÓN DE LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE AGUACATE (*Persea americana*) PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) DE AGUAS CONTAMINADAS

Data de submissão: 15/12/2022

Data de aceite: 04/01/2023

### Ismael Acosta Rodríguez

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí  
San Luis Potosí, S.L.P  
C.P. 78320, México  
ORCID: 0000-0001-8620-2727

### Adriana Rodríguez Pérez

Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí  
Centro de Investigación y  
Extensión de la Zona Media  
El Balandran  
Calle Escontria No. 230. Barrio 3  
C.P. 79660. Ciudad Fernández  
San Luis Potosí, S.L.P. México  
ORCID: 0000-0002-6570-6579

### Juan Fernando Cárdenas González

Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí  
Centro de Investigación y  
Extensión de la Zona Media  
El Balandran  
Calle Escontria No. 230. Barrio 3  
C.P. 79660. Ciudad Fernández  
San Luis Potosí, México  
ORCID: 0000-0002-3502-5959

### Víctor Manuel Martínez Juárez

Área Académica de  
Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Autónoma del  
Estado de Hidalgo  
Avenida Universidad Km. 1 s/n  
Exhacienda Aquetzalpa, 43600  
Tulancingo de Bravo  
Hidalgo, México  
ORCID: 0000-0002-7426-6835

**RESUMEN:** Se analizó la capacidad de remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de aguacate (*Persea americana*). Para evaluar la concentración del metal se utilizó el método de la difenilcarbazida. Se evaluó la bioadsorción a diferentes pH's (1, 2, 3 y 4) durante 270 min. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C hasta 60°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de Cr (VI) de 200 a 1000 mg/L. La mayor bioadsorción (50 mg/L) fue a los 270 min, a pH de 1.0 y 28°C. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción fue a los 60°C, con un 100% de remoción a los 45 minutos. A las concentraciones de Cromo (VI) analizadas, la biomasa natural mostró una excelente capacidad de remoción, además de que remueve eficientemente el metal *in situ* (100% de remoción en suelo y agua contaminados, a los 5 y 6 días de incubación,

con 10 g de la biomasa fúngica (100 mL de agua), por lo que se puede utilizar para eliminarlo de aguas residuales industriales.

**PALABRAS CLAVE:** Bioadsorción. Cromo (VI). Biomásas naturales.

## APPLICATION OF AVOCATO (*Persea americana*) PEEL BIOMASS FOR THE REMOVAL OF CHROMIUM (VI) FROM POLLUTED WATERS

**ABSTRACT:** We analyzed the Chromium (VI) removal capacity in aqueous solution by the *Persea americana* biomass, using the diphenylcarbazide method to evaluate the metal concentration. Biosorption at different pH (1, 2, 3, and 4) was evaluated for different times. We too studied the effect of temperature in the range of 28 to 60 °C and the removal at different initial concentrations of Cr (VI) of 200 to 1000 mg/L. Therefore, the highest biosorption of the metal (50 mg/L) occurs within 270 minutes, at pH of 1.0 and 28°C. According to temperature, the highest removal was observed at 60°C, in 45 minutes, when the metal is completely adsorbed. At the analyzed concentrations of Cr (VI), fungal biomass, showed excellent removal capacity, besides it removes efficiently the metal in situ (100% removal in soil and water contaminated, after 5 and 6 days of incubation, 10 g of biomass, and 100 mL of water; so, it can be used to eliminate it from industrial wastewater.

**KEYWORDS:** Biosorption. Chromium (VI). Natural biomass.

### 1 INTRODUCCIÓN

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, sobre todo para la gente que trabaja en la industria del acero y textil, debido a que provoca diferentes efectos sobre la salud, como reacciones alérgicas (erupciones cutáneas), puede causar irritación y sangrado de la nariz. [1]. El Cromo (VI) produce además debilitamiento del sistema inmune, daño hepático, daño renal, alteración del material genético, cáncer de pulmón y una exposición aguda puede causar la muerte [2]. Debido a las actividades industriales, como la producción de acero, minería, cemento y curtido de pieles, ciertas zonas de México, tienen altos niveles de Cromo en suelo y agua (NOM-052-ECOL-1993, la cual establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente) [3]. Adicionalmente a la actividad industrial, el uso de lodos de aguas negras o de fertilizantes con diferentes concentraciones de Cromo (VI) en algunas prácticas agronómicas, son otros de los factores contribuyentes a la contaminación ambiental por el metal [4].

El Cromo se encuentra presente en agua y suelo principalmente en dos formas de oxidación: Cromo (III) o Cromo (VI), puede encontrarse como óxido de cromo, sulfato de cromo, trióxido de cromo, ácido crómico y dicromato [5]. En presencia de materia orgánica, el Cromo (VI) presente en aguas y suelos es reducido a Cromo (III); aunque las altas concentraciones del ion en estado hexavalente pueden sobrepasar

esta capacidad de reducción, lo que impediría su adecuada eliminación [6]. Niveles elevados de Cromo (15 mg/L en agua de ríos y 0.10 mg/L en agua potable [3]) resultan tóxicos para bacterias, hongos, animales, plantas y humanos. Particularmente, el Cromo (VI) tiene efectos carcinogénicos en animales y mutagénicos en humanos y bacterias [6]. En aguas residuales, el metal se encuentra en solución como  $\text{CrO}_4^{2-}$  [2], y puede removerse por reducción, precipitación química, adsorción e intercambio iónico [6]. El proceso más utilizado en aguas residuales, es la adición de un agente reductor que convierta el Cromo (VI) a Cromo (III) y posteriormente se le precipita con soluciones básicas a  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  [1].

Investigaciones recientes sobre la adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales, realizadas a nivel mundial, revelan la capacidad de adsorción de diferentes biomasa residuales como la corteza del árbol del pirul [7], las cáscaras de tamarindo, plátano (*Musa paradisiaca*), limón (*Citrus limonium*), y naranja (*Citrus sinensis*) [8], hoja de maíz [9], cáscara de melón [10], aserrín de pino [11], cáscaras de *Mangifera indica*, *Musa paradisiaca*, *Citrus paradise*, *Cucumis melo*, *Cucurbita máxima* [12], y de toronja [13]. Otro tipo de bioadsorbentes muy usados en la actualidad son los microorganismos, como las algas, hongos y levaduras [14].

Actualmente, es de gran interés analizar otras biomásas naturales capaces de eliminar y/o reducir este metal de aguas y suelos contaminados, como la biomasa de aguacate (*Persea americana*), que podría llegar a remover el Cromo por interacción con los componentes estructurales de la pared celular, en donde incluso podría modificar su estado de oxidación, mediante la reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) siendo esta última la forma menos tóxica del Cromo. Se ha descrito que en la interacción del Cromo a la pared celular se realiza mediante la participación de grupos amino y carboxilo. Aunque se desconocen los mecanismos básicos de unión del Cromo a las biomásas analizadas. Una ventaja del uso de éstas, es que se pueden propagar de manera muy fácil y son muy económicas.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad de remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de aguacate (*Persea americana*).

## 2 MATERIAL Y METODO

### 2.1 BIOADSORBENTE UTILIZADO

La biomasa se obtuvo a partir de aguacate (*Persea americana*), adquirido en el mercado República, entre los meses de julio-agosto de 2015, de la ciudad capital de San Luis Potosí, S.L.P. Para la obtención de la biomasa, el orégano, se lavó 72 horas

con agua tridesionizada en agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se hirvió 1 hora, para eliminar los restos de materia orgánica, se secó a 80°C, durante 12 horas en horno bacteriológico, se molió en licuadora hasta pulverización y se guardó en frascos ámbar hasta su uso.

## 2.2 SOLUCIONES DE CROMO

Se trabajó con 100 mL de una solución de 50 mg/L de Cr (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 1 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de  $K_2Cr_2O_7$  (Marca Analit). Se ajustó el pH de la dilución a analizar con  $H_2SO_4$  1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa.

## 2.3 MÉTODOS EXPERIMENTALES

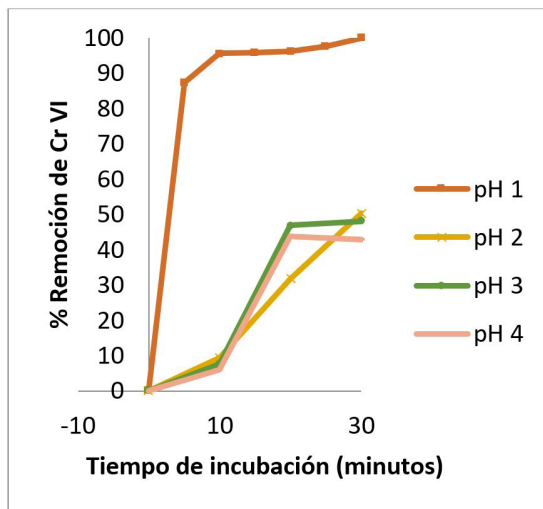
### 2.3.1 Determinación de la concentración de Cromo Hexavalente

La concentración de Cromo (VI) en solución acuosa se determinó por el método colorimétrico de la difenilcarnazida [15]. Todos los experimentos se realizaron 3 veces y por duplicado.

## 3 RESULTADO Y DISCUSIÓN

Inicialmente, se analizó la bioadsorción de 50 mg/L de Cromo (VI), a diferentes tiempos de incubación y a los siguientes valores de pH: 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 encontrando que a pH de 1.0 se remueve el 100% del metal a los 7 minutos (Figura 1). La literatura [12] reporta un tiempo y pH de incubación óptimos de 24 y 52 h cuando se trabajó con las biomásas de las cáscaras de *M. indica*, *M. paradisiaca*, *C. paradise*, *C. melo*, *C. máxima* y aserrín, fueron: 1.16, 60, 120, 180, 480, y 960 minutos, respectivamente, a un pH de 1.0, y una concentración constante del bioadsorbente (1.0 g/100 mL), y 50 mg/L del metal, un pH de 2.0 y 5 días para *Aspergillus niger* ([16], este último con 10 g/L de biomasa, y a un pH de 2.0. Cambios en la permeabilidad, de origen desconocido, podrían explicar en parte las diferencias encontradas en el tiempo de incubación, proporcionando mayor o menor exposición de los grupos funcionales de la pared celular de la biomasa analizada [17].

Figura 1. Efecto del tiempo de incubación y del pH inicial sobre la remoción de Cromo (VI) (1.0 g de biomasa, 50 mg/L Cromo (VI), 28°C, 100 rpm).



Con respecto a la influencia del pH inicial sobre la eficiencia de remoción se encontró que la mayor actividad se evidenció a pH 1.0, pues a los 7 minutos se remueve el 100% del metal. Se ha reportado un pH óptimo de 1.0 para las biomásas de la cáscara de melón [10], aserrín de pino [11], cáscaras de *Mangifera indica*, *Musa paradisiaca*, *Citrus paradise*, *Cucumis melo*, *Cucurbita máxima* [12], y de toronja [13], aunque otros autores reportan un pH óptimo de 2.0 para: semillas de tamarindo [18], la corteza de eucalipto [19]; bagazo y pulpa de caña de azúcar [20]. El Cromo (VI) se encuentra como  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$ ,  $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$  [21]. Una baja en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cromo (VI) de la solución cargados negativamente, por lo que la bioadsorción incrementa al aumentar la acidez de la solución. Sin embargo, cuando el pH aumenta, se incrementa la concentración de iones  $\text{OH}^-$ , induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cromo (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a estos valores de pH.

También, se encontró que a mayor temperatura es mayor la bioadsorción del metal, pues a 60°C y 28°C, se remueve el 100% del metal en solución a los 24 y 210 minutos, respectivamente (Figura 2), resultados que son coincidentes con los de litchii [22], con un 100% a los 5 minutos; para la cáscara de naranja [23], 100% a los 10 minutos; un 98% de remoción a 58°C y 180 minutos, para la semilla de tamarindo [18]. El incremento en la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal, por incrementar la velocidad de reacción redox [24].

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones de Cromo (VI) en solución, a un pH de 1.0 +/- 0.2, con 1 g de biomasa de orégano, a 28°C, y 100 rpm, se encontró que a menor concentración del metal, la remoción es mayor, pues 200 mg se eliminan a los 20 minutos, mientras que 1000 mg, se remueven a los 210 minutos (Figura 3), lo cual es similar a otros reportes de la literatura [10,11,12,13,22 y 23] (2009), (Acosta y cols., 2010), para la remoción de la misma concentración de Cromo (VI) por diferentes biomazas naturales.

Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de Cromo (VI) (1.0 g de biomasa, 50 mg/L Cromo (VI), 100 rpm).

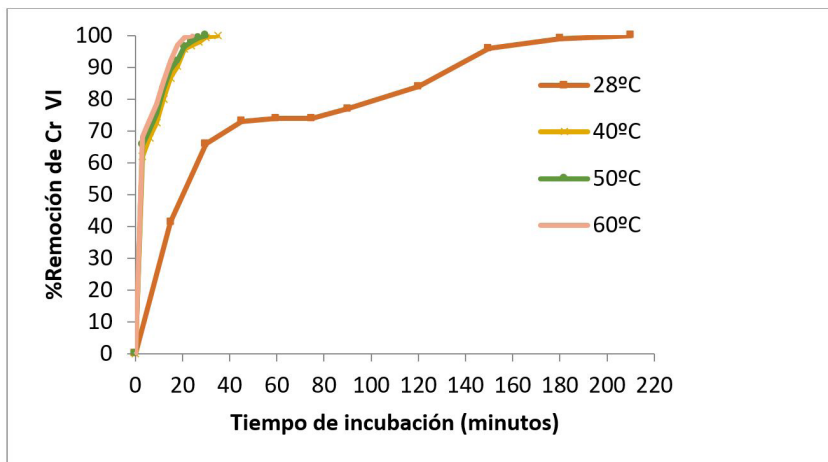
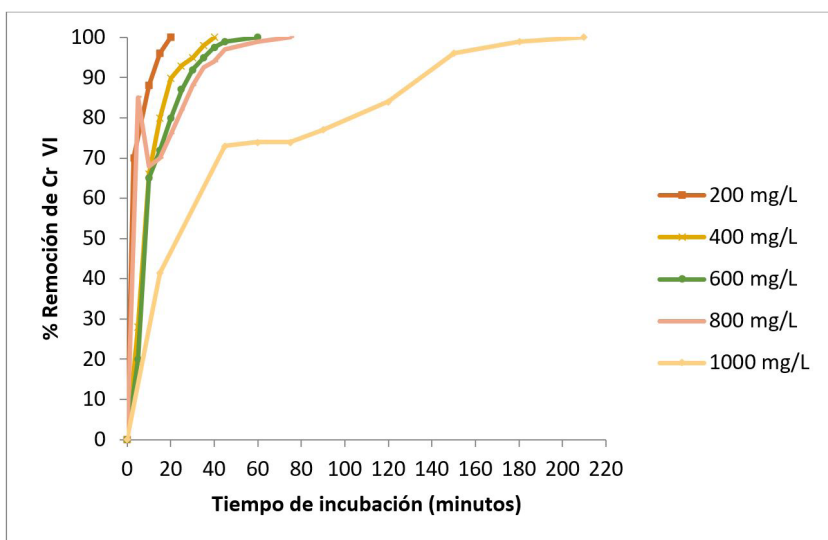


Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones de cromo (VI) sobre la remoción del mismo (1.0 g de biomasa, 28°C, pH= 1.0, 100 rpm).



Con objeto de analizar el posible uso de la biomasa para eliminar Cromo (VI) de desechos industriales, se adaptó un ensayo de biorremediación en solución acuosa,

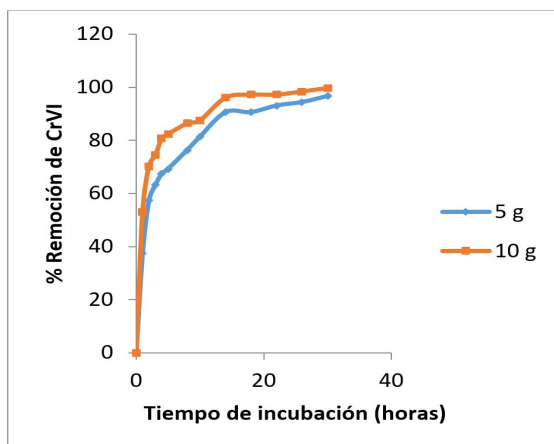
incubando la biomasa con tierra no estéril, contaminada con 297 mg Cromo (VI)/g de tierra y 100 mL de agua contaminada con aproximadamente con 400 mg de Cromo (VI), resuspendiendo la tierra en agua tridesionizada a 28°C y 100 rpm, observando que después de 5 días de incubación se remueve totalmente la concentración de Cromo (VI) de la muestras de tierra y agua contaminadas, sin cambios significativos en el contenido de Cromo total durante el experimento (Figura 4), lo cual coincide con los reportes de la literatura con bacterias, hongos y levaduras aislados de sitios contaminados con el mismo metal [1,4,6,7,8,9,10,11,12,13,18,22].

También, se observó que las biomásas analizadas, de manera similar a las cáscaras de tamarindo, plátano (*Musa paradisiaca*), limón (*Citrus limonium*), y naranja (*Citrus sinensis*) [8], hoja de maíz [9], cáscara de melón [10], aserrín de pino [11], cáscaras de *Mangifera indica*, *Musa paradisiaca*, *Citrus paradise*, *Cucumis melo*, *Cucurbita máxima* [12], y de toronja [13], son capaces de reducir el Cromo (VI) a Cromo (III), lo cual es una ventaja con respecto a otras biomásas que no tienen esta capacidad, para remover el metal en solución y a partir de nichos contaminados con el mismo.

#### 4 CONCLUSIÓN

La biomasa de aguacate mostro una excelente capacidad para bioabsorber 1 g/L de Cr (VI) en solución, después de 210 minutos de incubación, a 28°C, una agitación constante de 100 rpm con 1 g de biomasa; por otro lado, la biomasa puede remover eficientemente el metal *in situ* (100% de remoción, con 5 días de incubación, 5 g de biomasa, en suelo y agua contaminados con el metal. Estos resultados sugieren la potencial aplicabilidad de la biomasa de aguacate para la remediación de lugares contaminados con Cr (VI).

Figura 4. Biorremediación de Cromo (VI) por la biomasa de aguacate, a partir de tierra contaminada con 297 mg de Cromo (VI)/g de tierra, y 400 mg/L de agua (5.0 g de biomasa y 20 g de tierra, 5.0 g de biomasa y 95 mL de agua, 28°C, 100 rpm).





## REFERENCIAS

1. M. Ahemad, Bacterial mechanisms for Cr(VI) resistance and reduction: an overview and recent advances. *Folia Microbiol.* 59: 321–332 (2014).
2. D. Córdoba, F.A. Cotton y G. Wilkinson; *Advanced Inorganic Chemistry*, 4a Ed. Chichester, Uk; John Wiley&Sons, 376-379, (1980).
3. NORMA Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. 22-10-93.
4. F.J. Acevedo-Aguilar, A.E. Espino-Saldaña, I.L. Leon-Rodríguez, M.E. Rivera-Cano, M. Avila-Rodríguez, K. Wrobel, K. Wrobel, P. Lappe, M. Ulloa, y J.F. Gutiérrez-Corona. Hexavalent chromium removal in vitro and from industrial wastes, using chromate-resistant strains of filamentous fungi indigenous to contaminated wastes. *Can. J. of Microbiol.* 52(9): 809-815 (2006).
5. Y. Khambhaty, K. Mody, S. Basha y B. Jha. Kinetics equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger*. *Chem. Eng. J.* 145: 489-495 (2009).
6. C. Cervantes, J. Campos-García. S. Devars. J.F. Gutiérrez-Corona, H. Lozano-Talavera, J.C. Torres-Guzmán y R. Moreno-Sánchez. Interactions of chromium with microorganisms and plants, *FEMS Microbiol. Rev.* 25: 333-347 (2001).
7. E. Aranda-García, A.R. Netzahuatl-Muñoz, C. Cristiani-Urbina, L. Morales-Barrera, G. Pineda-Camacho y E. Cristiani-Urbina. Bioreduction of Cr(VI) and chromium biosorption by a corn shell of *Quercus crassipes* humb. & bonpl. *J. Biotechnol.*150: 228-228 (2010).
8. K. Kelly-Vargas, M. Cerro-López, S. Reyna-Téllez, E.R. Bandala y J.L. Sánchez-Salas, Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, 37-39: 26-29, (2012).
9. N.A. Adesola, J. Oyebamiji y S. Adebawale. Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf, *Int. J. Phys. Sci.*1: 23-26, (2006).
10. I. Acosta Rodríguez, J.F. Cárdenas González, M.G. Moctezuma Zárata, J. Tovar Oviedo, M.Z. Acosta Nava, V.M. Martínez Juárez y F. Navarro Castillo. Biosorption of Chromium (VI) by *Cucumis melo* Shell. *J. of Multidis. Eng. Sc. and Technol. (JMEST)*. 2(5): 988-993, (2015).
11. I. Acosta-Rodríguez, K.C. Ruiz-Trujillo, J.F. Cárdenas González, M.G. Moctezuma-Zárata y V.M. Martínez-Juárez. Chromium (VI) removal by Sawdust of pine tree. *Int. J. of Latest Res. in Sci. and Technol.* 4 (2): 124-128, (2015).
12. I. Acosta Rodríguez, J.F. Cárdenas González, M.E. Torre Bouscoulet, A. González Estrada, S.E. Guerrero Martínez, C.Y. Salazar Salazar, V.M. Martínez Juárez y L.E. Frago Morales, Biosorption of chromium (VI) by different natural biomasses. *J. of Multidis. Eng. Sci. and Technol. (JMEST)*: 2 (7): 1736-1741, (2015).
13. I. Alcaraz Vázquez, L. Torres Ramírez, J.F. Cárdenas González, M.G. Moctezuma Zárata, V.M. Martínez Juárez e I. Acosta Rodríguez. El uso de la cáscara de toronja (*Citrus paradisi*), para la eliminación de Cromo (VI) de sitios contaminados. En: *Tendencias de Investigación en Ciencias Naturales y Exactas*. Editores: Candy Carranza Álvarez y Alejandro Hernández Morales. UASLP: Cap. 2. pp. 13-20 (2015).

14. C. Tejada-Tovar, A. Villabona-Ortiz y L. Garcés-Jaraba. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*. 18 (34): 109-123, (2015).
15. A.E. Greenberg, L.S. Clesceri y A.D. Eaton. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18a ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 3, pp. 58-3.60, 187-190 (1992).
16. D. Park, Y. Yun, J. Jo, y J.M. Park. Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Wat. Res.* 39: 533-540 (2005).
17. D. Kratochvil y B. Volesky, Advances in the biosorption of heavy metals. *TIBTECH*. 16: 291- 300 (1998).
18. G.S. Agarwal, H. Kumar y S. Chaudari. Biosorption of aqueous chromium (VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Biores. Technol.* 97: 949-956 (2006).
19. V. Sarin y K.K. Pant. Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Biores. Technol.* 97: 15-20 (2006).
20. Sharma, D.C. y Forster. C.F. A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents. *Biores. Technol.* 47: 257-264 (1994).
21. C. Rollinson, Chromium, molybdenum and tungsten, in: T. Dickson (ed), *Comprehensive Organic Chemistry*, 3a. ed. Pergamon Press, Oxford, UK, 691-694 (1973).
22. R. Martínez Pérez. Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cascara de Litchi (*Litchi chinensis* sonn). Tesis Licenciatura Q.F.B./FCQ/UASLP. (2009).
23. I. Acosta-Rodríguez, H.M. González Sánchez, J.F. Cárdenas-González, M.G. Moctezuma-Zárate y V. Martínez Juárez. Remoción de Cromo (VI) en solución por la cáscara de naranja. (*Citrus sinensis* Osbeck). Tlatemoani, *Revista Académica de Investigación*. 9, 1-16, (2012).
24. P.R. Wittbrodt y C.D. Palmer. Effect of temperature, ion strength, background electrolytes, and Fe(III) on the reduction of hexavalent chromium by soil humic substances. *Environm. Sci.Technol.* 30 (8): 2470-2477 (1996).
25. A. Zubair, H.N. Bhatti, M.A. Hanif, & F. Shafqat. Kinetic and equilibrium modeling for Cr (III) and Cr (VI) removal from aqueous solutions by *Citrus reticulata* waste biomass. *Wat. Air Soil Pol.* 191, 305-318, (2008).

## CAPÍTULO 2

### CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE EXTRATOS BRUTOS OBTIDOS DE DOIS FUNGOS ENDOFÍTICOS ISOLADOS DE *COCHLOSPERMUM REGIUM*

Data de submissão: 12/01/2023

Data de aceite: 27/02/2023

#### João Vitor Fonseca Montel

Graduado em Química Ambiental na  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
Rua Badejós, S/N, Zona Rural  
Caixa postal 66, Gurupi - TO  
77402-970, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7329126351594836>

#### GleYS Kellen Aquino Moraes

Mestre em Biotecnologia pela  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
Rua Badejós, S/N, Zona Rural  
Caixa postal 66, Gurupi - TO  
77402-970, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6571661184653670>

#### Sara Bruna Souza Dantas

Mestre em Química pela  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
Rua Badejós, S/N, Zona Rural  
Caixa postal 66, Gurupi - TO  
77402-970, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8078832194241979>

#### Vanessa Mara Chapla

Doutora em Química pela  
Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
Rua Badejós, S/N, Zona Rural  
Caixa postal 66, Gurupi - TO  
77402-970, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7208996459142622>

**RESUMO:** Diante da necessidade de descobrir novos compostos ativos, os fungos endofíticos, organismos associados a plantas, surgem como uma alternativa viável para amplificar a descoberta de novos compostos. Com o intuito de estudar o potencial químico e biotecnológico de fungos endofíticos do Cerrado, dois fungos endofíticos isolados da planta medicinal *Cochlospermum regium*, foram selecionados para estudo. Os compostos produzidos pelos fungos foram identificados por cromatografia gasosa acoplado ao espectrômetro de massa (CG/EM). Foram identificados 36 compostos, os majoritários foram o 3-metil-2-butenal (**1**) e o iodo-dodecano (**2**) para o fungo Cr-4, com porcentagem de área de 27,4% e 10,36%, respectivamente. E para o fungo Cr-39 o composto majoritário foi o ácido 1,2-benzenedicarboxílico bis 2-metil propil éster (**3**) com 50,45%. Esses dados demonstram a ampla diversidade de compostos produzidos pelos fungos endofíticos associados a planta *C. regium*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fungos endofíticos. Metabólitos secundários. *Cochlospermum regium*. Cerrado.

CHEMICAL CHARACTERIZATION OF  
CRUDE EXTRACTS OBTAINED FROM TWO  
ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED FROM  
*COCHLOSPERMUM REGIUM*

**ABSTRACT:** Faced with the need to discover new active compounds, endophytic fungi,

organisms associated with plants, appear as a viable alternative to amplify the discovery of new compounds. In order to study the chemical and biotechnological potential of endophytic fungi from the Cerrado, two endophytic fungi isolated from the medicinal plant *Cochlospermum regium* were selected for study. The compounds produced by the fungi were identified by gas chromatography coupled to the mass spectrometer (GC/MS). 36 compounds were identified, the major ones were 3-methyl-2-butenal (1) and iodine-dodecane (2) for the fungus Cr-4, with an area percentage of 27.4% and 10.36%, respectively. And for the fungus Cr-39 the major compound was 1,2-benzenedicarboxylic acid bis 2-methyl propyl ester (3) with 50.45%. These data demonstrate the wide diversity of compounds produced by the endophytic fungi associated with the *C. regium* plant.

**KEYWORDS:** Endophytic fungi. Secondary metabolites. *Cochlospermum regium*. Cerrado.

## 1 INTRODUÇÃO

Endófitos e fungos endofíticos são termos frequentemente utilizados para descrever a microbiota interna de plantas (Rajamanikyam *et al.*, 2017). Uma definição amplamente aceita é que fungos endofíticos vivem no interior dos tecidos vegetais, sem induzir nenhuma expressão aparente de doença (Gupta *et al.*, 2020). Estes são considerados importantes componentes da biodiversidade, estima-se que mais de um milhão de endófitos existam na natureza, sendo a maioria relatada como Ascomycetos (Rajamanikyam *et al.*, 2017).

Os compostos bioativos produzidos pelos endófitos têm como função principal ajudar as plantas hospedeiras a resistir ao estresse biótico e abiótico externo, o que em troca beneficia a sobrevivência do hospedeiro. O estudo da distribuição, biodiversidade e características bioquímicas dos endófitos tem grande importância nas ciências das plantas para compreender e melhorar a capacidade das mesmas (Rajamanikyam *et al.*, 2017, Gupta *et al.*, 2020).

Além disso, um interesse em fungos endofíticos é que muitos deles produzem importantes compostos de interesse farmacêutico e comercial. Esta lista inclui agentes anticâncer, antibióticos, compostos imunossupressores, misturas de antibióticos voláteis, antioxidantes, entre outros (Strobel, 2018).

Uma fonte de fungos endofíticos são as plantas medicinais em países de alta biodiversidade como o Brasil. *Cochlospermum regium* Pilger pertence à família Bixaceae, popularmente conhecida como algodãozinho do cerrado ou algodãozinho do campo, nativa do Brasil encontrada principalmente no bioma cerrado. É uma planta medicinal, utilizada contra diversos tipos de inflamações e como regulador menstrual. Esta planta está inserida na lista de risco de extinção, isto torna imprescindível o estudo dos fungos endofíticos que a colonizam (Camillo *et al.*, 2018; Solon, 2009; Vieira *et al.*, 2018).

Neste sentido o grupo de pesquisa vem estudando os fungos endofíticos associados a espécie vegetal *C. regium* (Arruda *et al.*, 2021). Para dar continuidade a este trabalho este artigo demonstra a produção de metabólitos secundários de dois fungos endofíticos isolados da planta medicinal *C. regium*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ISOLAMENTO E PRESERVAÇÃO DOS FUNGOS ENDOFÍTICOS

Foram coletados folhas e caules jovens e saudáveis da *Cochlospermum regium* encontradas na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi em outubro de 2016, estes foram levados para o laboratório para assepsia.

O isolamento dos fungos endofíticos das folhas/caules ocorreu da seguinte maneira: a superfície do material vegetal foi lavada com água e sabão, e posteriormente levada ao fluxo laminar, o material então foi esterilizado por imersão em NaClO 1% (3 min.) e em etanol 70% (1 min.), seguida de duas lavagens de água estéril (5 min.). A água do segundo lavagem foi inoculada em placa de petri contendo meio BDA autoclavado + antibiótico para verificar se a assepsia do material foi eficiente.

O isolamento pelo método por secção consiste em seccionar pedaços de folhas assepticamente utilizando bisturi e inseridos em três placas de Petri contendo meio de cultura sólida BDA (batata, dextrose e ágar), o qual foi adicionado, após ser autoclavado, antibiótico (50 mg/L) para evitar o crescimento bacteriano. O mesmo processo foi realizado para o caule. O outro método empregado foi o método de maceração, adicionou pedaços de folhas esterilizadas junto com tampão PBS ao almofariz e macerou o material, este foi inserido em três placas de Petri contendo meio BDA + antibiótico (50 mg/mL). Realizou o mesmo procedimento para o caule.

O crescimento dos fungos foi monitorado, e a partir de sucessivas repicagens até a obtenção das culturas puras. O fungo codificado como Cr-4 foi isolado do caule, enquanto o fungo Cr-39 foi isolado da folha macerada, estes foram preservados em eppendorfes contendo água estéril (método de Castelani) na micoteca do Laboratório de Reatividade de Compostos Orgânicos da UFT, Gurupi (Moraes, 2018). Até o presente momento não foi possível a classificação e/ou identificação dos fungos endofíticos relatados neste trabalho.

### 2.2 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS BRUTOS DE Cr-4 E Cr-39.

Os fungos endofíticos Cr-4 e Cr-39 foram cultivados em meio BDA (Batata, Dextrose e Agár) por 7 dias em temperatura controlada (25 °C). Após, os fungos

foram inoculados em frascos de Erlenmeyer contendo 500 mL de meio líquido MDB (Meio de Batata e Dextrose). Os fungos foram incubados e mantidos sob temperatura controlada de 25°C por 20 dias. Ao final do período de fermentação, a suspensão micelar foi filtrada separando o micélio do filtrado. O filtrado aquoso foi submetido à partição líquido/líquido com acetato de etila por 3x. Seguidamente fez-se a evaporação do solvente utilizando um rotaevaporador, obtendo-se os extratos brutos Cr-4 (17,1 mg) e Cr-39 (5,7 mg).

### 2.3 CROMATOGRAFIA DE CAMADA DELGADA

A cromatografia em camada delgada comparativa (CCDC), dos extratos brutos obtidos, foi realizada utilizando como fase estacionária placas de sílica gel prontas (F254-Filter-Bio). Estas foram eluídas em cuba cromatográfica contendo hexano: acetato de etila (3:7 v/v). As placas cromatográficas foram reveladas em luz ultravioleta (UV de 254 nm), e posteriormente em vapor de iodo.

### 2.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS EXTRATOS POR CG/EM

A caracterização química dos compostos produzidos pelos endófitos foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (CG/EM). As análises foram efetuadas em um cromatógrafo a gás acoplado ao espectrofotômetro de massas modelo GCMS-QP2020 da marca Shimadzu.

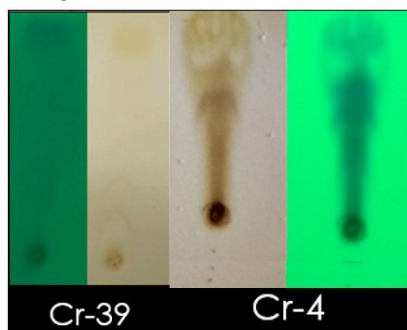
A temperatura do forno da coluna foi de 50°C e a de injeção de 280°C, com o modo de injeção tipo splitless. Pressão a 107,4 kPa com fluxo total de 13,9 mL / min e fluxo da coluna de 1,82 mL / min com o tempo de equilíbrio de 1 min. Tempo inicial da corrida em 2,6 min e finalização da corrida em 97 min. Para gás de arraste foi utilizado o hélio. Os espectros de massa foram obtidos no intervalo de 40-650 uma, operando a 70 eV, e a fonte foi mantida à temperatura de 280°C.

Os dados obtidos do espectro de massa foram comparados com os espectros de massas do NIST do banco de dados GC-EM utilizando índice de Kovalts como referência.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise das cromatoplasas foi possível inferir que os metabólitos produzidos pelos fungos endolíticos presentes na *C. regium* são diversificados, tanto em quantidade, quanto em suas características físico-químicas. Pois nas placas foi possível verificar manchas em toda a extensão, constituindo uma variedade de polaridades.

Figura-1: Diversidade Química, (CCDC).



Fonte: Autor.

Nos extratos brutos dos fungos Cr-4 e Cr-39 foram identificados 36 compostos apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Os compostos majoritários presentes no extrato bruto Cr-4 foram o 3-metil-2-butenal (**1**, Fgura 1) com porcentagem de área de 27,4%; e o iodo-dodecano (**2**) com 10,36% de área. Além da identificação de outras classes de compostos como aminas, éteres, ácidos e cetonas, em menor quantidade, evidenciando uma produção diversa pelo endófito.

Tabela-1: Compostos identificados por CG/EM no extrato bruto de Cr-4.

Compostos	Tempo de retenção (min)	Porcentagem (%)
Formamida	2,665	0,71
Clorometoxi-etano	2,950	1,33
Etilenimina	3,265	1,67
3-metil-2-butenal	4,284	27,38
Ácido propanóico, 2-metil-, 3-metilbutílico éster	4,689	6,11
Bromocicloheptano	4,745	9,61
(E) -3-Buten-2-ona, 4- (1H-pirrol-2-il) -	10,173	2,00
Ácido ftálico, 6-etil-3-octil butil éster	17,370	1,40
2,2-dimetilhexan-3-ona	17,621	2,07
Ácido sulfuroso, 2-etilhexil hexil éster	18,661	6,07
Anti-2-Acetoxiacetaldoxima	18,906	2,44
Ácido oxálico, propil butil éster	19,521	1,76
Acetil valeril	19,657	9,44
Anidrido propanóico	20,101	1,74
1-iodododecano	20,651	10,36
Ácido sulfuroso, 2-etilhexil hexil éster	21,795	8,85
Ácido sulfuroso, isobutil pentil éster	23,159	3,99
Ácido ftálico, 6-etil-3-octil butil éster	25,951	2,68
Óxido nitroso	26,108	0,40

Fonte: Autor.

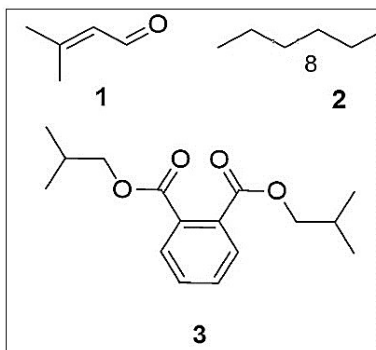
Para o extrato bruto Cr-39 o composto majoritário foi o ácido 1,2-benzenedicarboxílico bis 2-metil propil éster (**3**) com 50,45% de área (Tabela 2, Figura 1). Também foi identificado o 1-iodo-dodecano (**2**) com 10,07% de área. Demonstrando que os dois fungos endofíticos produzem compostos similares, dessa forma podem estar protegendo o seu hospedeiro. Do extrato do fungo Cr-39 foram ainda identificados compostos das classes de aldeídos, éster, cetona e anidrido.

Tabela-2: Compostos identificados por CG/EM no extrato bruto de Cr-39.

Compostos	Tempo de retenção (min)	Porcentagem (%)
3-metil-2-butenal	4,284	5,52
2,3,4-trimetil-pentano	4,689	1,47
Bromocicloheptano	4,744	1,97
Guanidina	8,494	0,69
1-(2-furanil)-3-butenol-1,2-diol	15,605	0,67
1-iodododecano	16,530	10,07
3-metoxi-3-metil-2-butanona	16,838	0,89
Ácido 1,2-benzenedicarboxílico, bis (2-metilpropil) éster	17,372	50,45
Valerato de metila	17,899	1,17
Ácido oxálico, butil propil éster	18,224	0,95
2,4,4-trimetil-hexano	18,292	0,68
Ácido ftálico, 4-cianofenil nonil éster	18,376	8,98
Nitrito de t-butila	18,599	0,68
Ácido ftálico, 4-cianofenil nonil éster	19,474	7,96
Não identificado	19,979	1,96
2,4-dimetil-3-hexanona	20,652	1,01
Não identificado	21,552	1,32
Di-n-octil ftalato	25,958	3,57

Fonte: Autor

Figura-2: Estrutura química dos compostos majoritários identificados nos extratos fúngicos.



Fonte: Autor.



3-metil-2-butenal (**1**) é conhecido como senecialdeído ou 3,3-dimetilacroleína. Pertence à classe dos compostos orgânicos conhecidos como enais, derivado da acroleína, um metabólito carbonila insaturado. É formado no interior das células durante uma peroxidação lipídica ou após um estresse oxidativo. As acroleínas produzidas endogenamente são uma fonte constante de danos ao DNA (Seiner *et al.*, 2007).

O iodo-dodecano (**2**) constitui a classe dos haletos de alquila. Já foi identificado como produto majoritário apolar no querosene no reprocessamento de combustível nuclear (Kindel *et al.*, 1994).

O composto **3** é constituído por um anel benzênico *orto*-dissubstituído por ésteres. Compostos aromáticos apresentam características antioxidantes (Andrade, 2018; Sousa, 2007), vários fungos endofíticos já foram relatados contendo atividade antioxidantes (Alves *et al.*, 2020) devido a sua produção de compostos aromáticos (Arruda *et al.*, 2021, Chapla *et al.*, 2013). Esta propriedade pode estar associada a proteção do hospedeiro de fatores abióticos, como o composto **3** que tem propriedade de filtrar raios ultravioletas (UV-B, 280-320nm) e já foi detectado em plantas nas em regiões superficiais da estrutura vegetal (Azevedo, 1998; Gobbo-Neto, 2007; Ferreira, 2008).

A produção dos metabolitos secundários é o resultado da interação entre os fungos endofíticos, seu hospedeiro e o ambiente ao qual está contido. Dessa forma as condições ambientais e de laboratório podem modificar a produção de compostos secundários pelos endófitos.

Esses dados demonstram a ampla diversidade de compostos produzidos pelos fungos endofíticos associados a planta *C. regium*. Evidenciando assim a importância da análise destes compostos, e suas possíveis aplicação para a indústria, agricultura ou medicina.

## 4 CONCLUSÃO

Com a identificação de 36 compostos produzidos pelos endófitos podemos destacar que este trabalho contribui para a caracterização química da biodiversidade fúngica do Cerrado. Além de promover os fungos endofíticos como produtores de compostos bioativos que a amplificam o desenvolvimento de seu hospedeiro.

## 5 AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta pesquisa contou com benefícios do Programa Institucional de Produtividade em Pesquisa da UFT (PROPEQ/UFT).

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D.R.; SILVA, W.M.B.; SANTOS, D.L.; FREIRE, F.C.O.; VASCONCELOS, F.R.; MORAES, S.M. Atividades antioxidante, anticolinesterásica e citotóxica de metabolitos de fungos endofíticos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p.73684-73691, 2020.
- ANDRADE, C.H.; KUMMERLE, A.E.; GUIDO, R.V.C. Perspectivas da Química Medicinal para o Século XXI: Desafios e Oportunidades. **Química Nova**, v. 41, n. 4, p. 476–483, abr. 2018.
- ARRUDA, G.L.; MORAIS, G.K.A.; CHAGAS JR., A.F.; ARAUJO, A.R.; CHAPLA, V.M. Aromatic compounds from the endophytic fungus *Asordaria conoidea* and their allelochemical property using OSMAC strategy. **Natural Products Research**, 2021.
- AZEVEDO, J.L. Microrganismos endofíticos. In: MELO I.S. **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna. EMBRAPA, CNPMA, 1998. p. 117-137.
- CAMILLO, J.; MARTINS, R.C.; NETO, G.G.; GULIAS, A.P.S.M.; FILGUEIRAS, A.D.; COSTA, L.C.; SILVA, D.B. **Cochlospermum regium: algodão do campo**. In: Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro - Região Centro-oeste. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF: MMA, 2018, 1160 p.
- CHAPLA, V.M.; BIASETTO, C.R.; ARAUJO, A.R. Fungos Endofíticos: Uma Fonte Inexplorada e Sustentável de Novos e Bioativos Produtos Naturais. **Revista Virtual Química**. v.5, n. 3, p. 17, 2013.
- FERREIRA, M.M.M. Flavonas e Flavonóis: Novas Descobertas Sobre sua Estrutura Química e Função Biológica. **Revista Agro@ambiente** v. 2, n. 2, p. 4, 2008.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N.P. Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374–381, 2007.
- GUPTA, S.; CHATURVEDI, P.; KULKARNI, M.G.; STADEN, J.V. A critical review on exploiting the pharmaceutical potential of plant endophytic fungi. **Biotechnology Advances**, v. 39, p. 107462, 2020.
- KINDEL, O.; HERRMANN, F.J.; SCHMIDT, L.; PATZELT, P. Identification of iodoorganic compounds in kerosene from nuclear fuel reprocessing. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 182, n. 2, p. 385–391, 1994.
- MORAES, G. K. A. Isolamento e avaliação biológica de fungos endofíticos associados à *Cochlospermum regium*. Gurupi, TO. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal do Tocantins - UFT, 2018.
- RAJAMANIKYAM, M.; VADLAPUDI, V.; AMANCHY, R.; UPADHYAYULA, S.M. Endophytic Fungi as Novel Resources of natural Therapeutics. **Braz. Arch. Biol. Technol.** v. 60, e17160542, 2017.
- SEINER, D.R.; LABUTTI, J.N.; GATES, K.S. Kinetics and mechanism of protein tyrosine phosphatase 1B inactivation by acrolein. **Chemical research in toxicology**, v. 20, n. 9, p. 1315-1320, 2007.
- SOLON, Soraya. Análise Fotoquímica e Farmacognósticas das raízes da *Cochlospermum regium* (Mart. Et Schr.) Pilger, Cochlospermaceae. Brasília, DF. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Brasília – UNB, 2009.
- SOUSA, C.M.M.; SILVA, H.R.; VIEIRA-JR., G.M.; AYRES, M.C.C.; COSTA, C.L.S.; ARAÚJO, D.S.; CAVALCANTE, L.C.D.; BARROS, E.D.S.; ARAÚJO, P.B.M.; BRANDÃO, M.S.; CHAVES, M.H. Total Phenolic and Antioxidant Activity of Five Medicinal Plants. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 351–355, 2007.
- STROBEL, G. The Emergence of Endophytic Microbes and Their Biological Promise. **Journal of Fungi**, v.4, p. 57, 2018.
- VIEIRA, R.F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. 1. 160 p. 2018.

## CAPÍTULO 3

### COMPARACIÓN DEL CONTENIDO FENÓLICO EN MUESTRAS DE TÉ NEGRO Y VERDE COMERCIALES MEDIANTE EL MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU<sup>1</sup>

Data de submissão: 15/01/2023

Data de aceite: 03/02/2023

**Q.F.B. Daniela Yusbizareth Rodríguez Jiménez**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Unidad Especializada en Calidad de Alimentos y Productos Naturales  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0001-7239-0093>

**Q.F.B. Candy Andreina Montaña Pérez**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Maestría Interinstitucional de Agricultura Protegida  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0003-2415-8008>

**Dra. Martha Edith Cansino Marentes**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Unidad Académica de Medicina  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0002-2659-7226>

**Dr. Rogelio Fernández Argüelles**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Unidad Académica de Medicina  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0003-3571-8170>

**Dr. Javier German Rodríguez Carpena**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Unidad Especializada en Calidad de Alimentos y Productos Naturales  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0001-6380-504X>

**Dra. En F. Gabriela María Ávila Villarreal**

Universidad Autónoma de Nayarit  
Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas  
Unidad Especializada en Calidad de Alimentos y Productos Naturales  
Tepic, Nayarit México  
<https://orcid.org/0000-0001-5241-5732>

**RESUMEN:** El té es una de las bebidas de mayor relevancia a nivel mundial, su consumo se ha vinculado con propiedades cicatrizantes, bactericidas, de antienvjecimiento, efecto estimulante del sistema nervioso central y disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, entre otras. Uno de los téis con mayor contenido fenólico es el que proviene de la planta *Camellia sinensis*, dependiendo del grado de oxidación de su hoja, se producen diversas variantes, dentro de estas destacan el té verde y negro, a pesar de ser una bebida muy utilizada, no es una práctica común la evaluación de su capacidad antioxidante como parte de una evaluación de

<sup>1</sup> Parte de este trabajo fue presentado en la XV reunión de la Academia de Química Orgánica, A.C.

calidad. La determinación de compuestos fenólicos es una de las técnicas que puede ser utilizadas para el control de calidad de este tipo de productos, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo determinar la cantidad de compuestos fenólicos totales (CFT) en muestras de té verde y negro de una misma marca comercial. Los compuestos fenólicos se cuantificaron mediante el método de Folin-Ciocalteu utilizando ácido gálico como control positivo, como prueba estadística se realizó un análisis de varianza (ANOVA). **PALABRAS CLAVE:** *Camellia sinensis*. Metabolitos secundarios. Antioxidantes. Flavonoides.

## COMPARISON OF PHENOLIC CONTENT IN SAMPLES OF COMMERCIAL BLACK AND GREEN TEA BY FOLIN-CIOCALTEU ASSAY

**ABSTRACT:** Tea is one of the most important beverages worldwide, its consumption has been linked to healing, bactericidal, anti-aging properties, a stimulating effect on the central nervous system and a reduction in the risk of cardiovascular diseases, among others. One of the herbal teas with the highest phenolic content is the one that comes from *Camellia sinensis* plant. Depending on the grade of oxidation of its leaf, various variants are produced, among which green and black tea stand out, despite being a widely used drink, does not have exhaustive quality controls that make it possible to identify and guarantee the type of tea that the population acquires. The determination of phenolic compounds is one of the techniques that can be used for quality control of this type of products, so the objective of this work is to determine the amount of total phenolic compounds (CFT) in samples of green tea and black of the same commercial brand purchased in a naturist establishment in the city of Tepic, Nayarit. The phenolic compounds were quantified by the Folin-Ciocalteu method using gallic acid as a positive control, as a statistical test an analysis of variance (ANOVA) was performed.

**KEYWORDS:** *Camellia sinensis*. Secondary metabolites. Antioxidants. Flavonoids.

### 1 INTRODUCCIÓN

*Camellia sinensis* L. es una planta que pertenece a la familia Theaceae, es un arbusto perenne ramificado que alcanza los 10 metros de altura, dependiendo del grado de oxidación de su hoja, se producen diversas variantes de tes como el blanco, amarillo, oolong, pu-ehr, negro y verde (Cuc, N.T et al, 2020), obteniendo propiedades sensoriales diferentes en cada uno; como el aroma, sabor y cuerpo de la bebida, para preparar el té verde inmediatamente después de recolectar las hojas se someten a un proceso de secado rápido por acción del vapor o calentamiento (Namita et al, 2012) este proceso escasamente altera su composición química, ya que de esta manera las hojas del té verde son estabilizadas evitando su oxidación enzimática, por lo que conservan su contenido en catequinas, sin embargo, el té negro se prepara apilando las hojas frescas en habitaciones ventiladas, hasta que éstas empiezan a fermentar. Luego se secan rápidamente con calor artificial.

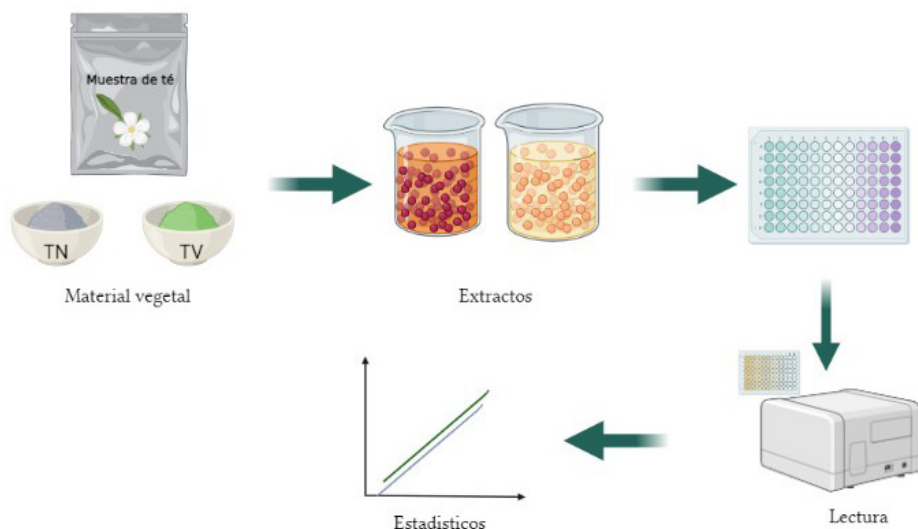
El té es una de las bebidas más populares del mundo y su consumo es equiparable con el del café, este ha sido utilizado durante siglos por diferentes culturas debido a sus propiedades medicinales (Tsong-Ming et al, 2018) se ha encontrado que el té verde tiene potencial para controlar enfermedades del sistema nervioso central, cardiovasculares y metabólicas además de reportarse su uso para tratar el cáncer y los trastornos inflamatorios (Bedrood, et al. 2018), debido a las características de sus compuestos mayoritarios dentro de los cuales destacan los compuestos fenólicos como kaempferol, la quercetina y la miricetina. Además, la hoja fresca del té habitualmente es rica en catequinas, polifenoles del grupo del flavanol, tales como (-)-epigallocatecina-3-galato, (-)-epigallocatecina, (-)-epicatecina-3-galato y (-)-epicatecina. Las catequinas son los compuestos que son oxidados y que se polimerizan en el té negro. Los taninos catéquicos se encuentran libres y combinados a bases xánticas; los ácidos fenólicos más representativos son el ácido clorogénico, el cafeico y el gálico. (Cuc, N.T et al, 2020).

## 2 MATERIALES

El material vegetal utilizado en este estudio fue muestras de té verde y negro adquiridas de manera comercial.

## 3 MÉ TODOS

Figura 1. Metodología a seguir para evaluar el contenido de compuestos fenolicos en muestras comerciales de te verde y negro.



### 3.1 PREPARACIÓN DE EXTRACTOS

La extracción de los compuestos se realizó siguiendo las instrucciones descritas por el fabricante en el empaque. Las bolsas de té fueron pesadas y posteriormente se realizó la extracción tomando 5 muestras de manera aleatoria.

### 3.2 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO FENÓLICO

Para la determinación de Compuestos fenólicos totales (CFT) se realizó una curva de calibración usando ácido gálico como referencia mediante el método de Folin-Cicalteu con concentraciones de 0-500 mg/mL y posteriormente se evaluaron los extractos.

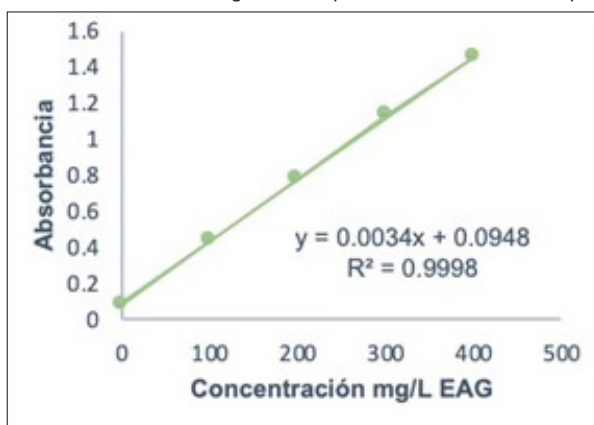
### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó un análisis de varianza ANOVA utilizando una variable cuantitativa con varios grupos de estudio en contraste a la igualdad de medias de dos muestras independientes y una probabilidad estadística de 0.05.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la curva de calibración con ácido gálico se obtuvo la siguiente información  $y = 0.0034x + 0.0948$  y un coeficiente de correlación de  $R^2=0.9998$  (gráfica 1).

Gráfica 1. Curva de calibración de ácido gálico en Equivalentes de Ácido Gálico por Litro (EAG/L).



Del extracto de TV y TN se tomaron 100  $\mu$ L para la cuantificación de CFT siguiendo la metodología antes descrita (Tabla 1). Se aplicó un análisis de varianza ANOVA (Tabla 2).

Tabla 1: Cuantificación de compuestos fenólicos totales en muestras de té verde y negro.

Código de muestra	Concentración CFT en 0.5 g de muestra en EAG/L	Concentración CFT en EAG/L
TV1	294.7647	191.9434
TV2	314.4705	190.6634
TV3	321.5294	222.9645
TV4	328	224.7456
TV5	310.3529	206.1828
TN1	316.2352	247.8493
TN2	343.2582	259.3315
TN3	332.705	245.5035
TN4	339.5882	244.5543
TN5	291.5294	225.906

Tabla 2: Análisis estadístico ANOVA de las muestras de té verde y negro.

	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Análisis ANOVA
<b>Té Verde</b>				
<b>Material Vegetal</b>	1306.6 mg	0.0791	6.06	<b>0.048</b>
<b>Concentración de CF en material vegetal</b>	207.29994 mg EAG/250 mL	16.31	7.87	<b>0.003</b>
<b>Té Negro</b>				
<b>Material Vegetal</b>	1508.9 mg	0.0522	3.46	<b>0.01</b>
<b>Concentración de CF en material vegetal</b>	244.62892 mg EAG/250 mL	12.02	4.91	<b>0.003</b>

Posterior al análisis realizado, se determinó que el contenido promedio de CFT en té verde fue de 207.2999 mg EAG/250 mL mientras que, para el caso del té negro fue de 244.6288 mg EAG/250 mL, encontrando diferencia estadísticamente significativa entre ambos. Por otra parte, se observa que el CTF en el té negro fue mayor al del té verde, resultados que difieren con lo reportado por Khokhar S y Magnusdottir S en donde se expresa que la cantidad de compuestos fenólicos totales es mayor en el té verde en comparación al té negro debido a que en este último existe una oxidación parcial al momento de prepararlo para su venta y distribución.

## 5 CONCLUSIONES

Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los compuestos fenólicos presentes del té verde y té negro de una misma marca comercial usando el

método de cuantificación de Folin-Ciocalteu. Con respecto al análisis de los pesos de cada sobre de té, estos no presentaron homogeneidad en su contenido, el cual es un factor determinante en la concentración de CFT en este estudio.

## REFERENCIAS

Bedrood, Z, Rameshrad, M, Hosseinzadeh, H. Toxicological effects of *Camellia sinensis* (green tea): A review. *Phytotherapy Research*. 2018.

Cuc, N.T., Nhiem, N.X., Tai, B.H., Yen, P.H. and Van Kiem, P. (2020), Flavonoids from *Camellia sinensis*.

*J. Agric. Food Chem.* 2002, 50, 3, 565–570 Publication Date: January 4, 2002.

Namita, P., Mukesh, R., & Vijay, K. J. (2012). *Camellia sinensis* (green tea): A review. *Global Journal of Pharmacology*.

Tsong-Ming Lu, Ching-Ching Lee, Jeng-Leun Mau, Sheng-Dun Lin, Quality and antioxidant property of green tea sponge cake, *Food Chemistry*, Volume 119, Issue 3, 2010.



# CAPÍTULO 4

## QUÍMICA: DESARROLLANDO ENSEÑANZA VIRTUAL EN LA PANDEMIA

Data de submissão: 23/12/2022

Data de aceite: 10/01/2023

### Susana Juanto

Ingeniero Químico, UNLP  
Diploma Superior en Enseñanza  
de las Ciencias (FLACSO)  
Profesora Titular de Química  
Directora del Grupo IEC Facultad  
Regional La Plata (FRLP)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Argentina

### Gerónimo Prado

Becario de investigación  
Estudiante avanzado de  
Ingeniería Mecánica  
Facultad Regional La Plata (FRLP)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Argentina

### Lucas Emanuel Mardones

Doctor en Ingeniería, UTN  
Docente Jefe de  
Trabajos Prácticos en FRLP  
Miembro del Grupo IEC  
Facultad Regional La Plata (FRLP)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Argentina

**RESUMEN:** Este trabajo describe el trabajo docente en cátedras de Química para Ingeniería, en la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Debido a las condiciones impuestas por la pandemia, en 2020 no se pudo cumplir con las clases presenciales obligatorias para carreras de grado. Nuestra Universidad ya contaba con una plataforma propia tipo Moodle, pero solo se usaba para posgrado. A partir de marzo de 2020, reorganizamos la planificación y nuestras estrategias de enseñanza para formato virtual. Implementamos clases sincrónicas sobre temas de teoría, y empleamos la modalidad asincrónica para diversos formatos de cuestionarios en la plataforma, progresando en complejidad. En este trabajo intentamos analizar los pro y contra de la modalidad virtual y la modalidad presencial. Para hacer más empática la relación con los estudiantes, la introducción al tema consistía en breves diálogos dramatizados entre los docentes. También grabamos videos breves, como resúmenes de temas centrales, inaugurando nuestro canal de YouTube. Y al no poder asistir al laboratorio, propusimos realizar experimentos en el hogar, con las sustancias e instrumentos de medida disponibles, cuyo desarrollo se monitoreaba en clase. El desarrollo y los resultados de esos experimentos se expusieron con apoyo de TIC, permitiendo evaluar también competencias como trabajo en equipo, adecuada expresión oral y escrita, y capacidad para resolver

situaciones imprevistas. Los alumnos mayoritariamente prefirieron esta combinación de estrategias antes que sólo clases virtuales asincrónicas, e inclusive prefieren mantenerlas aún con clases presenciales.

**PALABRAS CLAVES:** Enseñanza virtual. Enseñanza presencial. Evaluaciones virtuales. Experimentos caseros.

## CHEMISTRY: DEVELOPING VIRTUAL EDUCATION DURING THE PANDEMIC

**ABSTRACT:** This paper refers the teaching strategies in Chemistry for System Engineering in the Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Due to pandemic conditioning, in 2020 there were no assistance to University, which was previously demanded. Our University already had a Moodle-like platform, only used for Masters. From March 2020, we reorganized the classes planning and strategies for virtual learning. There were synchronic classes for theory and asynchronous for exams and multiple-choice self-evaluation. In this work we try to analyze the pros and cons of the virtual modality and the presential learning. We also recorded brief videos, giving birth to our own YouTube channel. And as we were unable to attend classes in Laboratory, we encouraged our students to perform experiments at home, with the available materials, oriented during class hours. The development and results of these experiments were discussed using power point and alike, allowing to evaluate Teamwork, verbal and written expression, and ability to deal with unusual events. Most of the students preferred this kit of strategies rather than only asynchronous learning, and even in the event of presential classes.

**KEYWORDS:** Virtual learning. Presential learning. Virtual examination. At home experiments.

## 1 INTRODUCCIÓN

Antes de la pandemia, nuestra Universidad Tecnológica Nacional mantenía el requerimiento de clases presenciales en las Carreras de Ingeniería, pero debido a la pandemia, en marzo 2020 se implementó muy rápidamente un sistema de clases virtuales, sostenidas por una plataforma propia tipo Moodle, que se empleaba sólo para posgrado, ya que la reglamentación exigía clases presenciales para carreras de grado.

Dado que la conexión a Internet de nuestros estudiantes es variable (de muy buena a casi nula) se ofrecieron clases sincrónicas no obligatorias. Paulatinamente, los docentes ensayamos diversas estrategias para enriquecer la enseñanza, y retener a los estudiantes, cuya implementación y resultados se discuten en este trabajo. De acuerdo a Herradón et al (2009), el cambio de una enseñanza tradicional en ingeniería a modelos híbridos basados en plataformas de aprendizaje y experiencias variadas, han sido muy valoradas por los estudiantes y ha evidenciado mejoras importantes en el desarrollo de competencias y en las calificaciones finales de las asignaturas.

La virtualidad necesita de nuevos caminos para no agobiar profesores ni ser tediosa para los estudiantes, como dice Patricia Caratozzolo <https://observatorio.tec.mx/edu-news/actividades-para-fortalecer-el-pensamiento-creativo>.

En nuestro propio Grupo se relataron experiencias novedosas en Matemáticas (Cappello, V.; Prodanoff, F. (2020)).

## 2 METODOLOGÍA

Se empleó la plataforma (tipo Moodle) proporcionada por la propia Universidad. Se organizaron clases sincrónicas en el horario habitual de cátedra. Dado que en virtualidad las clases sincrónicas no son obligatorias, para mantener el interés de los estudiantes, generalmente se inicia con una breve dramatización sobre el tema a cargo de los docentes.

Se grabaron videos como resumen de las clases de teoría, como apoyo asincrónico para los estudiantes que no pudieran conectarse en el horario de clase (por tener sólo una pc en el hogar y varios usuarios, porque su conexión a Internet es lenta, etc.).

Para realizar evaluación continua, diseñamos cuestionarios de diverso nivel de complejidad, completando la nota de aprobación con exámenes parciales-.

Propiciamos el trabajo colaborativo en exposiciones sobre temas de aplicación (generalmente aplicaciones industriales de ciertos procesos), y en la realización de experimentos caseros, donde los estudiantes pudieron adquirir competencias genéricas, como adecuada expresión oral y escrita, trabajo en equipo, y algunas habilidades procedimentales (Fig. 1).

Fig. 1. Comparación de estrategias pre-pandemia y en pandemia.

<b>Antes de la pandemia</b>	<b>Durante 2020 y 2021</b>
Clases presenciales obligatorias: tiza y pizarrón. Proyector. Página web de la cátedra.	Clases virtuales sincrónicas no obligatorias. Uso de plataforma. Canal de YouTube. Dramatizaciones.
Apuntes de cátedra en papel.	Apuntes en soporte electrónico
Cuestionarios optativos multiple-choice (autoevaluación) en página web de la cátedra.	Cuestionarios diversos formatos, obligatorios como créditos para evaluaciones y promoción
Experiencias de laboratorio formales	Experiencias sencillas, en el hogar.
Exposiciones en equipo sobre temas puntuales.	Exposiciones en equipo sobre temas puntuales.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 DRAMATIZACIONES: DIÁLOGOS DOCENTES-ESTUDIANTES

Al comienzo de las clases virtuales, observamos que la mayoría de los estudiantes no encendía sus cámaras argumentando mala conexión de Internet, y comenzamos a temer que no siguieran las clases. Así que para asegurarnos que comenzaran a intervenir, los docentes (docente 1 y docente 2) improvisamos discusiones que los incitaban a tomar partido, como las siguientes:

- a) Conservación de la materia
  - Docente 1: puse una cucharada de sal en agua, agité y no ví más la sal. Hice desaparecer materia: destruí la sal!!!!
  - Docente 2: pero la materia no se puede destruir!!Seguramente a alguno de los alumnos se le puede ocurrir una forma de demostrar que la sal aún está ahí.....
- b) Propiedades de las sustancias:
  - Docente 1: el auto necesita nafta, aceite y agua. Pero mi sueldo no alcanza. Así que voy a usar solamente agua. ¿Les parece que funcionará bien??
- c) Cinética:
  - Docente 1: el médico me dio un frasco de píldoras amarillas, para todo el mes. Tengo que tomar una por día, pero yo tengo poca memoria y seguro me voy a olvidar
  - Docente 2: ya sé! Para no olvidarte, tomate todas juntas el primer día!! ¿Será igual de efectivo que tomar una por día????

Fig. 2. Estrategias para clases en pandemia.

	<b>A FAVOR</b>	<b>EN CONTRA</b>
Clases virtuales sincrónicas no obligatorias. Uso de plataforma.	Muchos estudiantes mantuvieron asistencia y apreciaron el material didáctico en la plataforma	Incertidumbre en la conexión de Internet y disponibilidad de PC en los estudiantes. Pocos dialogan en clase, y menos prenden la cámara.
Canal de YouTube.	Accesibilidad asincrónica. Se favorece el aprendizaje autónomo.	No hay diálogo.
Dramatizaciones.	Mantienen el interés de los estudiantes.	Es necesario trabajar sobre el guion.
Cuestionarios diversos formatos, obligatorios como créditos para evaluaciones y promoción, disponibles en la plataforma.	Se realizan en el intervalo de una semana, entre clases.	Debemos suponer que los estudiantes no comparten las respuestas

Mientras que se desarrollaron clases (no obligatorias) en forma sincrónica, se dejaban disponibles videos como resumen de los conceptos en nuestro canal de YouTube (<https://www.youtube.com/channel/UCcxudz0InvEwqbuaAfxlYgA/videos>) para ser utilizado en forma asincrónica.

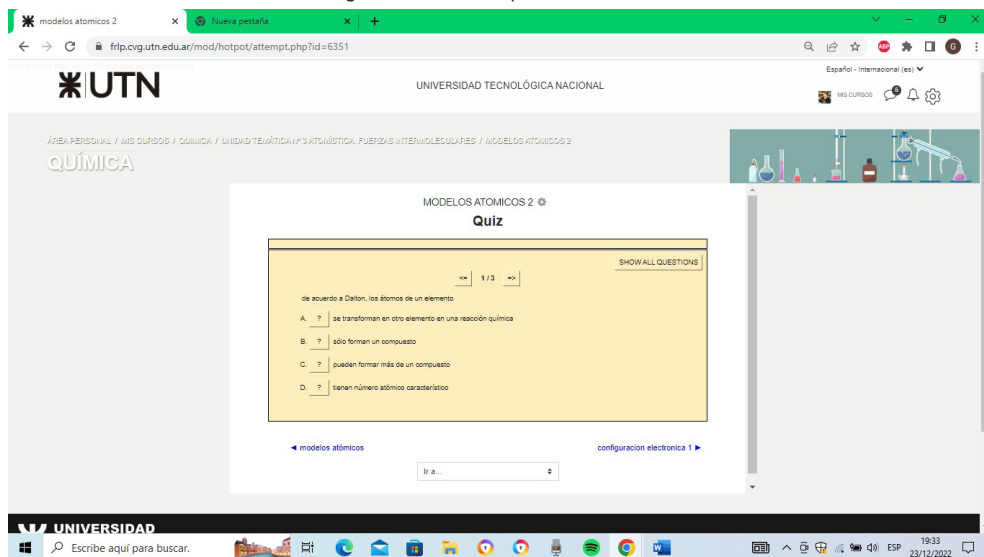
- 1) Los estudiantes participan de la clase sincrónica, incluyendo las dramatizaciones, o consultan material en forma asincrónica. (Fig. 3).
- 2) Responden cuestionarios para autoevaluación, siempre disponibles, para afianzar conocimientos (cuestionarios realizados con el software gratuito Hot Potatoes, implementados desde 2013, <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/iec/multchoice.html>)
- 3) Se responden cuestionarios en la plataforma, en diversos formatos, que aportan créditos para la promoción, y que tienen un tiempo acotado para su resolución. (Fig. 4).
- 4) Ante la imposibilidad de concurrir a los Laboratorios de la Universidad, bien equipados, propusimos realizar experimentos en el monitoreaba hogar, con las sustancias e instrumentos de medida disponibles, cuyo desarrollo se en clase. El desarrollo y los resultados de esos experimentos se expusieron con apoyo de TIC, permitiendo evaluar también competencias como trabajo en equipo, adecuada expresión oral y escrita, y capacidad para resolver situaciones imprevistas.

Podríamos haber utilizado simulaciones, y en realidad las utilizamos para cuestiones cuantitativas. Pero tanto estudiantes como docentes valoramos los experimentos caseros, porque dieron la oportunidad de organizar trabajo en equipo (aún a distancia), extremar el ingenio para encontrar materiales e instrumentos de medida en el hogar, adquirir habilidades procedimentales, proponer y comprobar hipótesis, y mejorar las habilidades de expresión oral y escrita al compartir sus experiencias en clase.

Fig. 3. Plataforma de la Universidad.



Fig. 4. Cuestionarios para evaluaciones.



### 3.2 EXPERIMENTOS CASEROS

En el desarrollo de Química, para Ingeniería en Sistemas, <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/mostracion2.html> y Química Aplicada para Ingeniería Mecánica <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qaplicada/lab.html>, se realizan al menos seis trabajos de laboratorio en el año, inclusive en varios de ellos utilizando sensores y adquisición de datos. Pero durante el año 2020 todas las clases fueron virtuales. Con el objetivo de familiarizar a los estudiantes con el trabajo experimental, reconociendo como imprescindible la experimentación para el aprendizaje de Química, abandonamos la sofisticación y nos remitimos a experiencias sencillas, en el hogar, sin usar electricidad ni reactivos comerciales.

Para nuestra sorpresa, los estudiantes se involucraron con entusiasmo, fotografiaron y filmaron sus experiencias caseras, y lo expusieron con formato power point en las clases virtuales. Desarrollaron experiencias sobre gases ideales (usando aire, globos, una fuente de calor), investigaron sobre pH de sustancias en el hogar empleando extracto de antocianinas (obtenido a partir de hojas de repollo colorado) como indicador, expusieron temas de termoquímica (con la obtención de acetato de sodio a partir de vinagre y solución de soda cáustica), fabricaron pilas caseras empleando diferentes objetos metálicos y diversos electrolitos (incluyendo soluciones de vinagre, de sal, y hasta limones).

Algunos autores como Serrano y García Molina (2015) ya proponían experiencias caseras para motivar a los estudiantes desde años atrás, y otros (Ponce Cinciri, 2021) lo hicieron durante la pandemia, para enriquecer las clases virtuales. A favor de estas tareas que podrían considerarse simples comparadas con los trabajos en un laboratorio tradicional, podemos argumentar que todos los estudiantes podían realizar las experiencias e inclusive repetirlas varias veces para mejorarlas o cambiar alguna variable, a diferencia del trabajo presencial en laboratorio donde no todos pueden manipular el material, y hay un tiempo acotado de permanencia en el lugar. Además, en las encuestas realizadas los estudiantes declararon que se interesaron en estos “experimentos caseros” y estaban dispuestos a realizar más de ellos.

Fig. 5 y Fig. 6. Diversos experimentos caseros.



Variaciones caseras sobre la pila de Volta, Cu/Zn



Cristalización de acetato de sodio, a partir de soluciones sobresaturadas.



INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Facultad Regional La Plata / Universidad Tecnológica Nacional.  
Calle 60 y 134, La Plata (1900), Argentina.  
GRUPO IEC / 0221-412-4342 / [iec@fpn.unicen.edu.ar](mailto:iec@fpn.unicen.edu.ar)

Fig. 6.



**Indicador de pH :** antocianinas provenientes de repollo colorado. cambio de color al agregar cantidades crecientes de jabón en polvo.





$C_2H_4O_2 + NaHCO_3 \rightarrow NaC_2H_3O_2 + H_2O + CO_2$   
 ácido acético      bicarbonato de sodio      acetato de sodio      agua      dióxido de carbono



INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Facultad Regional La Plata / Universidad Tecnológica Nacional.  
Calle 60 y 134, La Plata (1900), Argentina.  
GRUPO IEC / 0221-412-4342 / [iec@fpn.unicen.edu.ar](mailto:iec@fpn.unicen.edu.ar)

## 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 ENCUESTAS

Al finalizar el ciclo lectivo del año 2020, se le pidió a estudiantes de ingeniería en sistemas e ingeniería mecánica de la UTN FRLP que completen algunas encuestas con el fin de saber que dificultades y que ventajas presentó la nueva modalidad educativa, es decir, la educación virtual.

En dichas encuestas, se pidió a los estudiantes que expresen en una escala del 1 al 5, su conformidad con respecto a distintas cuestiones relacionadas con su desempeño académico.

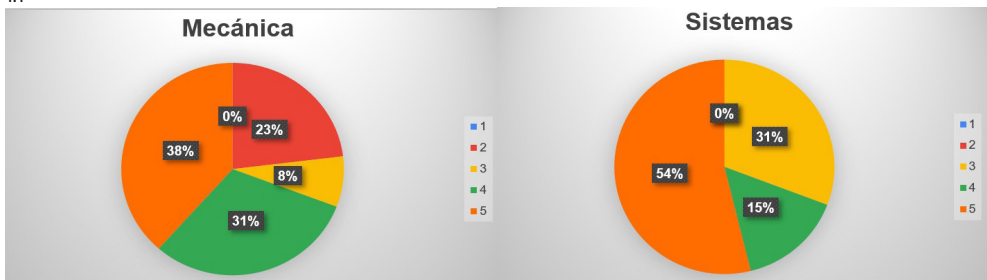
#### 1) Clases virtuales:

Consigna: Indique en una escala del uno (muy disconforme) al cinco (totalmente conforme) su nivel de conformidad con los siguientes aspectos.

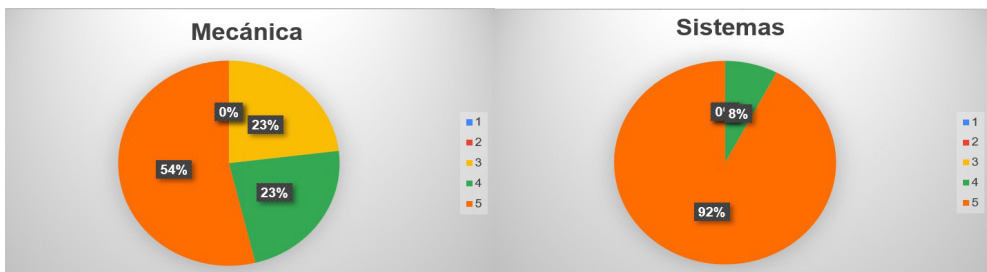
#### Cuestiones a evaluar:

- 1.1) Poder seguir las clases desde el hogar sin necesidad de ir a la facultad.
- 1.2) Tener la posibilidad de consultar a los apuntes teóricos en cualquier momento del día.
- 1.3) Que la asistencia a las clases de zoom no sea obligatoria:
- 1.4) La posibilidad de sumar puntos para la aprobación directa mediante la realización de cuestionarios:
- 1.5) La utilización de vídeos para explicar ciertos temas:

1.1

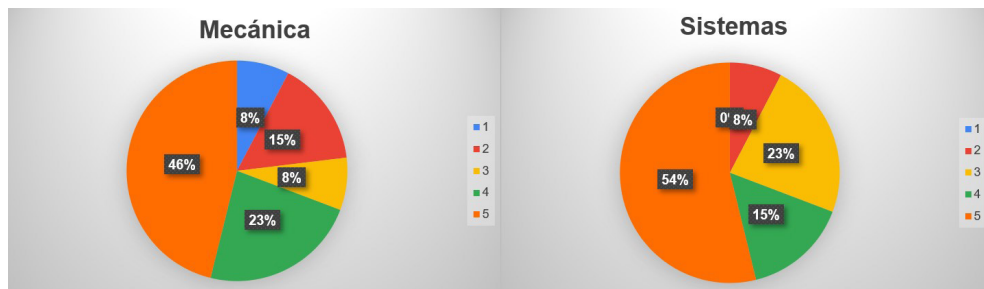


1.2

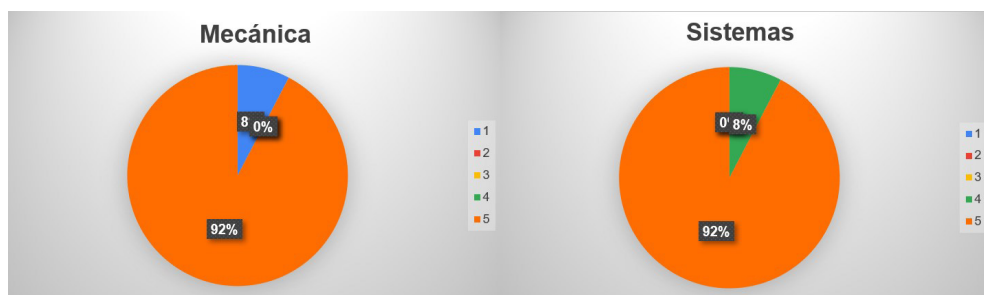




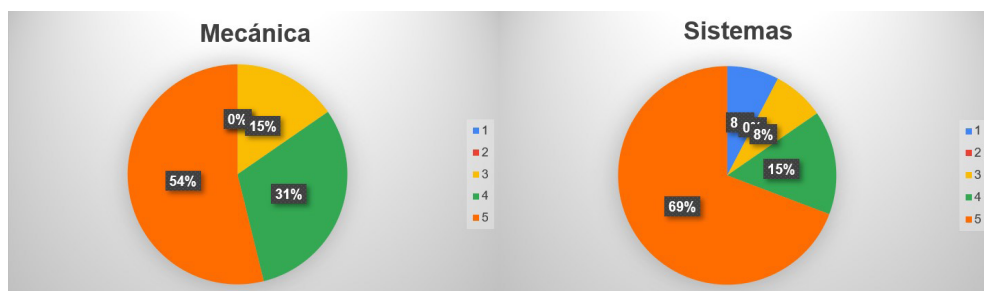
1.3



1.4



1.5



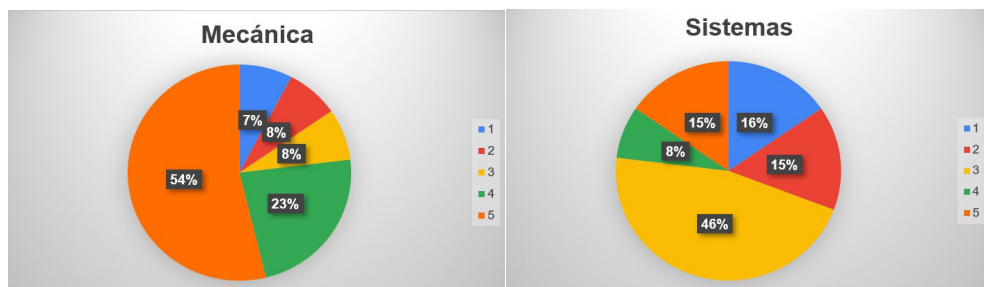
## 2) Clases presenciales:

Consigna: Selecciones en una escala del uno al cinco, donde uno representa “No lo extraño” y cinco representa “Lo extraño mucho” cuáles de los siguientes elementos extraña.

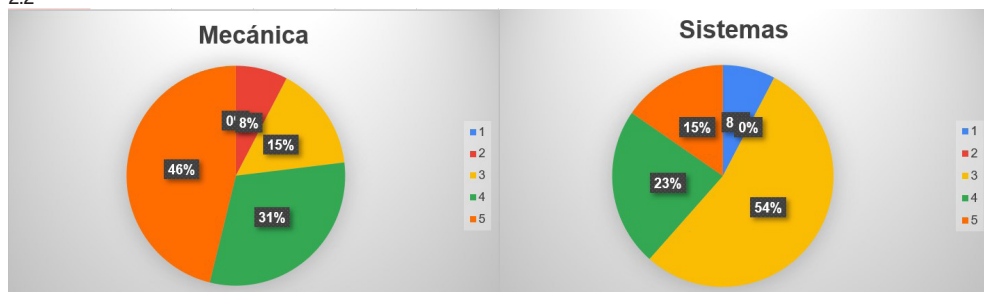
### Cuestiones a evaluar:

- 2.1) La forma de relacionarme con mis compañeros:
- 2.2) La manera de relacionarme con los profesores:
- 2.3) Poder ir a los laboratorios para realizar experiencias más sofisticadas.

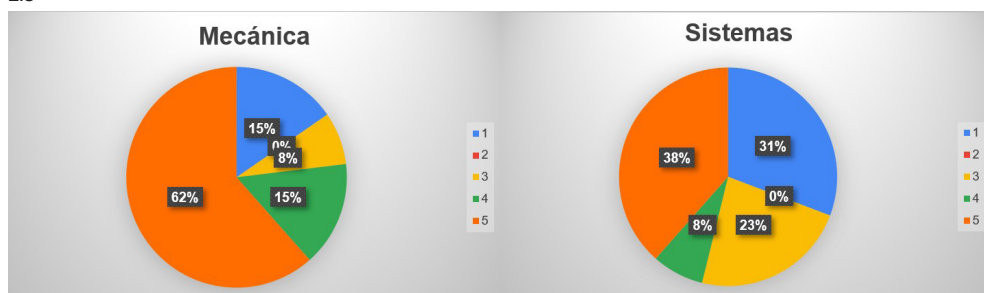
2.1



2.2



2.3



### 3) Implementar a futuro

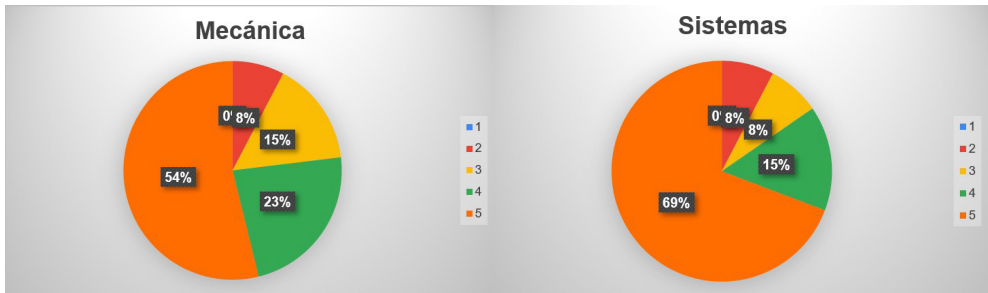
Consigna: Seleccione en una escala del uno al cinco qué elementos de la virtualidad le gustaría conservar cuando se vuelva a las clases presenciales. Uno representa “no me gustaría conservarlo” y cinco representa “debería conservarse”.

Cuestiones a calificar:

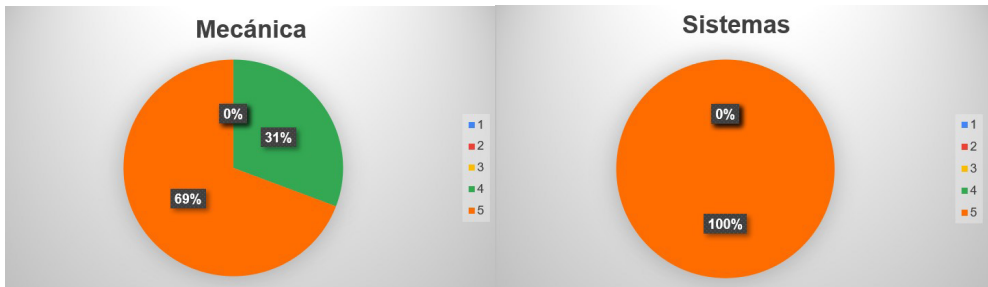
3.1) Evaluación continua mediante cuestionarios a través de la plataforma.

3.2) Seguir teniendo acceso a apuntes, videos y cuestionarios por la plataforma.

3.1



3.2



## 5 CONCLUSIONES

### 5.1 LOGROS

Esta experiencia se llevó a cabo con comisiones de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI), y de Ingeniería Mecánica (IM).

Los estudiantes de ISI manifestaron gran conformidad con la enseñanza virtual, la disponibilidad de apuntes y videos en la plataforma.

Entre los estudiantes de IM el 50% prefiere lo virtual, pero el resto manifiesta que prefiere los trabajos en equipo y las interacciones con los compañeros en forma presencial.

Ambas comisiones ponderaron como ventaja:

- Los laboratorios caseros, manifestando que les resultaron didácticos.
- La evaluación continua, realizada a través de cuestionarios en la plataforma.

Y manifestaron interés en realizar experimentos más sofisticados en los laboratorios de la Universidad (como antes).

### 5.2 PROYECCIONES A FUTURO

- \* Continuar con el uso de la plataforma para permitir el autoaprendizaje, la autoevaluación y la evaluación continua, aún si volvemos a la presencialidad.

- \* Continuar con la implementación de los “experimentos caseros” que permiten adquirir habilidades procedimentales y afianzar conceptos, sin descuidar experiencias más complejas en los laboratorios de la Facultad.
- \* Incrementar la adquisición de competencias de interacción social (trabajo en equipo, actividades interdisciplinarias, buena comunicación, etc) en la presencialidad.

Juanto, S., Cappello, V., Prodanoff, F., & Zerbino, L. (2021).

Como conclusión pensamos que a futuro es posible tomar lo mejor de ambas modalidades.

## 6 AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por sostener los Proyectos de Investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cappello, V.; Prodanoff, F. (2020). *La motivación, un factor de gran importancia en las clases del S XXI. Marcando el pulso a las clases: una propuesta de innovación tecnológica*. Memorias CIMTED. ISSN2500-5987, CIEBC2020, Colombia: Ed.CIMTED. Disponible en <https://memorascimted.com/memorias/>

Herradón, R., Blanco, J., Pérez, A. y Sánchez, J. A. (2009). Experiencias y metodologías “b-learning” para la formación y evaluación en competencias genéricas en ingeniería. *La Cuestión Universitaria*. 5, 33-45.

Juanto, S., Cappello, V., Prodanoff, F., & Zerbino, L. (2021). El Enfoque Basado en Competencias, El. Primeras aproximaciones desde Ciencias Básicas. *Revista Tecnología Y Ciencia*, (41), 1-17. <https://doi.org/10.33414/rtyc.411-17.2021>

Ponce Cinciri, M. (22 de enero de 2021) *El laboratorio de ciencias en casa*. Observatorio. <https://observatorio.tec.mx/edu-bits-blog/el-laboratorio-de-ciencias-en-casa>

Serrano, A. T. y García Molina, R. (2015) *Experimentos De Física Y Química En Tiempos De Crisis*. Universidad de Murcia. <https://www.um.es/acc/wp-content/uploads/Experimentos-de-F%C3%ADSica-y-Qu%C3%ADmica-en-tiempos-de-crisis-web-ready-opt.pdf>

# CAPÍTULO 5

## VARIACIÓN EN EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN DISTINTOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: CONSECUENCIAS AMBIENTALES Y PRODUCTIVAS PARA EL SO BONAERENSE<sup>1</sup>

Data de submissão: 24/01/2023

Data de aceite: 10/02/2023

**P.I. Pesatti**

Universidad Nacional de Río Negro  
Sede Atlántica  
Ruta provincial N° 1 y  
Rotonda cooperación  
Viedma - Río Negro - Argentina

**Nico Digüero**

Universidad Nacional de Río Negro  
Sede Atlántica  
Ruta provincial N° 1 y  
Rotonda cooperación  
Viedma - Río Negro - Argentina  
nicodcai10@gmail.com  
Cel: 2920489317

**G.M. González**

Agencia de Extensión Rural  
Carmen de Patagones  
Buenos Aires - Argentina

**M.A. Luna**

Universidad Nacional de Río Negro  
Sede Atlántica  
Ruta provincial N° 1 y  
Rotonda cooperación  
Viedma - Río Negro - Argentina

**L.M. Molina**

Universidad Nacional de Río Negro  
Sede Atlántica  
Ruta provincial N° 1 y  
Rotonda cooperación  
Viedma - Río Negro - Argentina

**H.J. Hernández**

Universidad Nacional de Río Negro  
Sede Atlántica  
Ruta provincial N° 1 y  
Rotonda cooperación  
Viedma - Río Negro - Argentina

**RESUMEN:** La transformación de los ecosistemas naturales en agroecosistemas conlleva a la pérdida del carbono orgánico (CO) de los suelos. La degradación de los suelos, como consecuencia de los usos intensivos, genera una pérdida del CO con su liberación en forma de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, lo que contribuye a que se produzca un aumento progresivo de los GEI. El objetivo del presente trabajo fue analizar los cambios que generan diferentes usos y manejos productivos sobre la cantidad de CO<sub>ox</sub> en los suelos, comparando distintos ambientes con usos y manejos agropecuarios. Los usos y manejos que se compararon fueron: 1) Pastizales naturales (Pastizal N.+PR), 2) Montes arbustivo-graminosos (Monte+PR), 3) Pasturas perennes de agropiro (*Thinopyrum ponticum*) (Agrop.+PR) y 4) Rastrojos de cereales de invierno (Agric.+PR). Se pudo comprobar la efectividad de los pastizales

<sup>1</sup> Presentado en el XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, 2022. [congresso2022.suelos.org.ar](http://congresso2022.suelos.org.ar)

naturales en función de mantener por más tiempo las reservas de CO dentro de los suelos, frente a los usos y manejos vinculados tanto a la producción forrajera como al desarrollo de cereales de invierno. Considerando el ambiente de Pastizal N.+PR como situación de referencia, por su menor intervención antrópica y mayor contenido de CO, en los primeros 10 cm se diferenció del Monte+PR en 1,9 Mg CO ha<sup>-1</sup>, seguido por el Agrop+PR con 18,1 Mg CO ha<sup>-1</sup> y por último con los suelos con Agric.+PR donde se encontró 19,2 Mg CO ha<sup>-1</sup> menos que la situación de referencia. A mayor profundidad (10-20 cm) la diferencia aumentó a 10,8 Mg CO ha<sup>-1</sup> con el Monte+PR y a 22,6 Mg CO ha<sup>-1</sup> comparado con los ambientes de mayor intervención. Dentro del perfil completo (0-20 cm), la diferencia encontrada entre el Pastizal N.+PR y aquellos más disturbados alcanzó los 44,8 Mg CO ha<sup>-1</sup>.

**PALABRAS CLAVE:** Suelos. Carbono Orgánico. Usos y Manejos.

## 1 INTRODUCCIÓN

El incremento exponencial de la población mundial que se viene desarrollando en los últimos años trae como consecuencia una mayor demanda de alimentos, fibras y combustibles (Giuffré et al. 2013). Para abastecer esa mayor demanda es necesario intensificar los sistemas productivos y/o incrementar la superficie cultivada, abarcando zonas de menor aptitud productiva y menos resilientes a los impactos erosivos. La habilitación de tierras para la producción agrícola, con la posterior pérdida de productividad y el consiguiente abandono, es un fenómeno registrado a nivel global que cobra destacada importancia en las regiones áridas y semiáridas de todo el mundo (Abraham et al., 2016). Esta dinámica configura un escenario de creciente degradación de los recursos naturales, que se ve acentuado por el cambio climático global, con el aumento en la variabilidad inter e intra-anual de las precipitaciones y el incremento de los períodos de sequía (Lal, 2007). Frente a esta situación se observa una necesidad creciente de asistir en la recuperación de las tierras secas, ya sean áridas, semiáridas o subhúmedas secas. Esta restauración de los atributos ecosistémicos perdidos se basa en recobrar aspectos estructurales y funcionales de los ecosistemas para que sean nuevamente productivos (Abraham et al., 2009; Van Andel et al., 2012).

En los paisajes semiáridos al sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, la alteración de la biodiversidad con el uso antrópico suele estar asociada a la pérdida de cobertura del suelo y al incremento de la erosión (Pezzola y Winschel, 2004). Estos cambios de uso y manejo del suelo pueden repercutir de forma negativa sobre su funcionamiento, afectando así la provisión de servicios ecosistémicos, de productividad y sustentabilidad ambiental (Giuffré, 2008). En los últimos años, ha surgido la necesidad de encontrar indicadores tempranos de cambios en la calidad del suelo (CS) (Galantini

y Suñer, 2008). En este sentido, en las últimas décadas se produjo un crecimiento exponencial en el número de experimentos que estudian el carbono orgánico del suelo (COS), una búsqueda bibliográfica realizada en Scopus en 2020 reveló 5586 artículos con las palabras clave que buscaban “carbono orgánico del suelo” y 100 artículos con “meta-análisis del carbono orgánico del suelo”. La atención significativa en torno a este tema se debe principalmente a la necesidad de definir prácticas eficaces para mejorar la captura de carbono en los agroecosistemas (Tadiello et al., 2022).

El objetivo del presente trabajo fue analizar los cambios que generan diferentes usos y manejos productivos sobre el balance de ganancias y pérdidas de  $\text{CO}_{\text{ox}}$  en los suelos. Se compararon sistemas con: 1) Pastizales naturales (Pastizal N.+PR), 2) Montes arbustivo-graminosos (Monte+PR), 3) Pasturas perennes de agropiro (*Thinopyrum ponticum*) (Agrop.+PR) y 4) lotes con rastrojos de cereales de invierno (Agric.+PR).

Ambientes estudiados: 1) Pastizal natural, 2) Monte arbustivo-graminoso, 3) Pasturas perennes con agropiro alargado, y 4) Rastrojos de cereales de invierno.



## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

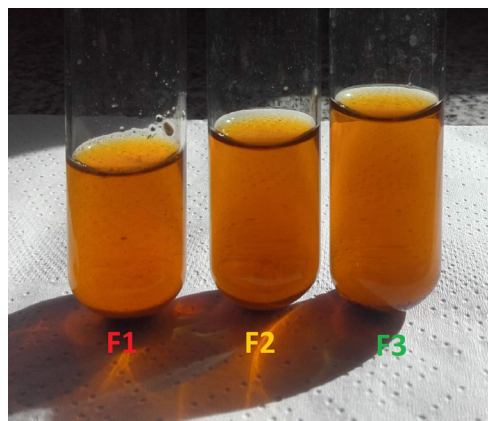
El estudio se realizó en lotes de productores ubicados al SO de la provincia de Buenos Aires; área transicional entre las provincias fitogeográficas del Monte y el Espinal. La PMA alcanza los 425 mm y la TMA 14,5 °C.

### Ubicación geográfica del área de estudio.



Las determinaciones realizadas, en suelo entero (0-2 mm) de muestras tomadas a intervalos de 5 cm de profundidad (0-20 cm), fueron: carbono orgánico total (COT), por medio del Método de Combustión Húmeda de Walkley and Black, y tres fracciones oxidables de CO ( $\text{CO}_{\text{ox}}$ ) utilizando tres diferentes dosis de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 12, 18 y 24 N): F1 ( $\text{CO}_{\text{ox}}$  bajo 12 N - CO lábil), F2 (diferencia en el  $\text{CO}_{\text{ox}}$  extraído entre 18 N y 12 N - Transición CO lábil-CO humificado) y F3 (diferencia en el  $\text{CO}_{\text{ox}}$  extraído entre 24 N y 18 N - CO humificado). El análisis de los datos consistió en comparación mediante ANOVA y test de medias LSD-Fisher del COT y las fracciones oxidables utilizando el uso y manejo productivo como variable de clasificación.

Tubos de ensayo con diferentes dosis de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  utilizados para determinar las fracciones de  $\text{CO}_{\text{ox}}$ . F1= 12 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , F2= 18 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y F3= 24 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

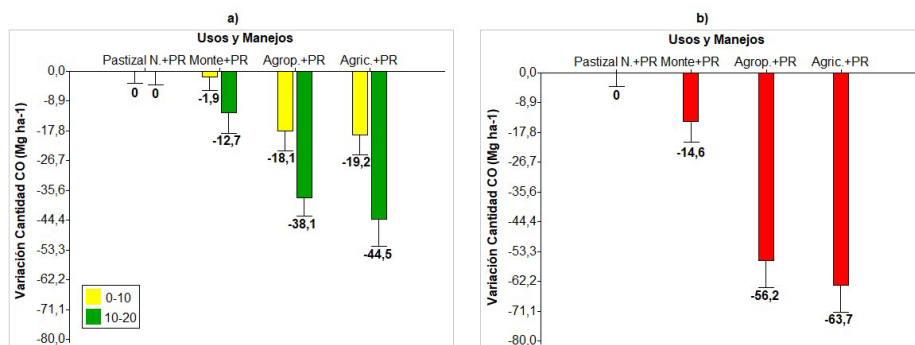




### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando el ambiente de Pastizal N.+PR como situación de referencia, por su menor intervención antrópica y mayor contenido de CO, en los primeros 10 cm se diferenció del Monte+PR en 1,9 Mg CO ha<sup>-1</sup>, seguido por el Agrop+PR con 18,1 Mg CO ha<sup>-1</sup> y por último con los suelos con Agric.+PR donde se encontró 19,2 Mg CO ha<sup>-1</sup> menos que la situación de referencia. A mayor profundidad (10-20 cm) la diferencia aumentó a 10,8 Mg CO ha<sup>-1</sup> con el Monte+PR y a 22,6 Mg CO ha<sup>-1</sup> comparado con los ambientes de mayor intervención. Dentro del perfil completo (0-20 cm), la diferencia encontrada entre el Pastizal N.+PR y aquellos más disturbados alcanzó los 44,8 Mg CO ha<sup>-1</sup>. En este sentido Duval et al. (2013), evaluando diferentes modelos de producción agrícola y en comparación con lo que ocurre en un ambiente poco intervenido, encontraron que los suelos con especies nativas contenían 26,6 Mg CO ha<sup>-1</sup>, diferenciándose de aquellos con prácticas agrícolas en 8,4 Mg CO ha<sup>-1</sup>, argumentando de esta manera que uno de los motivos principales se encuentra asociado al porcentaje total de cobertura del suelo, a medida que aumenta la cobertura vegetal menor será la liberación de los compuestos de CO hacia la atmósfera, en suelos de mayor intervención las pérdidas de CO se deben al constante movimiento en los primeros cm de suelo y un aumento en el porcentaje de parches de suelo desnudo entre especies. Similares resultados obtuvieron Quiroga et al. (2016) estudiando el porcentaje de MO asociado a las formas de CO en función de la cantidad de L+a, con una variación entre el 3-5% en suelos de Pastizal N.+PR (mayor contenido en granulometría fina) y de 1-2% en aquellos con uso y manejo Agric.+PR. Un trabajo realizado por la FAO (2020) acerca de la recarbonización de los suelos a nivel mundial afirma que los suelos más intervenidos pierden un 25-75% de su contenido de CO en comparación al contenido original registrado en los ambientes naturales, un uso del suelo más intensivo produce la “descarbonización” de los suelos, esto siendo una consecuencia directa del uso de prácticas agrícolas poco conservacionistas que degradan el CO y lo liberan en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Variación de ganancias-pérdidas en la cantidad de CO para cada uso y manejo: a) por profundidad, y b) perfil completo.



## 4 CONCLUSIONES

- El estudio de los cambios en las fracciones oxidables de CO y del COT permitieron detectar diferencias del impacto que tuvieron los usos y manejos productivos que realizan los productores al SO de la provincia de Buenos Aires.
- El reemplazo de ecosistemas naturales por agroecosistemas provocó una importante pérdida de CO en los suelos, alterando de esta manera su funcionamiento natural con pérdida en su capacidad de resistencia y resiliencia a posibles procesos erosivos.
- La planificación de uso y manejo productivo requiere un esfuerzo en conjunto entre las instituciones agrarias y aquellas vinculadas al cuidado ambiental para contribuir en la toma de decisiones del productor, y de esta manera fomentar alternativas de uso y manejo conservacionistas y sustentables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abraham E., Valle H.F.D., Roig F., Torres L., Ares J.O., Coronato F. and Godagnone R. 2009. Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal Arid Environments* 73(2): 144–153.
- Abraham E., Guevara J.C., Candia R.J. and Soria N.D. 2016. Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province , Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de Cuyo*. 48, 221–241.
- Duval M.E., Galantini J.A., Iglesias J.O., Canelo S., Martínez J.M. and Wall L.G. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil & Tillage Research*, 131, 11–19.
- FAO 2020. Recarbonización de los suelos del mundo. Una herramienta para implementar el Programa de Trabajo Conjunto de Koronivia. FAO. Roma, Italia.
- Galantini J.A. y Suñer L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 45: 41-55.
- Giuffré L. 2008. Agroecosistemas: Impacto Ambiental y Sustentabilidad. 1ª Edición. Ed. Fac. de Agronomía, UBA. ISBN 978-950-29-1061-1. 493 pp.
- Giuffré L., Marbran L., Romaniuk L., Vespasiano C., Sammartino F. y Arata L. 2013. Diagnóstico edafológico para la planificación de huertas orgánicas familiares en suelos periurbanos. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 12 (1-2).
- Lal R. 2007. Anthropogenic influences on world soils and implications to global food security. *Adv Agron* 93:69-93.
- Pezzola A. y Winschel C. 2004. Estudio multitemporal de la degradación del monte nativo en el partido de Patagones- Buenos Aires. EEA INTA Hilario Ascasubi.
- Quiroga A., Oderiz A., Uhaldegaray M., Álvarez C., Scherger E., Fernández R. y Frasier I. 2016. Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación. SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 26(I): 21-28. 22 de diciembre de 2016.

- Tadiello T., Perego A., Valkama E., Schillaci C. and Acutis M. 2022. Computation of total soil organic carbon stock and its standard deviation from layered soils. *Methods X9* (2022) 1016:62. [www.elsevier.com/locate/mex](http://www.elsevier.com/locate/mex).
- Van Andel J., Grootjans A.P. and Aronson J. 2012. *Restoration Ecology: The New Frontier*, second edition, chapter 2 (pp 9-22).

# CAPÍTULO 6

## STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOUR AND CORRELATIONS WITH PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOLID CERAMIC BRICKS IN ASUNCIÓN

Data de submissão: 06/12/2022

Data de aceite: 04/01/2023

**Roberto Alejandro Rojas Holden**

Prof. PhD. Ing.

Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Asunción  
rrojasholden@gmail.com  
rrojas@ing.una.py

**Juan de Dios Jacobo**

Analista Industrial  
Petróleos Paraguayos  
PETROPAR  
jjacobo@petropar.gov.py

**ABSTRACT:** Given the whole research results presented at International Congresses such as IX SBTA 2011 at Belo Horizonte, Brazil, 1st I+D Fair 2015, F.I.U.N.A. held at San Lorenzo, Paraguay, IV ALCONPAT 2016, at Asunción and VII CONIMAT 2016 at Cusco, Peru, and the interest for these subjects, we continue researching on solid ceramic bricks quality jointed with mortars to form walls. As the former research established that bricks contribute in a larger way in its elastic and rigidity modules than the mortar, and that the final contribution is superior to those of the mortar, showing synergy between mortar and bricks in final bending and compression

strength, these is shown in this paper by graphs and number after making more than 360 (880 more precisely) essays of these materials which makes walls. In this research we study not only the physical properties, but also analyze the chemical properties with traditional technologies and with EDX. The correlation between the raw materials physic and chemical properties and its compression and bending strength, brings up the importance to know these properties in raw materials in order to design and produce more efficient materials and with better performance. We combine two different raw materials from different soils in Paraguay to produce bricks in laboratory and study 20 different bricks offered in Asunción, selected in categories, to correlate its initial and final chemical and mechanical properties. Also other mechanical and physics properties are affected by chemical composition. The bricks have been categorized A, B, C and N/C (not categorized) according to Paraguayan Standard NP 17 027 77 second edition of 2015, Specifications for solid ceramic bricks, and this research will help us to know how to design better bricks using laboratory equipment such as sieves, weighing scales, X Ray Energy Disperser, compression machine, micrometer, oven, electronic devices, and other to use appropriate materials or combining them to produce well categorized bricks using local technology towards getting better.

**KEYWORDS:** Compression. Bending. Low walls.

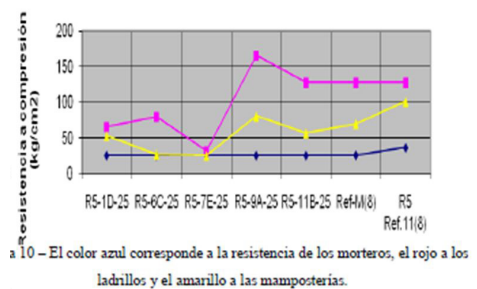
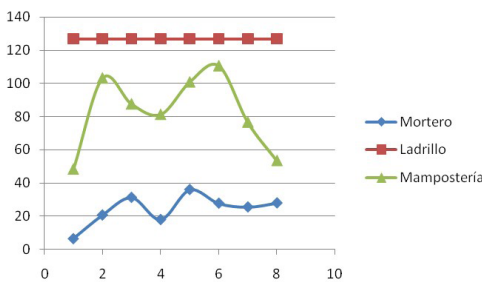
# 1 INTRODUCTION

In this research there are made bricks with two different raw materials and a third from mixing these two raw materials. The purpose is to study the mechanical, physical and chemical properties and by these means compare it with those of the bricks trade at Asunción for use in civil construction. If the raw material has too much sand water may undo easily the bricks. If it has too much clay it will contract during the process of drying, with great tendency to cracking. Silica is abundant at nature, it is a polymorphic material that means it can have different crystal structures, for example cubic in some brick and more than 50 % of silica, or hexagonal structure like feldspar and quartz respectively. The silicates came from the reaction on silica with oxides of Al, Mg, Ca, K, Na and Fe like clay and sands. The ceramic materials have not tenacity, impact, fatigue and thermal shock strength due to it scarce ductility, when a crack starts it spread easily, like our research presented at IV ALCONPAT 2016, Asunción. The materials were tested and it results can be seen next, first raw materials, materials produced and final use of it:

Table1. Water analysis according to NP 17 026 73.

Dissolved oxygen mg/lit	16,3
Chloride mg/lit	23,3
Organic material mg/lit	3
Nitrites	0
Nitrates	0
PH	5,8
Sulfates mg/lit	6

Figures 1 & 2. Mortars broken showing synergic collaboration of mortars with bricks for low walls (Rojas & López, 2011). Results varying bricks (red) and keeping constant mortars (blue line) compression resistance and low walls in yellow line. (Rojas, 2012).



Knowing these:  $\zeta=P/A$ ;  $\zeta=E.\epsilon$ ;  $\epsilon=\delta L/L$  y  $\eta=3V/(2.A)$   $\eta=G.v$ ;  $v=\delta Ly/Lx$ ,  $G=E/(2(1+\nu))$ ; and there three dimensions equations and the results of the Congresses mentioned above, show on the Figures below:

Tables 2 to 5. Essays made on low walls (IV ALCONPAT & VII CONIMAT, 2016).

Parameters	Categ A brick		Mortar with excavation soil		Low wall	
	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S
E (kg/cm <sup>2</sup> )	59.200	10.227	16.949	9360	75.500	50.099
G (kg/cm <sup>2</sup> )	35.543	5.114	10.254	7.813	32.264	20.000
$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	362,50	165,00	32,00	35,63	120,92	42,09
$\epsilon$		0,0016		0,0015		0,0006154
$\gamma$		0,001067		0,0006		0.000273
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		12,00		9,38		9,82
$\nu$	0,167	0,000098	0,174 (0,21)	0,401	0,169	0,252
$\sigma$ of limelast (kg/cm <sup>2</sup> )		16,36		14,04	Comp LE	30,83
T lime last (kg/cm <sup>2</sup> )		5,45		4,69		5,45
Sizes (cm)	7x11,5x24	5x11x23		4x4x16		23x11x19,5
horizontal; vert joints sizes (cm)					1; 1	1,25; 2

Parameters	Categ C brick		Mortar with Asuncion soil (1:2:8) (pcem:sand:soil)		Low wall	
	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S
E (kg/cm <sup>2</sup> )	59.200	32.727	16.949	9360	75.500	31,858
G (kg/cm <sup>2</sup> )	35.543	16.364	10.254	7.813	32.264	10.667
$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	362,50	65,37	32,00	35,63	120,92	33,79
$\epsilon$		0,0002		0,0015		0,0007692
$\gamma$		0,0000133		0,0006		0,000273
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		12,00		9,38		4,36(7,08)
$\nu$	0,167	0,00013	0,174(0,21)	0,401	0,169	0,493
$\sigma$ of elast lim(kg/cm <sup>2</sup> )		6,55		14,04	Comp LE	24,51
T elast lim(kg/cm <sup>2</sup> )		2,18		4,69		2,91
Sizes (cm)	7x11,5x24	5x11x23		4x4x16		23x11x19,5
horizontal; vert joint sizes(cm)					1; 1	1,25; 2

Parameters	Categ C brick		Mortar 1:2:6 (pcem:lime:sand)		Low wall	
	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S
E (kg/cm <sup>2</sup> )	59.200	32.727	16.949	9360	75.500	31,858
G (kg/cm <sup>2</sup> )	35.543	16.364	10.254	7.813	32.264	10.667
$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	362,50	65,37	32,00	35,63	120,92	33,79
$\epsilon$		0,0002		0,0015		0,0007692

Parameters	Categ C brick		Mortar 1:2:6 (pcem:lime:sand)		Low wall	
	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S
$\gamma$		0,0000133		0,0006		0,000273
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		12,00		9,38		4,36(7,08)
$\nu$	0,167	0,00013	0,174(0,21)	0,401	0,169	0,493
of elast lim (kg/cm <sup>2</sup> )		6,55		14,04	Comp LE	24,51
T elast lim (kg/cm <sup>2</sup> )		2,18		4,69		2,91
Sizes (cm)	7x11,5x24	5x11x23		4x4x16		23x11x19,5
horizontal; vert joint sizes (cm)					1; 1	1,25; 2

Parameters	N/C (S/C) brick		Mortar with excavated soil		Low wall	
	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S	López Oller Oñate	Rojas H López S
E (kg/cm <sup>2</sup> )	59.200	16.019	16.949	9360	75.500	37.440
G (kg/cm <sup>2</sup> )	35.543	16.340	10.254	7.813	32.264	16.340
$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	362,50	30,84	32,00	35,63	120,92	37,24
$\epsilon$		0,0006		0,0015		0,000667
$\gamma$		0,0002		0,0006		0,0002
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		7,08 (36,00)		9,38		6,02
$\nu$	0,167	0,510	0,174(0,21)	0,401	0,169	0,146
of elast lim (kg/cm <sup>2</sup> )		9,61		14,04	Comp LE	24,96
$\tau$ elast lim (kg/cm <sup>2</sup> )		3,27		4,69		3,268
Sizes (cm)	7x11,5x24	5,1x10,8x23		4x4x16		23x10,8x19,5
horizontal; vert joint sizes (cm)					1; 1	1,25; 2

With the engineering ceramics the innovation development time are lower than those of the traditional ceramics. In our country the ceramic bricks' production has advanced to mechanization and even to automation. The compressed bricks have between 10 to 20% of absorption. The produced common market bricks absorbs 20 to 30% of water. The expansion and thermal conductivity induce strength that may produce thermal shock or fatigue. There is a tendency to thermal localized disintegration or when the brick has a delamination. The molten silica has great resistance to thermal shock due to its thermal expansion that is zero. We can see on Table 6 the materials requirements for the structural function:

Table 6: Quality requirements on materials.

BRICKS	MORTARS	LOW WALLS
Strength	Strength	Placing
Absorption	Thickness	Making process
Humidity	Water/Cement Ratio	Load Direction
Hight/Thickness Ratio	Unit deformation $\epsilon$	Adherence properties
Geometry	Water Retention	horizontal and vertical joints, tie

## 2 OBTAINING SAMPLES AND ITS PROCESSING

We extracted two samples of soils: Firstly from “Naciente San Francisco” at General Aquino county near the city of San Estanislao at San Pedro Department and the second from the vicinity of our University Camp at the city of San Lorenzo in Central Department.

We started crushing and pulverize the raw materials. Wet crushing is more effective because it has no fine particles in suspension It were primary classified with a common method of shacking soil with water and observing the volume of different sized particles, later this was make by sedimentation at Facultad de Ciencias Agrarias UNA Laboratory of soils. After it get plastic and kneaded with potable water addition at FIUNA.

There are three basic processes to mould ceramic: the casting on “Barbotina” (great fluidity) with high water content, the plastic molding (kneaded with rational water dosage) and the compressed, that could be in dry or wet conditions, it is isostatic, toned on template, molded by injection and compressed in heating conditions that makes a more efficient process and introduced advanced technologies for more quality on engineering ceramics. In the laboratory produced bricks it were used wood molds and using the handmade techniques of mixing, knead and compression. In the group of bricks on the market at Asuncion will be used to help us contrast the results obtained by the bricks we made chemical, physical and mechanically.

## 3 INITIAL COMPOSITION DETERMINATION

The soils were qualified with a fast method. We introduce water and soil on a bottle and close it, shake it strongly. It was left for a little period of time to settle. The sand and silt were the first to settle, the clay stay more time in suspension and finally settles. The high of each layer give the proportion of sand, silt and clay. Then will be done sedimentation to better classification and content of organic material and using EDX (Energy Dispersive X Ray Spectrometer).



Table 7: Volumetric content of sand and clay in initial analysis before knead(qualitative).

Sample	Sand%	Silt and Clay%
M 1 (San Pedro)	60	40
M 2 (Dpto. Central)	80	20

Table 8: Properties of raw materials and the final products.

Raw Material	Final Product
Chemical global composition	Chemical global composition without volatile substances
Mineral composition: clay, sand, feldspar	Internal structural changes
It has impurities	Appear defects or special properties
Particle size distribution	Final grain size depends on thermal treatment
Mass homogeneity	Final product homogeneity
Kneaded and conformed	Manual in wooden molds, can be produce by machinery
Pressed (dry from 5 to 7% humidity)	Manual compaction or mechanical pressing

## 4 PROCESS

### 4.1 MIXING

It was prepared the M1 and M2 samples and were water mix and knead with hands to obtain enough consistency and homogeneity. Three samples were mix to produce bricks to be tested. The samples were M1, M2 and M3 (mixing M11 with M2) like follows:

Table 9. Percentage mixtures by volume of samples obtaining sample M3.

Sample M1	Sample M2
20 %	80 %

Table 10: Sieve analysis and organic material content of studied soil from Asuncion for mortar.

RESUME DOS TESTES					Peneiras Nº / Passantes (%)					C. SUCS	Descrição
H.N.	L.L.	L.P.	I.P.	4	10	40	100	200			
17,5	24,4	17,3	7,1	100	92,6	78,7	51,1	42,5	SC	Areias Argilosas	

Analysis of sample of Asuncion soil (SC) used for mortar using wet sifting and Standards AASHTO T-53, T-88, T-89 and T-90. Density: 2,56 g/cm<sup>3</sup>. Finess module M.F.=4,3 (dry sifting) (IRAM 1505), being crushed before kneaded. Absortion = 2,0%. Organic material content=0,012% done at Soil Laboratory at Facultad de Ciencias Agrarias UNA.

Table 11: CHEMICAL COMPOSITION OF RAW MATERIALS &amp; MORTARS ANALYSED WITH EDX (%).

Element	Washed sand	Asuncion soil	Mortar w/soil	CPIV 32 pz	Hidrated Lime
Si	95,5	78,5	38,6	10,97	0
Fe	0,7	7,7	11,1	7,3	0,21
Al	3,02	6,45	6,97	4,44	0
Ti	0,46	2,19	1,53	0	0
K	0	2,89	1,51	1,71	0,44
Mn	0	0,46	0,24	0,07	0
Ca	0	1,52	38,15	69,71	99,25
Zr	0	0,095	0,064	0	0
Zn	0,002	0,007	0	0	0
Cu	0,002	0,005	0	0	0,001
Ho	0,14	0	0	0	0
Ni	0,08	0	0	0	0
W	0,06	0	0	0	0
Ga	0,004	0	0	0	0
S	0	0	0,61	4,313	0
Ba	0	0	0,6	0	0
Sr	0	0	0,037	0,102	0
Sc	0	0	0	4,31	0,1
Ir	0	0,21	0	0	0

Table 12: CHEMICAL COMPOSITION OF RAW MATERIALS FOR LAB MADE BRICKS with EDX Spectrometer (%).

Element	From San Pedro	From Departamento Central
Si	82	53,9
Fe	7,3	20,9
Al	6,6	18,8
Ti	2,3	2,5
K	0,7	2,3
Ca	0	1,3
Mn	0,25	0,17
S	0	0
Zr	0,084	0,077
Sr	0,006	0,005
Rb	0	0,008
Y	0	0,004
Ba	0,75	0

Element	From San Pedro	From Departamento Central
Zn	0	0
V	0	0
Ta	0	0,14
Tm	0	0
Soil classification	Clay Arenaceous sand	Clay Arenaceous sand
Sand	56%	72%
Silt	16%	4%
Clay	28%	24%
Color	Brownish grey	dark red
Organic mat	2,43%	0,34%

## 4.2 KNEADED

There were made three wood molds. Before Kneading, the molds are moisten to avoid absorption from the mixing raw material water, avoiding also lost of water and cracking. When the desired consistency, form and sized were accomplished they are compacted with a wooden plate.

Shaped: clays has plain molecules electrically charged on its surface, attracts water as a thin layer of lubricant between plain surfaces. With enough moisture clays are plastic and can be molded, extruded, turned and shaped, but when they are dry they have enough strength to be stack and heat in ovens.

During compaction it was observed that Sample M1, have a good plastic knead. Sample M1 and M2 were better compacted due to a good particle distribute size that will be observed in its volumetric mass and compression strength.

Photographs: 1 and 2: Kneaded and compacted materials in molds.



## 4.3 DRYING

The bricks were leave 3 days to direct sun heat inside molds). On the first day of sun they suffered big cracks on sample M. Sample M3 suffered some little cracks and Sample M2 has no cracks. Afterward they were taken out from their molds and placed

sideways 1 day to direct sun heat (Sample M1 was cracked on 4 parts), 3 days under cover (because of rain), then one more day at direct Sun heat, 1 day more under cover with natural light to finish the drying process. Resuming the drying was made between 25 and 30°C during 8 days.

Photographs 3 and 4: Solar drying in molds and outside molds on edge:



Table 13: Sizes after drying at normal atmospheric conditions and direct solar lightning for 5 days, covered (natural light) 3 days:

Sample-Color	Weight [g]	Large [cm]	Wide [cm]	Thickness [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Volumetric mass [g/cm <sup>3</sup> ]
M1-Black	1087,8	22	11	3,84	929,28	1,170
M2-Red	1595,0	22	11	3,92	948,64	1,681
M3-Brown	901,7	20	11	2,83	622,60	1,450

#### 4.4 THERMAL TREATMENT

The raw material for bricks has normally 3 components: pure clay like kaolin ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), for melting feldspar and as filler quartz or silica that reduces contraction and without function during oven-cooked. Clays at low temperature flows more and are cooked at 1000°C. The cracks for sudden temperature changes are a problem in ceramics.  $\Delta T$  (en °K) is the difference of temperature for not inducing cracks on the brick. Being  $\alpha$  the expansion coefficient, so the surface layers gets cool quickly suffers  $\alpha\Delta T$  contraction strains. But the surface is part of a bigger element that is still hot but it has to keep its original sizes producing  $E\alpha\Delta T$  tension. It surpass fracture tension  $\sigma_{TS}$ , the surface of the element will get cracked and shatter later, the maximum temperature will obtain from this equation:  $E\alpha\Delta T = \sigma_{TS}$ .

The thermal fluency is a problem for 1/3  $T_m$ , ( $T_m$  is fusion temperature). At about 2/3  $T_m$  approximately, particles sinter, they join together forming little necks that grows reducing the surface area and densifying the particles, does not reach theoretical density, because exists a residual porosity (little round holes) that have little effect on mechanical strength. The atoms diffused from borders of grains of necks with different orientations to the pores and fill it. Them the atoms moves by diffusion on grain border helped from

the inner diffusion of grains. The surface area reduction defines the process and diffusion velocity controls its velocity.

a) The small particles sinter more quickly because of its high surface area and the impulsive force is greater and diffusion distances are less (Sample M1). b) The sinter velocity varies with temperature as so its diffusion coefficient:  $d\rho/dt = (C/a^n) \exp(-Q/RT)$ . ( $\rho$  is density,  $a$  the size of the particle,  $C$  and  $n$  are constants and  $T$  absolute temperature. ( $n$  is generally 3 and  $Q$  is equal to the activation energy for the diffusion on border grain).

For sinter compacted powder of different selected sizes and water in mould, dry and with enough strength is introduced to the oven. It was said that when more little is the particle the best for minimal cracking and more strength, but will see that we need for more strength little, medium and big particles (big: sand), it will contract, in sintering the grain will grow much bigger than initial sizes. By compressing and heating it can be obtain bigger densities and little grains. About 1% approximately of additives like OMg make sinter velocity bigger without making strength bigger. The samples were thermal treated on oven for 3 hours at 1000 °C. The samples were weighted before and after the thermal process:  $\Delta\gamma(\%) = (\gamma_f - \gamma_i) / \gamma_i \times 100$  and  $\Delta V(\%) = (V_f - V_i) / V_i \times 100$ .

Figures 3: Microstructural characteristics of ceramics. Compacted powder particles (a) Sinter, (b) reducing surface area and energy in pores and (c) final structure with little pores nearly spherical.

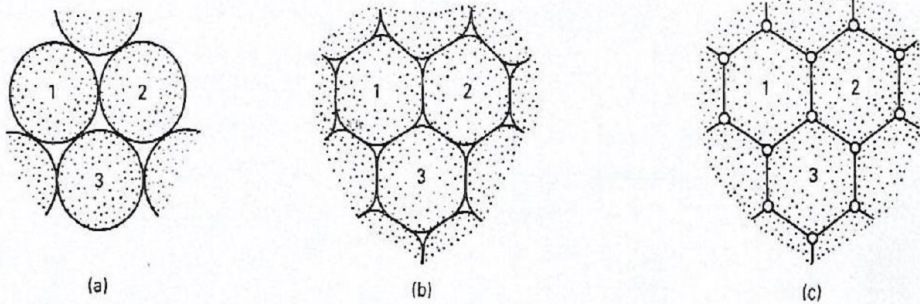


Figure 4: Distributed sizes for raw materials and ceramic products. (a) Distributed granulometric sizes, (b) uniform and (c) discontinue granulometric sizes of raw materials for bricks.

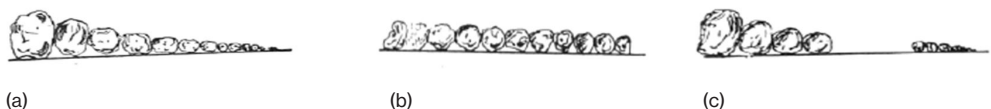


Figure 5: Excessively fine M1 (unsuitable), discontinue M2 (less suitable) and Well graded M3 (more suitable combination).



Figures 6 and 7: Thermal treatment process of the sample of bricks produced wet clay contraction because water's elimination during drying. Contraction might be up to 20% of volume. (F.H. Norton).

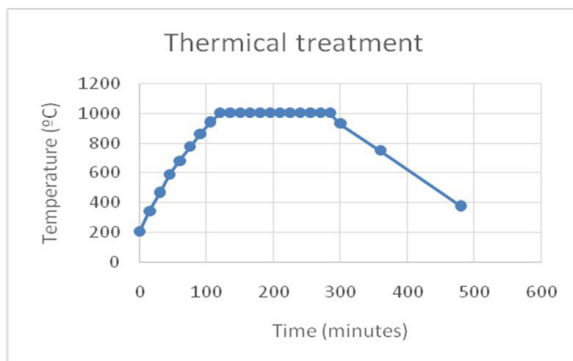


Table 15: After cooking these results were registered:

Sample-Color	$\Delta\gamma$ (% Unitary mass Variation)	$\Delta V$ (Volume Variation (%))
M1-Black	6,25	-24,52
M2-Red	5,67	-13,22
M3-Brown	9,32	-20,03

Table 16: Variation of unitary mass and volume of laboratory made bricks.

Sample - Initial color	Mass [g]	Length [cm]	Wide [cm]	Thickness [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Volumetric mass [g/cm <sup>3</sup> ]
M1-Black	930,4	21,0	10,0	3,55	745,50	1,248
M2-Red	1493,0	21,0	10,5	3,80	837,90	1,782
M3-Brown	829,2	19,0	10,5	2,60	518,70	1,599

## 5 PHYSICAL AND MECHANICAL AND TESTS RESULTS

According to NP 17 029 77 the ceramic bricks were tested to compressive strength hand were categorized according to Paraguayan Standard NP 17 027 77, 2nd Edition, 2015.

Table 17: Sizes obtained were registered:

SampleM1	1	2	Average
Large [cm]	10	8	9
With [cm]	10	10	10
		Área [cm <sup>2</sup> ]	90

SampleM2	1	2	Average
Large [cm]	10	10	10
With [cm]	10	10	10
		Área [cm <sup>2</sup> ]	100
SampleM3	1	2	Average
Large [cm]	10	8	9
With [cm]	9	8	8,5
		Área [cm <sup>2</sup> ]	76,5

From the thermal-gravimetric analysis initial and at the end it was noticed that Sample M3 had a medium volume loss compared to M1 & M2, which gives a better distributed granulometric inside due to the mix of both raw materials to obtain a better knead and compaction to more homogeneity before, during and after sinter. Another data is that the same sample M3 increase more its volumetric initial mass. Representing it a good energy efficiency. Sample M2 was less affected by volumetric and mass volumetric variation. Probably because of the high percentage of sand. Sample M1 got more volumetric mass and volumetric decrease from initial ones. These due to the plasticity (more clay) and the existence of organic material in higher percentage noticed visually by the black color of its raw material. (White color after sinter).

Table 18: The compression strength obtained (NP 17 029 77):

Sample	Area (cm <sup>2</sup> )	Máximo load [Kg]	Compressive Strength [Kg/cm <sup>2</sup> ]
M1	90	2200	(24,44) 2,4 MPa
M2	100	5600	(56,00) 5,6 MPa
M3	76,5	6300	(82,35) 8,2 MPa

Brick sample M3 was categorized B with more than 7 MPa of compression strength and less than 20% of absorption, also bending strengths should be studied, given sizes there should be a correlation between both strengths. Brick M2 categorized C with compression strength higher than 5 MPa and less than 25% of absorption. Brick M1 with more clay and silt content and organic material is not categorized, being not suitable for Wall structures.

Table 19: Results of categorizing 20 bricks marks marketed in Asunción, 7 selected also for testing with EDX.

Bricks	Categorized A	Categorized B	Categorized C	Not Categorized (S/C)
Characteristics And Media Results	Red color (3 of each) Semi-pressed	Red color (2 trade marks, 3 of each) Semi-pressed	Red color (2 trade marks, 3 of each) Semi-pressed	White color (2 trade marks, 3 of each) Semi-pressed
Especific gravity	1,76g/cm <sup>3</sup>	1,78g/cm <sup>3</sup>	1,89g/cm <sup>3</sup>	1,52g/cm <sup>3</sup>
Absortion	12,71%	16,43%	12,48%	21,7%

Large (cm)	23,30	22,80	22,75	22,75
Width (cm)	11	10,8	10,75	10,8
High (cm)	5,2	5,05	4,9	5,2
Comp. strength	16,5MPa	8,2 MPa	6,2 MPa	3,2MPa

Table 20: BENDING OF BRICKS CAT- A, C & N/C(S/C). 21/10/2014.

A Deform mm	C Deform mm	S/C deform mm	Load - kg
0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,01	0,00	40
0,01	0,01	0,00	80
0,05	0,02	0,01	120
0,06	0,03	0,01	140
0,07	0,06	0,01	160
0,08	0,07	0,04	180
0,08	0,08		200
0,10	0,09		220
0,10	0,10		280
0,11			340
0,11			400
0,13	luz libre=15 cm		440

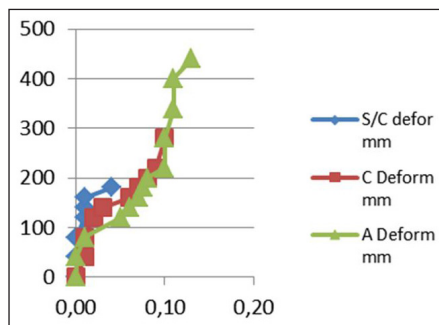


Table 21: Specifications for solid ceramic bricks according to NP 17 027 77.

REQUIREMENTS	CATEGORIES		
	A	B	C
Compressive strength (MPa)	Minimum 9	Minimum 7	Minimum 5
Bending strength (MPa)	Minimum 3	Minimum 2	Minimum 1,5
Water maximum absorption (%)	Maximum 20	Maximum 20	Maximum 25

Table 22: Load analysis for the bottom bricks.

Vertical load for 1 m of wall		
Reinforced Concrete Crosspiece Load	78,41	kg
Roof tile load	180,09	kg
Tejuelón load	82,8	kg
Overload	80	kg
Total Roof load over wall	421,30	Kg/m
Wall load over lower bricks	792	Kg/m
Total load over lower bricks	1213,30	Kg/m
Load over wall	1,01	Kg/cm <sup>2</sup>
Increase coefficient for wall: 1,6	1,62	Kg/cm <sup>2</sup>
Horizontal load coefficient: 1,2	1,94	Kg/cm <sup>2</sup>
Security coefficient: 2	3,88	Kg/cm <sup>2</sup>



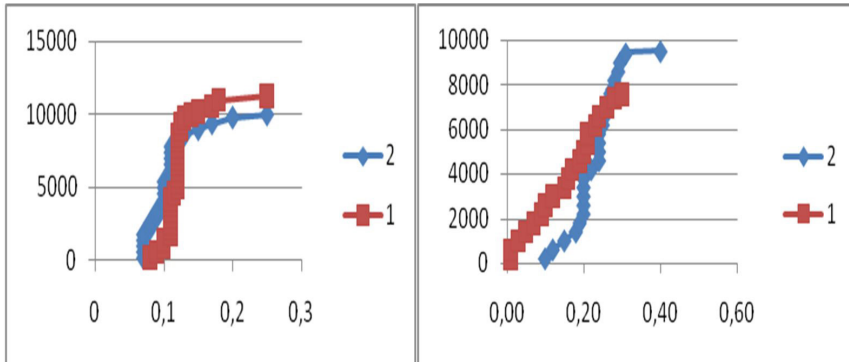
This last load should be less than the following 3 values (Coefficient. Standard AGIES NR-4):

- a) Minimum mortar resistance:  $12,19 \text{ kg/cm}^2 \times 0,6 = 7,314 \text{ kg/cm}^2 > 3,88 \text{ kg/cm}^2$ . Verifies the considered load.
- b) Brick compression resistance:  $126,8 \text{ kg/cm}^2 \times 0,53 = 67,204 \text{ kg/cm}^2 > 3,88 \text{ kg/cm}^2$ , Verifies.
- c) Small wall resistance:  $42,09 \text{ kg/cm}^2 \times 0,6 = 25,254 \text{ kg/cm}^2 > 3,88 \text{ kg/cm}^2$ . Verifies all. The bricks and mortars forming small walls verifies with security coefficient for these loads.

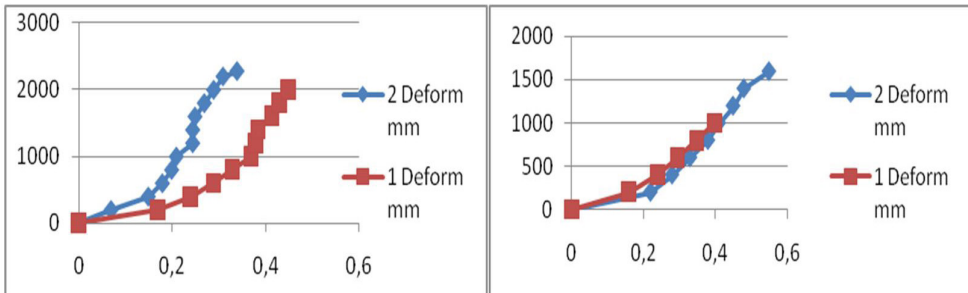
Figures: Essays on low walls.



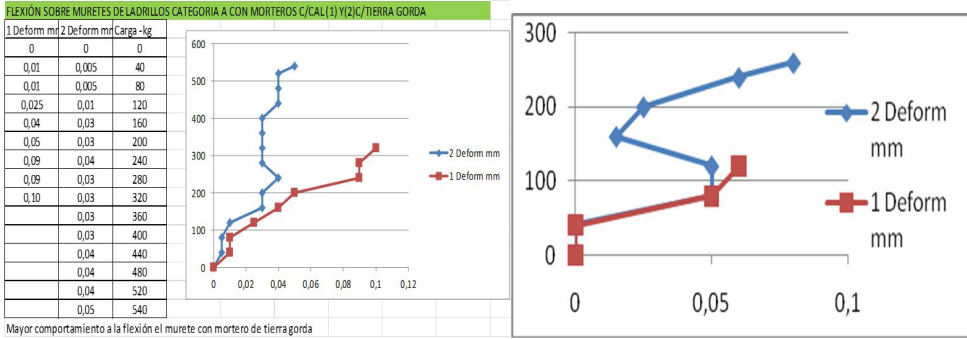
Figure 20 & 21: Load (kg) vs Strain (mm) at compression of low walls made with Cat A and C bricks.



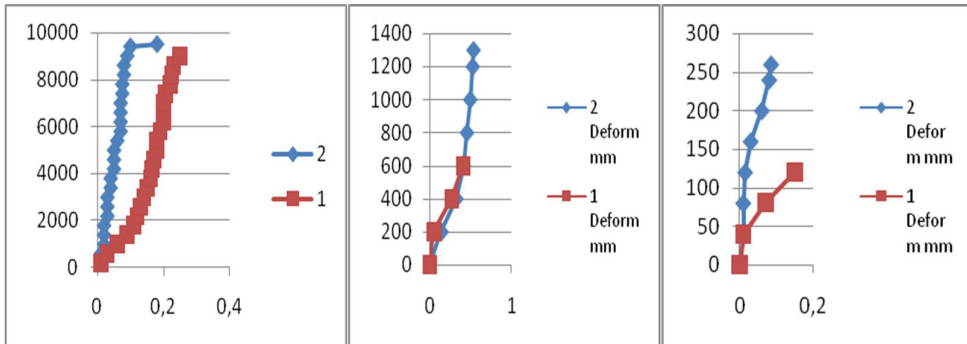
Figures 22 a & b: For diagonal compression of low walls A and C.



Figures 23 a & b: For lateral bending of low walls A and C.



Figures 24 to 26: for compression, diagonal compression and lateral bending of Not categorized low walls, shows the irregular mechanical behavior and lack of category of S/C low walls bricks.



## 6 CHEMICAL RESULTS EDX

According to chemical elements proportions at the analysis with EDX it was obtained what follows:

Table 23: Chemical composition of laboratory made bricks result from the study with EDX (%).

Element	M3 brown	M2 red	M1 black
Si	60,7	56	74,4
Fe	17,8	20,7	9,1
Al	15,4	17	9,5
Ti	2,2	2,3	1,8
K	2	2,2	1,5
Ca	1,2	1,4	2,4
Mn	0,15	0,1	0,2
S	0,17	0	0,21
Zr	0,01	0,07	0,05

Element	M3 brown	M2 red	M1 black
Sr	0,005	0,006	0,006
Rb	0,006	0,008	0,003
Y	0,004	0,004	0,005
Ba	0	0	0,7
Zn	0	0	0,002
V	0,098	0,106	0
Ta	0	0,09	0
Tm	0,18	0	0

Table 24: Chemical composition of asuncion 's market bricks results from EDX analysis (%).

Element	cat A brick	Cat B brick	Cat C brick	S/C(N/C)brick
Si	59,6	58	61,95	61,35
Fe	15,7	20,2	17,15	14,55
Al	11,7	16,2	12,55	17,2
Ti	1,7	2,4	2,1	2,5
K	6,9	2,2	2,5	2,75
Ca	3,3	0,7	2,9	0,8
Mn	0,19	0,07	0,075	0,085
Zr	0,08	0,065	0,0815	0,067
Sr	0,01	0,007	0,01	0,009
Rb	0,013	0,008	0,0085	0,0095
Y	0,006	0,005	0,006	0,0055
Zn	0,004	0,003	0,0045	0,0045
Ba	0,7	0	0,525	0,57
Ta	0,08	0	0	0
V	0	0,105	0,0505	0,038
Tm	0	0	0,113	0
Cu	0	0	0	0,002

References	
	Lesser values in better Categories
	Higher values in better Categories
	Higher values in worst Categories
	Lesser values in worst Categories
	Similar values on market or intermediate category in laboratory bricks
	Intermedium values in better laboratory made category

From the A and B brick Categories composition we saw that they were with less percentage of Si and without Cu. Category A brick has less Al and Ti and without Vanadium. But it has greater contents of K, Ca, Mn, Ba, Rb and Ta. The contents of Fe, Zr, Sr, Y, Zn, and Tm were similar for all the categories. Bricks from categories B, C and Not Categorized has more content of Ti and V and lesser contents of K, Ca, Mn, Rb, Ba, Ta. Not categorized bricks also contains Copper. The laboratory made bricks M3 (Categorized B by compression strength) contains less Si, Fe, Al, Ti, K, Ca, Mn, S, Zr, Sr, Rb, Y, Ba, Zn, V and Ta and more Tm than the not Categorized M1 brick. Also the M1 brick (S/C) has more content of Si, Ca, Mn, S, Y, Ba, and Zn, less of Fe, Al, Ti, K, Zr, Rb and O % of V, Ta and Tm. The C categorized brick M2 has the lower content of Si, Mn, S (0%) and higher contents of Fe, Al, Ti, K, Zr, Sr, Rb, V and Ta. 0% content of S, Ba, Zn and Tm.

According to the elementary composition bricks with Si composition around 58 to 60,7%, The presence of Fe and Al is also important and we can see in the raw materials, and in the bricks between 15 and 20 % and 11 to 17%, have categorization, also the presence of less Titanium that affects more color than strength. It is also the making technology important to be correctly know. Values of Fe and Al lower than 10% in raw materials shows lower mechanical properties. The more quantity of K, Mn, Rb, V and less quantity of Ca, Ba, Zn, Ca are important for bricks hand made. More K, Mn, Ca, Rb, Ba and Ta enhance the compression strength if the brick is made by mechanical pressure.

All these data let us know that the composition is important, but also the technique used to make. It is remarkable that the Si has a limited range quantity for good compression strength.

Also some elements as Fe, Al, K, Ca, Mn, Rb are very important contents on the final product (the brick). Also it's remarkable that the presence of Ti is always there and it is limited to a maximum of 2,2 % for handmade bricks and to 1,7% for mechanically made bricks. The color of the brick also give us a tip of its properties if they are well designed, also may tell us the qualitative contents of Fe (more red), Ti (more clear and white), and may be other elements that gives its final color.

## 7 CONCLUSIONS

The final results show us that the brick mixed with both raw materials offers more compression strength. This is explained that it was made from 25% of clay (31% total fines (clay and silt) being acceptable and 69% of sand. This brick (Categorized B) has better mechanical properties than the one with 28% of clay and 16% of silt (44% of total fines) and 56% of sand (bigger grains) who was Not categorized and the categorized C

with even more sand than the first (72%) and 28% of total fines who has an intermedium compression strength. This size contribution on strength is because the well granulometric distribution helps knead and compaction. On sample M3 it was observed the biggest decrease in mass of the three samples after sinter, also the volumetric mass and the sizes. From the thermal-gravimetric analysis initial and at the end it was noticed that Sample M3 had a medium volume loss compared to M1 & M2, which gives a better distributed granulometric inside due to the mix of both raw materials to obtain a better knead and compaction to more homogeneity before, during and after sinter. Another data is that the same sample M3 increase more its volumetric initial mass. Representing it a good energy efficiency. Sample M2 was less affected by volumetric and mass volumetric variation. Probably because of the high percentage of sand. Sample M1 got more volumetric mass and volumetric decrease from initial ones. These due to the plasticity (more clay) and the existence of organic material in higher percentage noticed visually by the black color of its raw material. Generally but not always the volumetric mass and density increases strength, this we can see on absorptions under 20% requirement for A and B Bricks categories according to Standard NP17 027 77, second edition, 2015. It is not necessary more density for strength, but bricks with low density and volumetric mass has lower strengths because of the voids increase. Also it was observed more compression strength with less thickness, they sinter at lower temperatures, better also with small particles, clay and silt, but it is not good because of the mechanical behaviour in wall structure, very thin bricks bends at lower loads. Final sizes are very important and this standard considered it (we were part of the Standard Technical Committee 17). Establishes that minimum sizes are 22 cm x 11 cm x 4,5 cm. It is recommended once obtain the raw materials combine it to produce a well distributed granulometry before Knead.

These final results let us know that the composition is important, but also the technique used to make. It is remarkable that Si has a limited range quantity for good compression strength.

Also some elements as Fe, Al, K, Ca, Mn, Rb are very important contents on the final product (the brick). Also it's remarkable that the presence of Ti is always there and it is limited to a maximum of 2,2% for handmade bricks and to 1,7% for mechanically made bricks. The color of the brick also give us a tip of its properties if they are well designed, also may tell us the qualitative contents of Fe (more red), Ti (more clear and white), and may be other elements and heating technique that gives its final color.

Every brick with different raw materials should be sampled and tested to obtain the better combination because this will affect its strength and durability to support loads and environment during useful time.

## REFERENCES

- ASHBY, M.F. & JONES, DAVID R.H. 2008. Materiales para Ingeniería 2, Editorial Reverté, Barcelona, España.
- AASHTO, norma T-53, Humedad natural del suelo.
- AASHTO T-88, Análisis Granulométrico del suelo.
- AASHTO T-89, Determinación del Limite líquido del suelo.
- AASHTO T-90, Determinación del Limite Plástico del suelo.
- BIEBER, O.; BIEBER, E. & ROJAS, R. 2015. Manual de Materiales de Obras Civiles tomo I volumen III. Geomecánica y Fundaciones. Imprenta Yolysuitter. Asunción, Paraguay.
- BIEBER, O., BIEBER, E. & ROJAS, R, 2013. Manual de Materiales de Obras Civiles tomo II volumen II-Cerámicos y morteros. Imprenta Yolysuitter. Asunción, Paraguay.
- FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS, 2016. Informes de Laboratorio de Suelos. Universidad Nacional de Asunción. Suelos de Santaní, Depto de San Pedro y del Departamento Central. San Lorenzo, Py.
- HERNANDEZ B., O. 1975. Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Instituto de Ingeniería pág. 351- UNAM, México.
- Normas NP, IRAM, UNE, ASTM, AASHTO, AGIESNR, COUGUANOR, SNR, Py, Arg, España, EEUU, Guatemala, Colombia.
- LÓPEZ, J; OLLER, S; OÑATE, E. 1998. Cálculo del Comportamiento de la Mampostería Mediante Elementos Finitos. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Monografía CIMNE N°46. UPC. Barcelona. España.
- MELI P, R.; REYES G. , A. 1971. Propiedades Mecánicas de la Mampostería. Instituto de Ingeniería-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- NP 17 027 77, segunda edición, 2015. Norma Paraguaya de Ladrillos cerámicos macizos-Especificaciones. INTN, Asunción, Paraguay.
- NP 17 029 77, 1ª Edición, Ladrillos macizos de barro cocido para albañilería. Ensayos de compresión. INTN, Asunción, Paraguay.
- NP 17 04480. Norma Paraguaya de cemento. Especificaciones, INTN, Asunción, Paraguay.
- NP N° 22 Ensayos de peso específico y absorción del ladrillo cerámico macizo.
- ROJAS, R & LÓPEZ, R, 2011. Evaluación de suelos de excavación procedentes de la ciudad de Asunción para su uso como mortero de asentamiento. IX SBTA, Belo Horizonte, Brasil.
- ROJAS, R, 2012. Evaluación del desempeño de un suelo de Asunción en mamposterías con ladrillos comercializados en Asunción. 1ª Feria I+I+D. FIUNA. San Lorenzo. Paraguay. Presentado Agosto 2015.

- ROJAS, R., ROJAS, H. & LÓPEZ, R, 2016. Estudio del comportamiento mecánico de muretes de ladrillos cerámicos macizos. Facultad de Ingeniería, UNA, presentado el 28 de octubre de 2016 en VII CONIMAT, Congreso Internacional de Materiales, Cusco Perú.
- ROJAS, R., ROJAS, H. & LÓPEZ, R, 2016. Estudio de las propiedades mecánicas de muretes de ladrillos cerámicos macizos. Facultad de Ingeniería UNA, presentado el 20 de setiembre de 2016 en IV ALCONPAT, Congreso de patología y calidad de la Construcción, Asunción, Paraguay.
- ROLANDO, A. 2006. Resistencia Característica a Compresión de una fábrica de Ladrillo en función de la Resistencia de sus Componentes. Comprobación Experimental de expresiones Analíticas de la Normativa Europea.. Materiales de Construcción, Vol. 56.
- UNE 83-134-90, Densidad y absorción del agregado fino. España.

## COMPARISON OF ANALYTICAL AND NUMERICAL SOLUTIONS TO THE STRESSES PROBLEM IN A CYLINDRICAL SHELL WITH A CIRCULAR HOLE<sup>1</sup>

Data de submissão: 23/12/2022

Data de aceite: 10/01/2023

**Stanislava V Kashtanova**

Institute for Problems of  
Mechanical Engineering of RAS  
Bolshoi prospect V.O., 61, 199178  
Saint-Petersburg, Russia  
<https://orcid.org/0000-0003-1090-0320>

**Alexey V Rzhonsnitskiy**

Dept. of Mathematics  
Saint-Petersburg State  
Institute of Technology  
Moskovsky prospect, 26, 190013  
Saint-Petersburg, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-5825-5036>

**ABSTRACT:** The cylindrical shell with a circular hole under three types of boundary conditions is considered: axial tension, internal pressure and torsion. A new mathematical approach that allows reducing an infinite system and finding unknown coefficients for the deriving stress is offered. This approach lifts classical mathematical restrictions for

curvature parameter. The comparison of analytical and numerical results by collocation method is described.

**KEYWORDS:** Shell Theory. Cylindrical Shell. Circular Cutout.

### 1 INTRODUCTION

In recent works, Kashtanova and Rzhonsnitskiy [1,2] reconsidered the classical approach to the solution of the problem of cylindrical shell a circular cutout under an axial tension. The protagonist of this problem is a certain geometric parameter  $\beta$ , that contains the ration between the radius of the hole, the radius of the cylindrical shell and the shell thickness. When this parameter is equal to zero, we have a plane problem (the Kirsch problem in case when the boundary condition is an axial tension). There were several reasons that forced us to look for a different approach: a very small range of applicability of the solution (close to Kirsch problem), a linear dependency in the system for finding coefficients for basis function, different results in the literature, a failure of the limit transition, no explicit formulas for the field of stresses and no opportunity to make an analytical

<sup>1</sup> CILAMCE-PANACM-2021. Proceedings of the joint XLII Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering and III Pan-American Congress on Computational Mechanics, ABMEC-IACM, Rio de Janeiro, Brazil, November 9-12, 2021.



analysis. The classical way was to decompose the solution and the coefficients into small parameter  $\beta$ , which immediately put restrictions on the range of applicability. The authors of the present paper offered to decompose the solution into Fourier series and to divide variables [1], then they found and exclude a linear-dependent equation and after some substitution of variables proofed the reducibility of the infinite system [2]. This method allows getting a model in range of  $\beta$  up to 4. In this paper this idea, in addition to axial tension, is applied to other boundary conditions: internal pressure and torsion. The comparison of analytical and numerical results by collocation method that were received by Van Dyke [4] is described.

## 2 THE PROBLEM

We consider a cylindrical shell of radius  $R$  and thickness  $h$  with a circular hole  $r_0$  under various boundary conditions. The main parameter that is responsible for the ratio between geometric characteristics is

$$\beta^2 = r_0^2 \cdot \frac{\sqrt{3(1-\nu^2)}}{4Rh},$$

$\nu$  – Poisson's coefficient. Note that limit transition while  $\beta \rightarrow 0$  leads us to the plane problem.

The governing equation of the problem reduces by Lurie [3] to

$$\Delta\Delta\Phi + 8i\beta^2 \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} = 0. \quad (1)$$

Here function  $\Phi = \frac{Eh}{8\beta^2 R} w - iU$  is used, which contains the deflection  $w$ , the stress function  $U$  and  $E$  – Young's modulus. The stress function  $U$  is connected with stress tensor  $T$  by next correlation

$$\begin{pmatrix} T_x & T_{xy} \\ T_{xy} & T_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} & -\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} \\ -\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

median surface stress is  $\sigma = T/h$ .

We consider this problem with follow three types of boundary conditions:

I. axial tension  $p$  at infinity along  $x$ -coordinate

- at infinity  $T_x = p$ ,  $T_{xy} = 0$ ,  $T_y = 0$ ,  $w = 0$ ;
- at the boundary of the hole in polar coordinates  $(r, \vartheta)$  – free edge

$$T_{rr}\Big|_{r=r_0} = 0, T_{r\vartheta}\Big|_{r=r_0} = 0, M_r\Big|_{r=r_0} = 0, Q_r\Big|_{r=r_0} = 0; \quad (3)$$

II. uniform internal pressure  $q_0$  ( $q = \frac{q_0 r_0}{2}$ ):

$$- T_x = q; T_y = 2q; T_{xy} = 0;$$

$$\text{or (in polar coordinates)} \quad 2T_r = q(3 - \cos 2\vartheta); 2T_{r\vartheta} = q \sin 2\vartheta; 2T_\vartheta = q(3 + \cos 2\vartheta)$$

- at the boundary of the hole in polar coordinates  $(r, \vartheta)$

$$T_{rr}\Big|_{r=r_0} = 0, T_{r\vartheta}\Big|_{r=r_0} = 0, M_r\Big|_{r=r_0} = 0, Q_r\Big|_{r=r_0} = -\frac{q_0 r_0}{2}; \quad (4)$$

III. torsion

$$- \text{at infinity } T_x = 0, T_y = 0, T_{xy} = \tau, \tau = \frac{M}{2\pi R^2}$$

$$\text{or in polar coordinates } T_r = \tau \sin 2\vartheta, T_\vartheta = -\tau \sin 2\vartheta, T_{r\vartheta} = \tau \cos 2\vartheta$$

- at the boundary of the hole in polar coordinates  $(r, \vartheta)$

$$T_{rr}\Big|_{r=r_0} = 0, T_{r\vartheta}\Big|_{r=r_0} = 0, M_r\Big|_{r=r_0} = 0, Q_r\Big|_{r=r_0} = 0. \quad (5)$$

The solution offered by authors can be written in the next form (for case I, II and III respectively):

$$\Phi_I = -i \frac{py^2}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_n + ib_n) \cdot f_n, \quad (6)$$

$$\Phi_{II} = -i \frac{qy^2}{2} - i \frac{2qx^2}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_n + ib_n) \cdot f_n, \quad (7)$$

$$\Phi_{III} = i \tau x y + \sum_{n=0}^{\infty} (a_n + ib_n) \cdot f_n, \quad (8)$$

where for I and II types of boundary conditions we have

$$f_n(r, \vartheta) = \frac{g(r, n, 0)}{2} + \sum_{l=1}^{\infty} g(r, n, l) \cdot \cos 2l\vartheta \quad (9)$$

and for III type

$$f_n(r, \vartheta) = \sum_{l=1}^{\infty} \tilde{g}(r, n, l) \cdot \sin 2l\vartheta. \quad (10)$$

The third type has a slightly different structure due to the antisymmetry of the problem, because of this  $\sin 2l\vartheta$  appears, which is equal to zero for  $l=0$ .

In its turn

$$g(r, n, l) = (-1)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + l} \cdot \frac{H_n^{(1)}((1+i)\beta r)}{H_n^{(1)}((1+i)\beta)} \cdot (J_{n+2l}((1+i)\beta r) + J_{n-2l}((1+i)\beta r)), \quad \begin{matrix} n = 0, 1, \dots, \infty \\ l = 0, 1, \dots, \infty \end{matrix} \quad (11)$$

$$\tilde{g}(r, n, l) = (-1)^{l + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \cdot \frac{H_n^{(1)}((1+i)\beta r)}{H_n^{(1)}((1+i)\beta)} (J_{n-2l}((1+i)\beta r) - J_{n+2l}((1+i)\beta r)), \quad \begin{matrix} n = 1, \dots, \infty \\ l = 1, \dots, \infty \end{matrix} \quad (12)$$

In formulas (6)-(8) we need to find unknown coefficients  $a_n$  and  $b_n$ . After getting the function  $\Phi$ , using the correlation (2), we will find stresses for our problem with various boundary conditions.

### 3 CREATING SYSTEMS

Finding unknown coefficients  $a_n$  and  $b_n$  from the system with an infinite number of equations that we get from boundary conditions of the stresses problem is the important part of the work. We proved that one equation is a linear combination of four others that helped us to solve the system [1]. In work [2] it was proved the reductibility of these infinite systems. For all types of boundary conditions, the matrixes of the system are received: by the substituting solution (6) into (3) for the first type, (7) into (4) for the second and, respectively, (8) into (5) for the third case.

As you can see below, all systems have the same structure.

System FOR TYPE I and II.

n \ l	0		1		2		3		unknown	Free Type I	Free Type II
	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re			
0	$t_3(0,0)$	$t_3(0,0)$	$t_3(1,0)$	$t_3(1,0)$	$t_3(2,0)$	$t_3(2,0)$	$t_3(3,0)$	$t_3(3,0)$	$a_0$	0	0
0	$t_4(0,0)$	$t_4(0,0)$	$t_4(1,0)$	$t_4(1,0)$	$t_4(2,0)$	$t_4(2,0)$	$t_4(3,0)$	$t_4(3,0)$	$b_0$	0	$16\beta^2 q$
1	$g(0,1)$	$g(0,1)$	$g(1,1)$	$g(1,1)$	$g(2,1)$	$g(2,1)$	$g(3,1)$	$g(3,1)$	$a_1$	$-\frac{p}{4}$	$\frac{q}{4}$
1	$g'(0,1)$	$g'(0,1)$	$g'(1,1)$	$g'(1,1)$	$g'(2,1)$	$g'(2,1)$	$g'(3,1)$	$g'(3,1)$	$b_1$	$-\frac{p}{2}$	$\frac{q}{2}$
1	$t_3(0,1)$	$t_3(0,1)$	$t_3(1,1)$	$t_3(1,1)$	$t_3(2,1)$	$t_3(2,1)$	$t_3(3,1)$	$t_3(3,1)$	$a_2$	0	0
1	$t_4(0,1)$	$t_4(0,1)$	$t_4(1,1)$	$t_4(1,1)$	$t_4(2,1)$	$t_4(2,1)$	$t_4(3,1)$	$t_4(3,1)$	$b_2$	0	0
2	$g(0,2)$	$g(0,2)$	$g(1,2)$	$g(1,2)$	$g(2,2)$	$g(2,2)$	$g(3,2)$	$g(3,2)$	$a_3$	0	0
2	$g'(0,2)$	$g'(0,2)$	$g'(1,2)$	$g'(1,2)$	$g'(2,2)$	$g'(2,2)$	$g'(3,2)$	$g'(3,2)$	$b_3$	0	0
...											

$$t_3(n, l) = i(-4l^2 \nu g(n, l) + \nu g'(n, l) + g''(n, l))$$

$$t_4(n, l) = i(12l^2 \cdot g(n, l) - (1 + \nu + 4l^2(2 - \nu)) g'(n, l) + g'''(n, l))$$

System FOR TYPE III.

n	l	1		2		3		4		unknown	Free Type III	
		Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re			
1	1	$\tilde{t}_3(1,1)$	$\tilde{t}_3(1,1)$	$\tilde{t}_3(2,1)$	$\tilde{t}_3(2,1)$	$\tilde{t}_3(3,1)$	$\tilde{t}_3(3,1)$	$\tilde{t}_3(4,1)$	$\tilde{t}_3(4,1)$	:	$a_1$	0
1	1	$\tilde{t}_4(1,1)$	$\tilde{t}_4(1,1)$	$\tilde{t}_4(2,1)$	$\tilde{t}_4(2,1)$	$\tilde{t}_4(3,1)$	$\tilde{t}_4(3,1)$	$\tilde{t}_4(4,1)$	$\tilde{t}_4(4,1)$		$b_1$	0
1	1	$\tilde{g}(1,1)$	$\tilde{g}(1,1)$	$\tilde{g}(2,1)$	$\tilde{g}(2,1)$	$\tilde{g}(3,1)$	$\tilde{g}(3,1)$	$\tilde{g}(4,1)$	$\tilde{g}(4,1)$		$a_2$	$-\frac{\tau}{2}$
1	1	$\tilde{g}'(1,1)$	$\tilde{g}'(1,1)$	$\tilde{g}'(2,1)$	$\tilde{g}'(2,1)$	$\tilde{g}'(3,1)$	$\tilde{g}'(3,1)$	$\tilde{g}'(4,1)$	$\tilde{g}'(4,1)$		$b_2$	$-\tau$
2	2	$\tilde{t}_3(1,2)$	$\tilde{t}_3(1,2)$	$\tilde{t}_3(2,2)$	$\tilde{t}_3(2,2)$	$\tilde{t}_3(3,2)$	$\tilde{t}_3(3,2)$	$\tilde{t}_3(4,2)$	$\tilde{t}_3(4,2)$	$a_3$	0	
2	2	$\tilde{t}_4(1,2)$	$\tilde{t}_4(1,2)$	$\tilde{t}_4(2,2)$	$\tilde{t}_4(2,2)$	$\tilde{t}_4(3,2)$	$\tilde{t}_4(3,2)$	$\tilde{t}_4(4,2)$	$\tilde{t}_4(4,2)$	$b_3$	0	
2	2	$\tilde{g}(1,2)$	$\tilde{g}(1,2)$	$\tilde{g}(2,2)$	$\tilde{g}(2,2)$	$\tilde{g}(3,2)$	$\tilde{g}(3,2)$	$\tilde{g}(4,2)$	$\tilde{g}(4,2)$	$a_4$	0	
2	2	$\tilde{g}'(1,2)$	$\tilde{g}'(1,2)$	$\tilde{g}'(2,2)$	$\tilde{g}'(2,2)$	$\tilde{g}'(3,2)$	$\tilde{g}'(3,2)$	$\tilde{g}'(4,2)$	$\tilde{g}'(4,2)$	$b_4$	0	

$$\tilde{t}_3(n, l) = i(-4l^2 \nu \tilde{g}(n, l) + \nu \tilde{g}'(n, l) + \tilde{g}''(n, l))$$

$$\tilde{t}_4(n, l) = i(12l^2 \cdot \tilde{g}(n, l) - (1 + \nu + 4l^2(2 - \nu)) \tilde{g}'(n, l) + \tilde{g}'''(n, l))$$

### 4 RESULTS

Figure 1. Stresses  $\sigma_{\theta\theta}/p$  for types I, II and III respectively received in the present paper.

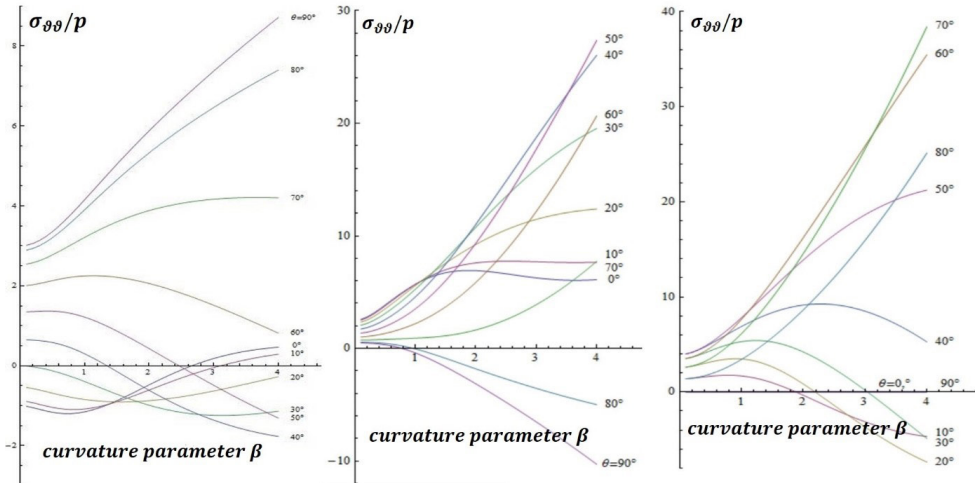


Figure 2. Stresses  $\sigma_{\vartheta\vartheta}/p$  for types I, II and III respectively received in the work of Van Dyke [4] in 1965 by collocation method.

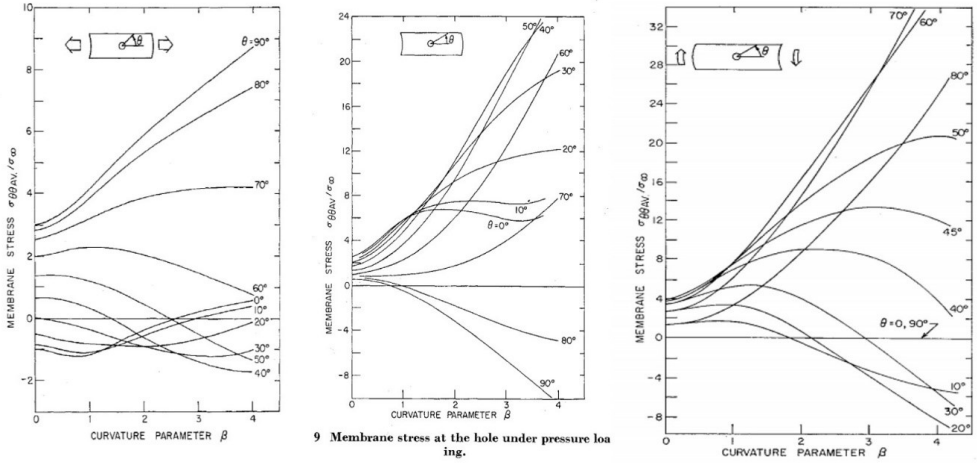


Figure 3a. Field of stresses  $\sigma_{\vartheta\vartheta}/p$  for type I (axial tension) for different  $\beta$ .

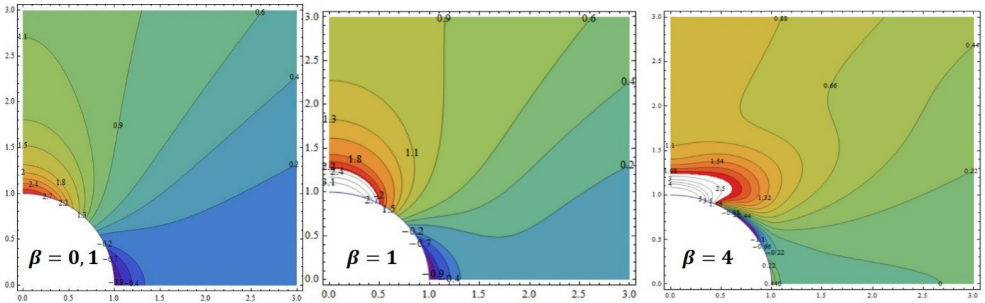


Figure 3b. Field of stresses  $\sigma_{\vartheta\vartheta}/p$  for type II (internal pressure) for different  $\beta$ .

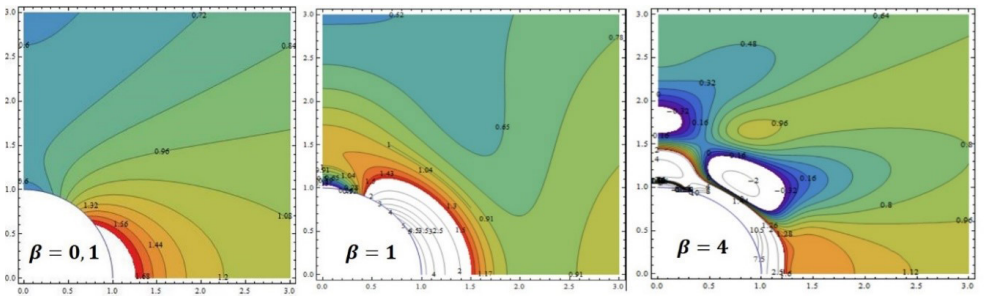
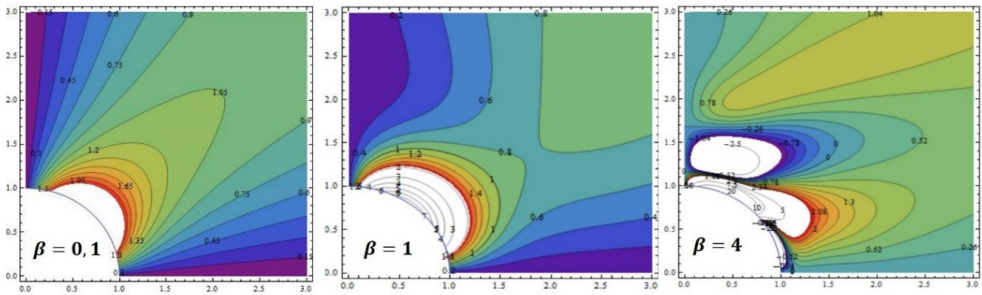


Figure 3c. Field of stresses  $\sigma_{\theta\theta}/p$  for type III (torsion) for different  $\beta$ .



## 5 CONCLUSIONS

The results that were received by new analytical approach are absolutely coincide with results that were obtained by collocation method by Van Dyke [4] in 1965 for all three cases of boundary conditions. Our model has no mathematical restrictions, as it was before, and from the point of view of mechanics it works up to 4.

## 6 ACKNOWLEDGEMENTS

The reported study was funded by RFBR, project number 19-31-60008.

## 7 AUTHORSHIP STATEMENT

The authors hereby confirm that they are the sole liable persons responsible for the authorship of this work, and that all material that has been herein included as part of the present paper is either the property (and authorship) of the authors, or has the permission of the owners to be included here.

## REFERENCES

- [1] Kashtanova S.V., Rzhonsnitskiy A.V. *Analytical Approach to the Derivation of the Stress Field of a Cylindrical Shell with a Circular Hole under Axial Tension* // Recent Approaches in the Theory of Plates and Plate-like Structures, Chapter 10, Springer, 2021 (in print).
- [2] Kashtanova S.V., Rzhonsnitskiy A.V. Investigation of Systems of the Stress Field Problem of a Cylindrical Shell with a Circular Cutout under Various Boundary Conditions // *Acta Mechanica* (to be published).
- [3] Lurie, A.I.: Concentration of stresses in the Vicinity of an Aperture in the Surface of a Circular Cylinder (in Russian), *Prikladnaya Matematika I Mekhanika*, Vol.10, p.397, 1946 (English transl. by N. Brunswick, New York University, Inst. of Math. Sci., 1960).
- [4] Van Dyke, P: Stresses about a Circular Hole in a Cylindrical Shell, *AIAA Journal*, Vol.3, № 9, pp.1733-1742, 1965.

# CAPÍTULO 8

## RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ALTIMÉTRICOS MEDIANTE LA ARTICULACIÓN ENTRE CÁTEDRAS DE DISTINTAS ÁREAS

Data de submissão: 03/02/2023

Data de aceite: 17/02/2023

**Claudio Eduardo Justo**

UIDET: IMApEC

Ciencias Básicas

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de La Plata

Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0003-3576-8071>

**Viviana Angélica Costa**

UIDET: IMApEC

Ciencias Básicas

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de La Plata

Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0003-1782-5378>

**RESUMEN:** La enseñanza del Álgebra Lineal nunca ha resultado tarea sencilla. Especialmente cuando se necesitaba avanzar respecto del ámbito de la manipulación algebraica de las ecuaciones a dotar de significado al proceso construcción de las matrices que conforman dichos sistemas. Para resolver esta circunstancia es que se comenzó en el año 2014 una actividad extracurricular mediante la realización de un trabajo profesional que requiriese el modelado de las observaciones mediante ecuaciones lineales. El trabajo elegido fue el establecimiento de

una red altimétrica en el campus de nuestra Facultad de Ingeniería en la ciudad de La Plata. Una red altimétrica comprende un conjunto de alturas respecto del nivel medio del mar para lugares específicos de una obra. El modelado de los desniveles medidos en función de las alturas es de rápida comprensión. Esto facilitó concentrar la atención de los estudiantes hacia conceptos más abstractos como el déficit de rango y la inconsistencia. Estos se visualizan con mayor naturalidad cuando son trasladados a la situación cotidiana que enfrentaría el ingeniero en una obra. Para esta actividad se recurrió a la articulación entre dos cátedras. Una perteneciente al Área de las Ciencias Básicas donde se estudian los contenidos del álgebra lineal y la segunda perteneciente a la carrera de Ingeniería en Agrimensura donde se estudian las incertidumbres en las mediciones. Las asignaturas pertenecen al segundo año y tercer año respectivamente de la carrera de agrimensura. De esta forma, en un mismo espacio, convivieron y trabajaron estudiantes de distintos años propiciándose la enseñanza entre pares.

**PALABRAS CLAVE:** Álgebra Lineal. Problemas Altimétricos. Articulación entre Cátedras de Ciencias Básicas y de Ingeniería en Agrimensura. Enseñanza entre Pares.

### 1 INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan los resultados de una actividad de articulación

entre dos Áreas de la Facultad de Ingeniería de la UNLP (FI) que combina tanto la docencia, la investigación, como la extensión, y que se viene desarrollando desde hace dos años (segundo semestre de 2014) en forma continua. La misma consiste en la resolución de una tarea profesional que es de incumbencia del Ingeniero Agrimensor mediante herramientas matemáticas que se enseñan en la asignatura Matemática C del Ciclo Básico (tercer semestre) de esta Facultad, cuyos contenidos corresponden a los de Álgebra Lineal.

La tarea profesional es ofrecida por la cátedra de Cálculo de Compensación (quinto semestre) de la carrera Ingeniero Agrimensor y tiene por objetivo dotar de cotas y sus respectivas incertidumbres a las ménsulas altimétricas (marcas físicas) que existen en muchos de los edificios de la Facultad. Se denominan cotas a las alturas respecto de un nivel tomado como referencia, en este caso, el nivel medio del mar de Mar del Plata (nivel de referencia para la red del Instituto Geográfico Nacional) de las ménsulas empotradas. Para este trabajo se adopta un sistema de alturas topográfico para el cual existe una relación constante entre la variación de alturas geométricas y la variación del potencial gravimétrico. Bajo esta hipótesis se modelan las superficies equipotenciales con esferas concéntricas. Esto deja de ser cierto para puntos lo suficientemente alejados (Wolf y Brinker, 1998).

La resolución del problema requiere modelar matemáticamente una situación real, utilizando herramientas del Álgebra Lineal, en especial, la construcción de matrices, sus operaciones, resolver sistemas de ecuaciones lineales y el emplear el Método de Mínimos Cuadrados ante la presencia inevitable, en esta tarea profesional, de sistemas de ecuaciones lineales inconsistentes. Esta área de la matemática es conocida como de difícil comprensión, por esto, varios investigadores recomiendan, para un mejor aprendizaje, motivar los contenidos desde la geometría y desde la ingeniería aplicada (Carlson, Johnson, Lay & Porter, 1993; Dorier, 2003; Hillel, 2000; Hillel, Sierpinska, & Trgalova, 1999).

El trabajo es realizado por alumnos de Matemática C (tercer semestre), y de Cálculo de Compensación (quinto semestre) de la carrera Ingeniero Agrimensor. También se inscribieron para la actividad algunos estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Hidráulica, así como un egresado de la carrera de Ingeniero Agrimensor.

Esta actividad, poco frecuente, permite el trabajo entre pares de distintos años, enfocados en resolver conjuntamente un trabajo profesional real con las herramientas matemáticas provistas por las cátedras convocantes.

Como se dijo, se persiguen con esta actividad varios objetivos. Entre ellos, acercar al alumno menos avanzado en la carrera, al modelado de situaciones topográficas



relativamente simples y que lo prepararán para encarar situaciones más complejas. Entendemos el modelado matemático de un problema como un proceso intelectual que incluye las capacidades de estructurar la situación que se va a modelar, traducir la realidad a una estructura matemática, interpretar los modelos matemáticos en términos reales, trabajar con un modelo matemático, reflexionar, analizar y ofrecer la crítica de un modelo y sus resultados, así de este modo lo definen Blomhøj (2008) y de la Fuente Martínez (2009).

Otro de los objetivos, es el de motivar al alumno del Área de Ciencias Básicas, en el aprendizaje de la matemática de una forma diferente a la habitual en esta Área, donde en general los conocimientos se estudian aislados de las demás disciplinas (física y química) y descontextualizados de las distintas especialidades de la ingeniería y del ejercicio profesional. De este modo, el aprendiz, estudia la matemática otorgándole a la misma una utilidad y significado en la resolución de problemas de su carrera arribando naturalmente a una situación de aprendizaje significativo donde se ve enfrentado a problemas reales que debe resolver reemplazando al ejercicio creado con fines didácticos. Las metas constituyen la principal variable que influyen en la motivación. En nuestro caso, se encuentra centrada en la realización de una tarea, que puede dar origen a algunos tipos de motivación, las denominadas de competencia e intrínseca. Según Farías y Pérez (2010), estos tipos de motivación son aquellas por las cuales el estudiante es atrapado por el tema de estudio, o bien por ser de su interés, a veces no tanto por los contenidos sino por los procedimientos que se utilizan para ello, provocando que el aprendiz se sienta a gusto o cómodo con aquello que realiza.

Para los alumnos avanzados, el desarrollo de la actividad propuesta, tiene por objetivo el de transmitir conocimiento a sus pares menos avanzados. Algunos investigadores afirman que es clave en el proceso educativo generar espacios de este estilo. Se aprende solo, pero también, y sobre todo, con otros, en el diálogo con otros y con el entorno social. De esta forma, trabajar en conjunto entre pares, optimiza el tiempo de aula. También, los alumnos avanzados se relacionan con sus conocimientos anteriores (en este caso, conocimientos matemáticos) permitiéndoles reafirmarlos, ampliarlos, cuestionarlos y hasta ponerlos en duda para proponer nuevas miradas y abordajes.

Finalmente, esta actividad contribuye a integrar y dar continuidad a los contenidos de estudio en las distintas áreas de las carreras, y dar respuesta a los estudiantes a la pregunta ¿Qué puedo hacer con lo que estoy estudiando en mi ejercicio profesional?

## 2 PARTE EXPERIMENTAL

Los participantes de la actividad realizaron el trabajo de campo en el predio de la Facultad de Ingeniería. El problema consistió en determinar las cotas y su incertidumbre estándar para el conjunto de ménsulas de esta Facultad. Se seleccionaron los siguientes puntos del predio: Agrimensura Viejo (Av), Partenón (P), Hidráulica (H), Construcciones (C), Química 1 (Q1), Química 2 (Q2), Decanato (D), Agrimensura Nuevo (An), como se observa en la imagen satelital de la Figura 1.

El Área Departamental Agrimensura proveyó el instrumental utilizado: varios equipos de nivelación automáticos de marca Sokkia, con sus respectivos trípodes y miras. A pedido de los alumnos se utilizó también un equipo digital, de última generación, con miras con código de barras.

Antes de iniciar la medición, se determinó la influencia del error instrumental en las observaciones, dado que el modelo matemático de las mismas no incluye la existencia del error instrumental. Luego para atenuar cualquier efecto residual se buscó respetar la equidistancia entre la mira y el equipo de nivelación durante todo el trabajo, según la Figura 2.

En esta etapa se hace énfasis en la importancia del correcto entendimiento del problema para poder modelar las observaciones apropiadamente.

Con el instrumental utilizado y las consideraciones mencionadas, los participantes midieron las diferencias de alturas desde Av a P, de P a H, de H a C, de C a Q2, de Q2 a D, de D a Q1, de Q1 a An y de An a Av (Cuadro 1).

Figura 1: Puntos seleccionados en el campus de la Facultad de Ingeniería.

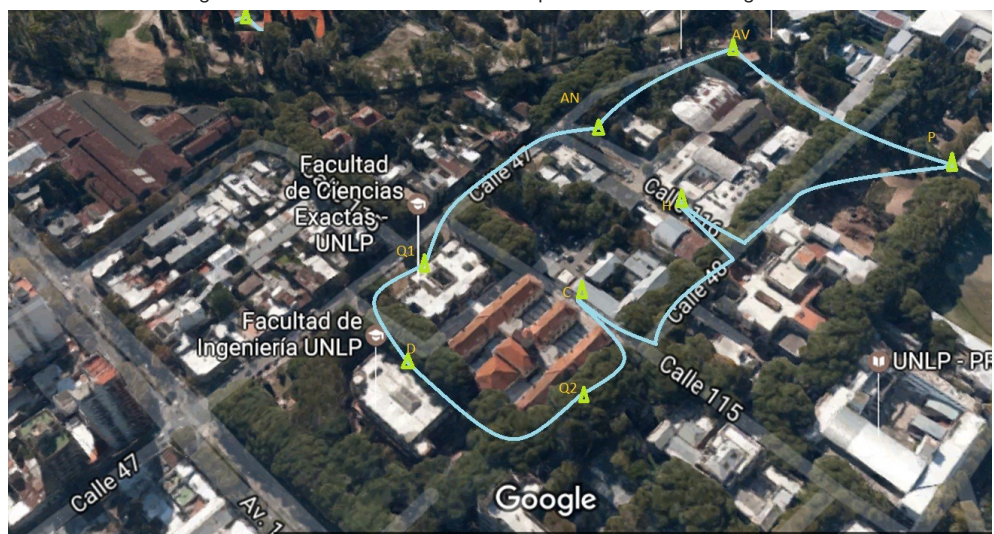
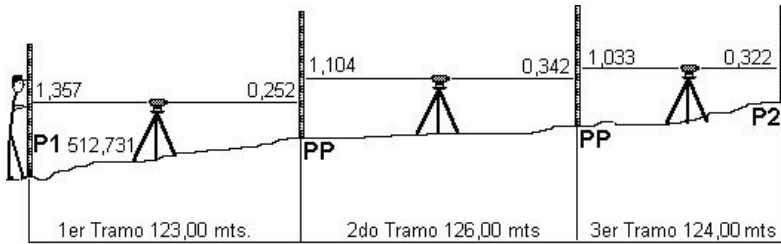


Figura 2. Esquema de trabajo.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar la experimentación y obtenidas las mediciones del Cuadro 1, los participantes proceden a resolver el problema. Para ello cada tramo medido lo modelan matemáticamente mediante una ecuación lineal.

Cuadro 1. Diferencias de alturas observadas.

Edificio	Nomenclatura	Tramo	$\Delta h$
Agrimensura Viejo	Av	Av a P	+0.273m
Partenón	P	P a H	+1.606m
Hidráulica	H	H a C	+0.832m
Construcciones	C	C a Q2	+0.920m
Química 2	Q2	Q2 a D	-0.378m
Decanato	D	D a Q1	-0.108m
Química 1	Q1	Q1 a An	-0.858m
Agrimensura Nuevo	An	An a Av	-2.296m

Por ejemplo, para el primer tramo, entre el viejo edificio del Área Departamental Agrimensura y el Partenón proponen la ecuación

$$P - Av = 0.273$$

De esta forma logran un sistema de ecuaciones lineales del que se querrá obtener su solución, que en notación matricial tiene la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Av \\ P \\ H \\ C \\ Q2 \\ D \\ Q1 \\ An \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.273 \\ 1.606 \\ 0.832 \\ 0.920 \\ -0.378 \\ -0.108 \\ -0.858 \\ -2.296 \end{pmatrix}$$

La matriz del sistema y el término independiente son cargados en el software GeoGebra, que es libre, de fácil uso y acepta realizar cálculos matriciales dispuestos

como en una planilla de cálculo. Denotan  $A$ , a la matriz del sistema,  $X$  el vector de las incógnitas y  $b$  al vector del término independiente, para luego proceder con la búsqueda de su resolución. Para ello, analizan el sistema de ecuaciones, encontrando que la matriz  $A$  es singular (no invertible) con lo cual el sistema es compatible indeterminado o no tiene solución. Es decir que no existe ningún vector  $X$  tal que  $A.X$  sea igual a  $b$ . En este caso, el sistema no admite solución, porque el término independiente no es combinación lineal de las columnas de la matriz, o lo que es equivalente a decir que el vector  $b$  no pertenece al espacio columna de la matriz  $A$ . Esto es debido a que la suma de los desniveles, que debería ser cero, no lo es, por deberse la toma de observaciones a un proceso aleatorio. Entonces, en estos casos de incompatibilidad, se busca una alternativa que dé respuesta al problema.

El método de Mínimos Cuadrados es una de ellas. Consiste en hallar la “mejor solución  $X$ ” al sistema de ecuaciones lineales incompatible  $A.X=b$ ,  $A$  de orden  $m \times n$  y  $b$  de orden  $m \times 1$ . Con “mejor solución” se refiere a que se busca  $X_0$  en  $R^n$  tal que verifique lo siguiente en norma 2:

$$\min_{X_0} \|A.X_0 - b\|$$

Denominando en este caso residuo al vector:

$$r = A.X_0 - b.$$

De esta manera el modelo lineal expresa la relación entre las observaciones y parámetros (cotas), incluyendo un residuo  $r$  de modo que por ejemplo la primera ecuación sería de la forma:

$$P - Av = 0.273 + r_{P-Av}$$

Para cualquier  $X \in R^n$ ,  $A.X$  es combinación lineal de las columnas de  $A$ , por lo que entonces el método busca el vector  $X_0$  que es combinación de las columnas de  $A$  que sea más “cercano” a  $b$ . Esto ocurre cuando  $A.X_0$  es la proyección ortogonal de  $b$  sobre el espacio columna de  $A$ , es decir que el vector  $(b - A.X_0)$  es ortogonal al vector  $A.Y$ ,  $\forall Y \in R^n$ . Entonces el producto escalar entre  $A.Y$  por  $(b - A.X_0)$  debe ser cero,  $\forall Y \in R^n$ : Se obtiene entonces:

$$Y^t A^t (b - A.X_0) = 0 \quad \forall Y \in R^n$$

$$Y^t A^t v = 0 \quad \forall Y \in R^n$$

Entonces:

$$Y^t (A^t.b - A^t.A.X_0) = 0 \quad \forall Y \in R^n$$

Se deduce que:

$$A^t A \cdot X_0 = A^t b$$

Al sistema de ecuaciones anterior se lo denomina sistema de ecuaciones normales (Lay, & Murrieta, 2007; Strang, 2007). Tal sistema es compatible determinado si la matriz  $A^t A$  es no singular y entonces en este caso la solución del sistema sería única e igual a:

$$X_0 = (A^t A)^{-1} A^t \cdot b$$

Pero en este problema la matriz  $A$  de coeficientes del sistema es singular. Entonces utilizando el dato conocido de la cota de  $Av=15,914m$  la reemplazan en el sistema y se obtiene uno nuevo cuya matriz de coeficientes tiene sus columnas linealmente independientes, lo que asegurará que la matriz  $A^t A$  sea no singular.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P \\ H \\ C \\ Q2 \\ D \\ Q1 \\ An \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16.187 \\ 1.606 \\ 0.832 \\ 0.920 \\ -0.378 \\ -0.108 \\ -0.858 \\ -18.296 \end{pmatrix}$$

Proceden entonces a hallar la solución del sistema de ecuaciones normales con este último sistema (incompatible), pero con columnas linealmente independientes, que denominaremos  $A^* \cdot X^* = b^*$ , obteniendo los valores para las cotas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cotas encontradas.

Edificio	Cotas (m)
Agrimensura Viejo	15.914
Partenón	16.188
Hidráulica	17.795
Construcciones	18.628
Química 2	19.549
Decanato	19.172
Química 1	19.065
Agrimensura Nuevo	18.208

Encontrado el vector solución, calculan el vector de residuos  $r=A \cdot X - b$ , que es constante e igual a  $r= (0.0011, 0.0011, 0.0011, 0.0011, 0.0011, 0.0011, 0.0011, 0.0011)^t$  y su norma 2 es  $\|A \cdot X - b\| = 0.0031$ .

Con estos resultados es posible comenzar un análisis estadístico de los mismos y que aportarán un conocimiento acerca de la variabilidad esperada de un trabajo realizado en similares condiciones.

## 4 CONCLUSIONES

Los resultados observados en esta actividad son de diversa índole académico:

- **Áulicos:** se dotó a los alumnos de un espacio donde desarrollar un trabajo continuo y progresivo durante dos años consecutivos en el estudio de contenidos que permiten la resolución de un trabajo profesional. Para los docentes implicó un acercamiento de los saberes que imparten y la posibilidad de desarrollar mejores estrategias de enseñanza.
- **Curriculares:** esta actividad permitió ver la necesidad de abordar en el grado, el estudio de sistemas de ecuaciones lineales sobre-determinados y del método de Mínimos Cuadrados.
- **Monitoreo/seguimiento de los estudiantes:** se logró observar la poca continuidad de los estudiantes de Ingeniero Agrimensor en la carrera durante el período trabajado: primer semestre 2015 al primer semestre 2016.
- **Presentación a congresos:** los primeros resultados fueron presentados en el XIX EMCI Nacional, XI Internacional, San Nicolás de los Arroyos en el año 2015.
- **Difusión y extensión:** se ofreció este espacio a la matrícula profesional por medio del Colegio de Distrito V del Consejo Profesional de Agrimensura. Se contó con la participación de un matriculado. Esta actividad profesional no se realizaba anteriormente como trabajo curricular en la carrera de Ingeniero Agrimensor.
- **Otros:** los resultados obtenidos de las ménsulas sirven de referencia para las diferentes tareas docentes de las asignaturas vinculadas a la Topografía y como material didáctico para quienes deseen trabajar con datos reales.
- La Facultad contará con una actualización permanente de su red altimétrica.

## BIBLIOGRAFÍA

Blomhøj, M. (2008). Modelización matemática-una teoría para la práctica. *Revista de Educación Matemática*, 23(2).

Carlson, D., Johnson, C. R., Lay, D. C., & Porter, A. D. (1993). The Linear Algebra Curriculum Study Group recommendations for the first course in linear algebra. *The College Mathematics Journal*, 24(1), 41-46.

de la Fuente Martínez, C. (2009). Modelos matemáticos, resolución de problemas y proceso de creación y descubrimiento en matemáticas. *Conexiones y aprovechamiento didáctico en secundaria. Construcción de modelos matemáticos y resolución de problemas*, 123-154.

Dorier, J. L. (2003). Teaching linear algebra at university. *arXiv preprint math/0305018*.

Fariás, D., & Pérez, J. (2010). Motivación en la Enseñanza de las Matemáticas y la Administración. *Formación universitaria*, 3(6), 33-40.

Hillel, J. (2000). Modes of description and the problem of representation in linear algebra. In *On the teaching of linear algebra* (pp. 191-207). Springer Netherlands.

Hillel, J., Sierpinska, A., & Trgalova, J. (1999). Teaching and Learning Linear Algebra with Cabri. *PME 23 Proceedings*.

Lay, D. C., & Murrieta, J. M. (2007). *Algebra lineal y sus aplicaciones*. J. E. M. Murrieta (Ed.). Pearson educación.

Strang, G. S. (2007). *Algebra lineal y sus aplicaciones*. Thomson.

Wolf P., Brinker R. (1998). *Topografía*. Alfaomega.

# CAPÍTULO 9

## CARACTERIZACIÓN DE LA CORTEZA DE TRANSICIÓN Y LÍMITE CORTICAL CONTINENTAL-OCEÁNICO EN EL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO<sup>1</sup>

Data de submissão: 02/02/2023

Data de aceite: 17/02/2023

### María Alejandra Arecco

Facultad de Ingeniería  
Instituto de Geodesia y  
Geofísica Aplicadas  
Universidad de Buenos Aires  
Buenos Aires, Argentina  
ORCID: 0000-0003-1348-764X

### Patricia Alejandra Larocca

Facultad de Ingeniería  
Instituto de Geodesia y  
Geofísica Aplicadas  
Universidad de Buenos Aires  
Buenos Aires, Argentina  
ORCID: 0000-0002-1668-1985

### Francisco Ruiz

Facultad de Ciencias Física y Naturales  
Instituto Geofísico Sismológico Volponi  
Universidad Nacional de San Juan  
San Juan, Argentina  
ORCID: 0000-0001-7444-557X

### Guillermo Domingo Pizarro

Facultad de Ciencias Física y Naturales  
Instituto Geofísico Sismológico Volponi  
Universidad Nacional de San Juan  
San Juan, Argentina  
ORCID: 0000-0001-5839-7192

### María Florencia Canero

Servicio de Hidrografía Naval  
Departamento de Oceanografía  
Ministerio de Defensa  
Buenos Aires, Argentina  
ORCID: 0000-0002-0081-5571

**RESUMEN:** Este trabajo presenta modelos 2D correspondientes a perfiles gravimétricos transversales al talud de la plataforma continental argentina con el propósito de caracterizar la constitución de la transición de la corteza continental-oceánica (COT) y la ubicación del borde cortical continental-oceánico (COB). Estos modelos se ubican offshore en el Mar Argentino en el margen continental pasivo volcánico y en el margen transforme. El modelado consistió en aproximar la gravedad observada a la gravedad calculada hasta obtener diferencias menores a 5 mGal. El cómputo de la gravedad calculada deriva de expresiones de las componentes vertical y horizontal de atracción gravitatoria de cuerpos bidimensionales de forma arbitraria. Los modelos se apoyaron en información geológica, sísmica y batimétrica de campañas oceanográficas. Además, se utilizó información previa como la interpretación de estructuras subyacentes, la profundidad de la discontinuidad de corteza-manto, la densidad y arquitectura de subplacado magmático y la densidad de los sedimentos oceánicos obtenida a partir de velocidades interválicas

<sup>1</sup> Este trabajo es parte de la tesis doctoral en Geofísica de María Alejandra Arecco.



provenientes del método sísmico. Las principales conclusiones a cerca de los modelos fueron: (1) el modelado gravimétrico caracterizó una COT cuyo espesor disminuye hacia el Este desde -29 a -6 km y su ancho no es menor a 120 km; (2) la densidad de las estructuras que la componen aumenta lateralmente respondiendo a una corteza continental atenuada con intrusión de material magmático; (3) la COT y el COB están fuertemente controlados por las zonas de transferencia; (4) el COB se presenta como una interfaz buzante hacia el mar, que divide al basamento mostrando abundante vulcanismo hacia el Este y un espesor cortical de ~6 km.

**PALABRAS CLAVE:** Modelado Gravimétrico 2D. Margen Continental Argentino. Corteza Continental-Oceánica De Transición. Borde Oceánico-Continental.

## CHARACTERIZATION OF THE TRANSITIONAL CRUST AND CONTINENTAL-OCEANIC CRUSTAL BOUNDARY IN THE ARGENTINE CONTINENTAL MARGIN

**ABSTRACT:** This work presents 2D models that match to gravity profiles transversal to the slope of the Argentine continental shelf whose purpose is to characterize the constitution of the continental-oceanic crustal transition (COT) and the location of the continental-oceanic crustal boundary (COB). These models are located in the Argentine Sea in the passive volcanic continental margin and in the transform margin. The modeling consists of approximating the observed gravity and the calculated gravity, until obtaining differences of less than 5 mGal. The computation of the calculated gravity is derived from expressions of the vertical and horizontal components of gravitational attraction of two-dimensional bodies of arbitrary shape. The models were based on geological, seismic and bathymetric information from oceanographic surveys. In addition, previous information was used, such as the interpretation of underlying structures, the depth of the crust-mantle discontinuity, the density and architecture of the magmatic subplate, and the density of oceanic sediments obtained from interval velocities from the seismic method. The main conclusions about the models were: (1) the gravimetric model characterized a COT whose thickness decreases towards the East from -29 to -6 km and its width is not less than 120 km; (2) the density of the structures that compose it increases towards the East in response to an attenuated continental crust with intrusion of magmatic material; (3) COT and COB are heavily controlled by transfer zones; (4) the COB appears as a dipping interface towards the sea, where the crustal thickness is ~6 km and abundant volcanism.

**KEYWORDS:** 2D Gravimetric Modeling. Argentine Continental Margin. Continental-Ocean Crust Transition. Continental-Oceanic Boundary.

## 1 INTRODUCCIÓN

Considerando el marco teórico de placas tectónicas concebido por Wegener, en la configuración tectónica regional, la plataforma continental argentina se encuentra en el extremo suroeste de la placa Sudamericana, sobre la parte austral de América del Sur (Figura 1). La estructura cortical de la porción sur de Sudamérica es el resultado de un *collage* de bloques continentales que a partir de la ruptura y separación del

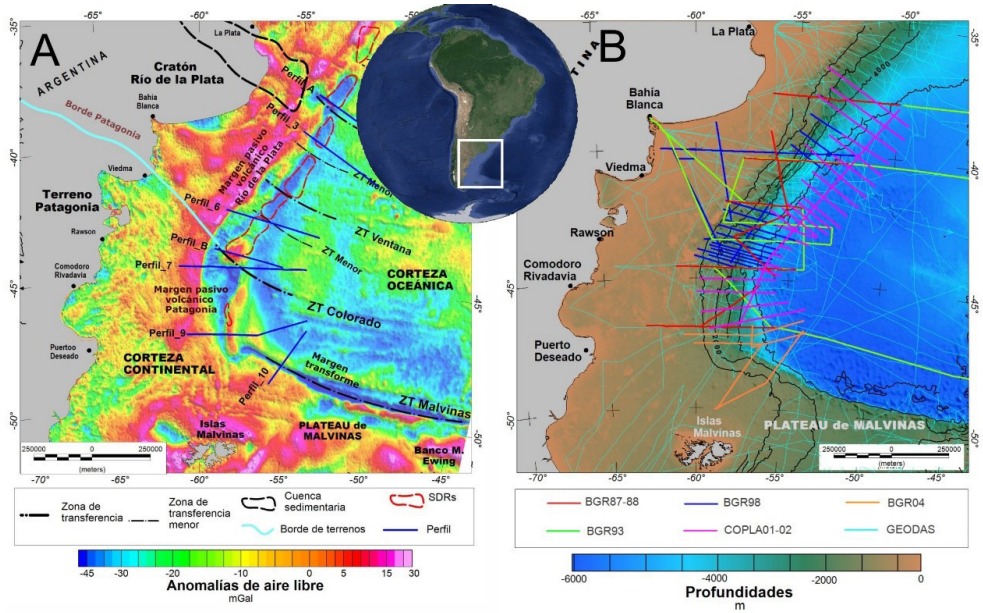
supercontinente Gondwana (~132 Ma), de Sur a Norte, experimentó un magmatismo diferenciado durante el proceso del rift. Este magmatismo, de diferente composición, presenta basaltos al Norte del Río Colorado (borde del terreno Patagonia) y asociaciones riolíticas al Sur (Ramos, 1996).

La plataforma continental, en términos fisiográficos, comprende diferentes márgenes continentales, un margen continental pasivo volcánico (MPV), con rumbo NE-SO, de 35°S a 49°S y un margen transforme o de cizalla (MCZ), que corre aproximadamente, hasta el Noroeste del Banco Maurice Ewing, de W-E de 57°W a 40°W. El primero, es un típico margen de rift, asociado a cuencas extensionales, altos basamentales y caracterizado por ocurrencia de magmatismo intrusivo generado durante la ruptura de la litosfera continental en el proceso de la apertura (Austin y Uchupi, 1982). Producto de la apertura del Océano Atlántico y expansión del fondo oceánico, el MPV está caracterizado por la presencia series de cuñas volcánicas buzantes hacia el mar (SDRs) (Hinz et al., 1999) que, a su vez, están controlados por zonas de transferencia que separan en segmentos dicho margen (Franke et al., 2007).

En el MPV, además, se pueden diferenciar dos márgenes separados por la Zona Transforme Colorado (ZT Colorado). Hacia el Norte se reconoce el margen del Cratón del Río de la Plata, que presenta SDRs y está segmentado por dos grandes zonas transformes: ZT Salado y ZT Ventana, y dos zonas transformes menores. Hacia el Sur de la ZT Colorado, se reconoce el margen Patagónico, el cual cambia de rumbo, adoptando la dirección N-S, y con exiguas SDRs. Por otra parte, el margen cizallado se caracteriza por presentar una prominente escarpa entre el Plateau de Malvinas y la corteza oceánica a través de la zona de falla/escarpa correspondiente a la Zona Transforme Malvinas (ZT Malvinas) / Escapa Agulhas–Malvinas (Figura 1 A y B).

A pesar de que es bien sabido que diferentes modelos pueden reproducir los datos observados, denominado “el problema de la ambigüedad”, en la naturaleza las estructuras geológicas no tienen una distribución arbitraria. Por lo que, imponiendo ciertas restricciones a los modelos basados en conocimientos geológicos y en la integración con otros conjuntos de datos independientes y restricciones, generalmente se llega a resultados sólidos (Nabighian et al., 2005). En este trabajo realizamos un modelado 2D de estructuras corticales del margen continental argentino a partir de las anomalías de aire libre (AAL) considerando como restricciones la información geofísica, proveniente del método sísmico, y la profundidad oceánica proveniente de campañas oceanográficas, dejando libres para modelar aquellas estructuras que por su densidad y profundidad sólo fueron captadas por la acción de la gravedad.

Figura 1. A: anomalías de aire libre (AAL) por Sandwell et al. (2014). Principales estructuras del Margen Continental Argentino y trazas de los perfiles gravimétricos modelados en 2D; B: profundidad del océano grilla ETOPO1 por Amante & Eakins (2009), isobatas cada 1000 m y trazado de campañas oceanográficas. Fondo: Abreviatura: ZT, zona transforme.



El modelado gravimétrico 2D consistió en obtener modelos, cuyas características de densidad, profundidad y forma, satisfagan los perfiles del campo gravimétrico observado.

El propósito de realizar un modelado gravimétrico 2D fue, en general, contribuir al conocimiento del margen continental argentino y en particular, caracterizar la transición entre las cortezas continental y oceánica (COT) y determinar el borde continental-oceánico (COB). Las unidades o bloques más representativas de los modelos en los tres tipos de márgenes fueron: las capas de agua y sedimentos, los bloques de las cortezas continental y oceánica (superior e inferior) y el manto litosférico. Mientras que, según el tipo de margen, se modeló el subplacado, estructuras menores como las cuñas inclinadas hacia el mar (SDRs), corteza de transición, diques de alimentación magmática y zonas de acomodación en las fallas/zonas transformes.

## 2 DATOS

Los datos de gravedad (AAL), profundidades oceánicas y sísmicos están compuestos por diversas fuentes provenientes de campañas oceanográficas de: la base de datos geofísicos en su versión digital en DVD de GEODAS del Centro Nacional de

Datos Geofísicos (NGDC) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, EEUU), por la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA, Argentina) y por el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR, Alemania) (Figuras 1 A y B). Además, se completaron las AAL con el modelo global satelital según Sandwell et al. (2014) disponible en <https://topex.ucsd.edu/pub/synbath/> (Figura 1 A) y las profundidades oceánicas con el modelo global ETOPO1 según Amante y Eakins (2009) para (Figura 1 B) disponible en [www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html).

Por otra parte, la información de la profundidad de la discontinuidad de Mohorovičić fue tomada del Modelo Argentino por Inversión Gravimétrica (AMGI) de acuerdo a la metodología empleada por Arecco et al. (2016) y la inversión magnética de la Cuenca Argentina según Pizarro et al. (2020). Además, fueron tomadas las imágenes sísmicas y el modelo del espesor sedimentario de las campañas oceanográficas llevadas a cabo por el BGR y por la COPLA y presentados por Paterlini, et al. (2017). La información sísmica de estructuras subyacentes bajo el basamento cristalino se obtuvo de Hinz et al. (1999), Franke et al. (2007), Schnabel et al. (2008) y Becker et al. (2012).

Para restringir el modelado se utilizaron: el fondo marino, el espesor sedimentario, estructuras identificadas e interpretadas proveniente de la información sísmica, como interfaces de estratos sedimentarios, el basamento cristalino, las SDRs, volcanes, fallas y demás superficies reflectantes.

Las densidades de las principales unidades, que conforman las estructuras del margen, fueron tomadas de Introcaso et al. (2003), las cuales fueron de  $1027 \text{ kg.m}^{-3}$  para el agua marina ( $\rho_w$ ),  $2670 \text{ kg.m}^{-3}$  para la corteza continental superior (CCS) ( $\rho_{CS}$ ),  $2900 \text{ kg.m}^{-3}$  para la corteza continental inferior (CCI) ( $\rho_{CI}$ ) y  $3300 \text{ kg.m}^{-3}$  para el manto ( $\rho_m$ ). Por otro lado, la densidad adoptada para los sedimentos marinos ( $\rho_s$ ) fue de  $2400 \text{ kg.m}^{-3}$  según Arecco et al. (2016) quienes calcularon  $\rho_s$ , según Gardner et al. (1974), a partir de las velocidades interválicas de las ondas compresionales de la sísmica multicanal obtenida en las campañas oceanográficas realizadas por la COPLA en forma transversal al talud y a la emersión continental. Por otra parte, se tomó la densidad del subplacado magmático de los trabajos de Schnabel et al. (2008) y de Becker et al. (2014).

### 3 MÉTODOLÓGÍA

El modelado gravimétrico de este trabajo fue un proceso interactivo de construcción de modelos estructurales del margen continental argentino, obtenido a partir de datos de gravedad y de restricciones impuestas por información proveniente de otros métodos geofísicos mencionados anteriormente en Datos.

Esta metodología consistió en ajustar la gravedad calculada a la observada, con un software interactivo hasta obtener diferencias menores a 5 mGal. En el cómputo de la gravedad calculada se utilizaron inicialmente las densidades aproximadas según Introcaso et al. (2003), Schnabel et al. (2008), Becker et al. (2014) y Arecco et al. (2016) las cuales, se fueron modificando levemente en el proceso de ajuste entre la gravedad observada y la gravedad calculada. Por otra parte, en el mismo proceso de ajuste, se respetó la geometría de las estructuras subyacentes interpretadas y se crearon nuevas y plausibles estructuras de un margen pasivo volcánico no registradas por métodos sísmicos. El software utilizado en el modelado gravimétrico está basado en el algoritmo de Talwani et al. (1959).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, se presentan siete modelos tectónicos realizados por modelado gravimétrico, cuyo trazado es transversal al margen continental, correspondientes a siete perfiles cuya ubicación se puede ver en la Figura 1A.

### 4.1 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL A

La traza del perfil A, correspondiente a ARG-02 según Paterlini et al. (2017), se ubica transversal al margen y paralela muy próxima a la ZT del Salado (Figura 1). El perfil gravimétrico presenta hacia el W las características típicas del “efecto de borde” correspondiente al cambio brusco de profundidad oceánica a través de un máximo seguido de un mínimo profundo. Hacia el Este, en cambio, el perfil gravimétrico (AAL) presenta características particulares, pues muestra un aumento en los valores de gravedad asociados a la presencia del importante espesor sedimentario de la cuenca del Salado (Figura 2).

En el modelo se identifican estructuras no registradas por métodos sísmicos, como la corteza continental inferior, oceánica inferior y de transición, un bloque de diques volcánicos y un cuerpo de alta velocidad o subplacado muy delgado (Figura 2, modelo). El modelo ajustó las gravedades con una diferencia menos a 5 mGal (Figura 2 curva de gravedad) con las densidades de la Tabla 1.

Figura 2. Modelo gravimétrico del perfil A.

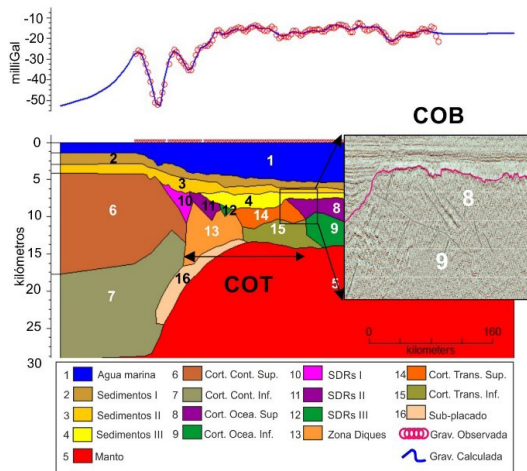


Tabla 1. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico A.

Nº	Unidades	Densidad (kg.m <sup>-3</sup> )
1	Agua marina	1030
2	Sedimentos I	2250
3	Sedimentos II	2380
4	Sedimentos III	2420
5	Manto	3300
6	Corteza continental superior	2670
7	Corteza continental inferior	2920
8	Corteza oceánica superior	2850
9	Corteza oceánica inferior	2900
10	SDR	2720
11	SDR	2750
12	SDR	2780
13	Zona de diques de intrusión magmática	2800
14	Corteza de transición superior	2810
15	Corteza de transición inferior	2880
16	Subplacado magmático	3100

Este modelo presentó una COT de ~160 km compuesto por SDRs, una zona de diques de alimentación subyacente a los anteriores y una corteza atenuada de transición superior e inferior asociada a flujos volcánicos planos. El ancho concuerda con la proximidad a la ZT y las densidades de este grupo de estructuras ajustan con la acción de la ruptura de la corteza continental y la extrusión de material magmático intrusivo posterior.

El COB se ubica en la interfaz entre las cortezas oceánica y de transición mostrando un buzamiento hacia el mar producto de la expansión de la ruptura de Gondwana (ver recuadro de la Figura 2). Este COB se ubica en un alto basamental, al Este del gran espesor sedimentario correspondiente a la Cuenca Argentina offshore y donde el espesor cortical es de aproximadamente 6 km (Figura 2, modelo).

#### 4.2 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL 3

El perfil 3, correspondiente a ARG-06 según Paterlini et al. (2017), se ubica entre las ZT del Salado y Ventana (Figura 1A). El perfil de AAL presenta el típico “efecto de borde” mostrando un máximo seguido de un mínimo con una amplitud máxima entre el máximo y el mínimo del doble que el perfil anterior (>50 mGal) (Figura 3, curva de gravedad).

Figura 3. Modelo gravimétrico del perfil 3.

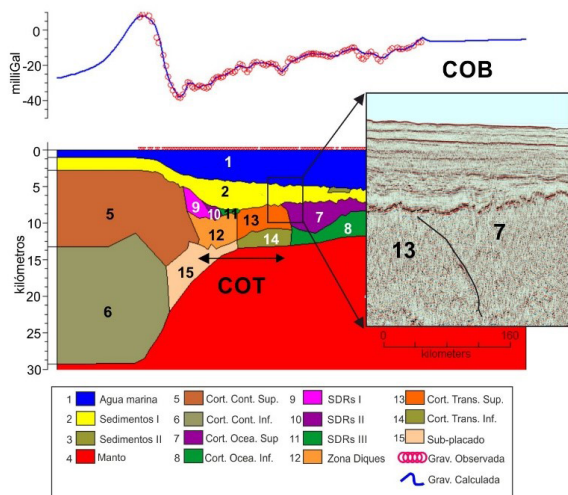


Tabla 2. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico 3.

Nº	Unidades	Densidad (kg/m³)
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos	2420
3	Sedimentos II	2300
4	Manto	3300
5	Corteza continental superior	2670
6	Corteza continental inferior	2920
7	corteza oceánica superior	2800
8	Corteza oceánica inferior	2930
9	SDR	2700
10	SDR	2750
11	SDR	2780
12	Zona de diques de intrusión magmática	2770
13	Corteza de transición superior	2780
14	Corteza de transición inferior	2890
15	Subplacado magmático	3090

Se modelaron en el perfil gravimétrico el mismo tipo de unidades estructurales que en el perfil A, cuyas densidades se indican en la Tabla 2.

Vale destacar que, el cuerpo de alta velocidad o subplacado resultó de mayor espesor que en el caso anterior (Figura 3, modelo). La COT resultó con un ancho de -130 km, inferior al anterior, donde se modelaron estructuras del mismo tipo y características que en el perfil anterior.

El COB resultó interfaz entre la corteza de transición y la oceánica con un leve buzamiento hacia el Este, donde el basamento deja de ser liso y pasa a ser rugoso (ver recuadro de la Figura 3). Una de las características que identifica al COB y se repite en este perfil es el emplazamiento donde el espesor cortical alcanza valores típicos de corteza oceánica, es decir, -6 km (Figura 3, modelo).

### 4.3 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL 6

El perfil 6, correspondiente a ARG-19 según Paterlini et al. (2017), se encuentra entre las ZT Ventana y del Colorado, cruzando una ZT Menor (Figura 1A). El perfil de AAL presenta características propias pues los valores del perfil gravimétrico descienden hacia el Este, razón por la cual el perfil se ve altamente atenuado, así como el espesor sedimentario y cortical (Figura 4, curva). Los tipos de estructuras modeladas son como los tipos en perfiles precedentes. Las densidades utilizadas en el modelado se muestran en la Tabla 3.

Figura 4. Modelo gravimétrico del perfil 6.

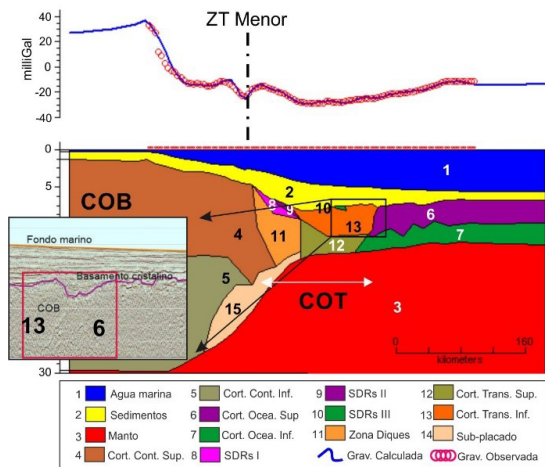


Tabla 3. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico 6.

Nº	Unidades	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos	2450
3	Manto	3300
4	Corteza continental superior	2670
5	Corteza continental inferior	2920
6	Corteza oceánica superior	2840
7	Corteza oceánica inferior	2910
8		2700
9	SDR	2770
10		2810
11	Zona de diques de intrusión magmática	2760
9	Corteza de transición Superior	2800
10	Corteza de transición Inferior	2890
11	Subplacado magmático	3100

El modelo muestra una COT de unos 140 km de ancho pues está controlada por la ZT Menor del margen. El modelo permitió ajustar un subplacado diferenciado en dos espesores, según se encuentre en un lado o el otro de la ZT Menor que está cruzando el perfil.

El COB se ubicó donde el espesor cortical alcanza ~6 km – valor típico de corteza oceánica – y resultó con buzamiento hacia el continente debido probablemente a la cercanía de la ZT Menor por un esfuerzo de cizalla (Figura 4, modelo). También el COB está asociado a un alto en el basamento y un cambio en la rugosidad en el mismo (Figura 4, recuadro). Este modelo resulta coherente con el subplacado presentado por Schnabel *et al.* (2008) distante 36 km al Sur de este perfil.

#### 4.4 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL B

El perfil B, correspondiente a ARG-23 según Paterlini *et al.* (2017), se encuentra próximo a la ZT del Colorado inmediatamente al Norte de esta y además cruza transversalmente una anomalía positiva de forma casi circular cuya amplitud supera los 65 mGal (Figura 1 A). El modelado gravimétrico 2D permitió atribuir ese máximo al importante espesor sedimentario del perfil gravimétrico (Figura 5, arriba). Además, la COT muestra cuerpos más extendidos en longitud que los anteriores alcanzando un ancho de ~170 km y un subplacado más horizontal, como si este hubiera sufrido fuerzas de extensión.



Figura 5. Modelo gravimétrico del perfil B.

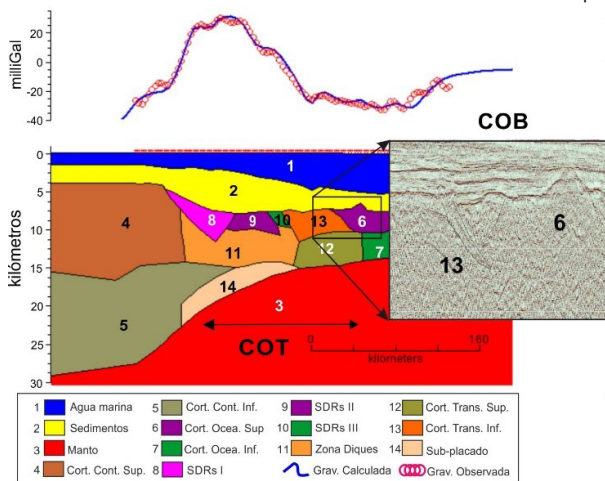


Tabla 4. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico B.

Nº	Unidades	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos	2450
3	Manto	3300
4	Corteza continental superior	2670
5	Corteza continental inferior	2920
6	Corteza oceánica superior	2870
7	Corteza oceánica inferior	2930
8	SDR	2740
9	SDR	2750
10	SDR	2800
11	Zona de diques	2790
12	Corteza de transición inferior	2860
13	Corteza de transición superior	2810
14	Subplacado magmático	3100

En este caso como en los anteriores las SDRs que, en cuanto a su forma y profundidad fueron tomados de la sísmica, resultaron con densidades crecientes hacia el Este dando cuenta de una paulatina mutación del material granítico al basáltico asociada a la atenuación de la corteza continental y posterior creación de corteza oceánica basáltica. Las densidades utilizadas en el modelado se ven en la Tabla 4.

El COB se encuentra en una interfaz entre cortezas de transición y oceánica, como en casos anteriores, en corteza atenuada de unos 6 km de espesor y con un leve buzamiento hacia el Este a poca distancia de un alto basamental cónico.

#### 4.5 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL 7

El perfil 7, correspondiente a BGR87-04 según Hinz et al. (1999), cruza la ZT del Colorado de modo que la mitad occidental del perfil se encuentra en el MPV Patagónico y la mitad oriental en la corteza oceánica (Figura 1 A). En el modelado de este perfil se tuvieron en cuenta las densidades de la Tabla 5 y su tectónica y la deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles de acuerdo a condiciones de temperatura y profundidad.

Este modelo se caracteriza por presentar señales de fallas normales e inversas en la corteza continental producto del esfuerzo provocado por la fuerza que generó la ZT Colorado. El modelo ajustó sobre esta zona transforme una zona de deformación entre corteza continental (bloque 9), un gran dique (bloque 10) y una zona intensamente fallada (bloque 12), posiblemente producto de la rotación y separación de Gondwana y del desplazamiento en cizalla provocado por desplazamientos corticales a diferentes

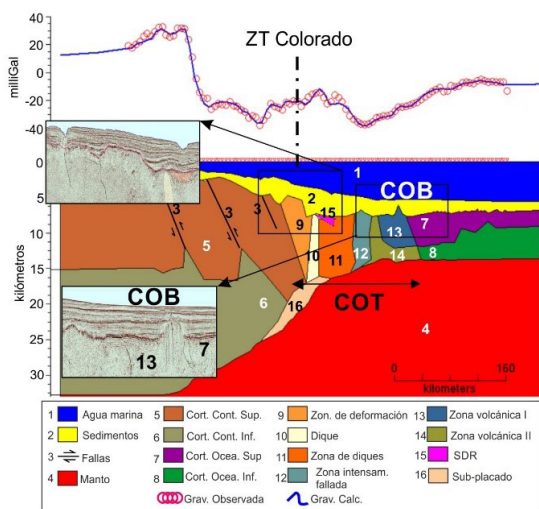
velocidades al Norte respecto del Sur de la ZT Colorado (Figura 6). En el recuadro de la sísmica se pueden ver los topes de los bloques mencionados anteriormente.

Además, este perfil presentó dos altos basamentales como zonas volcánicas (bloques 13 y 14), denominadas así por presentar una estructura que se podría asociar a un volcán por la aparente presencia de chimeneas delgadas y la posibilidad de alimentarse desde alguna cámara en la corteza oceánica.

De igual modo que en los perfiles anteriores sobre el subplacado se presenta una zona de dique y encima de este, aunque, muy pequeña, una cuña de SDR. La COT es la más extensa de todos los modelos tiene 180 km de ancho donde se muestran los bloques característicos de modelos precedentes y se agregaron, hacia el Este de la ZT Colorado, una zona de deformación, una zona fallada y dos zonas volcánicas. El COB resultó más al Este de la zona volcánica en corteza atenuada donde el espesor es de ~6 km.

Figura 6. Modelo gravimétrico del perfil 7.

Tabla 5. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico.



Nº	Unidades	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos	2450
3	Fallas	-
4	Manto	3300
5	Corteza continental superior	2670
6	Corteza continental inferior	2940
7	Corteza oceánica superior	2810
8	Corteza oceánica inferior	2910
9	Zona de deformación	2770
10	Dique	2800
11	Zona de diques	2840
12	Zona intensamente fallada	2720
13	Zona volcánica I	2800
14	Zona volcánica II	2860
15	SDR	2800
16	Subplacado magmático	3150

El modelado gravimétrico, contribuyó al conocimiento de la estructura de la zona transforme del Colorado, pues, permitió presentar la complejidad correspondiente a la acción combinada de los esfuerzos de extensión y cizalla, a los que fue sometido el margen continental. En el modelo se ven reflejados los esfuerzos a través de grandes fallas normales en la corteza continental, un gran dique y una zona de acomodación con forma de cuña, adyacente, que devela un desplazamiento vertical del bloque 9 sometido a procesos de compresión y deslizamiento en cizalla.

#### 4.6 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL 9

El perfil 9, correspondiente a ARG-30-31 según Paterlini et al. (2017), se ubica en el MPV Patagónico y, además, cruza la anomalía positiva de forma elongada en sentido N-S paralela al borde del margen continental (Figura 1 A). El perfil gravimétrico presenta una amplitud máxima de 60 mGal exponiendo un particular efecto de borde mostrando dos máximos y dos mínimos (Figura 7, arriba). La forma particular del perfil gravimétrico observado ajustó considerando una serie de depósitos sedimentarios progradantes sobre los depósitos inferiores o más antiguos.

El modelado gravimétrico 2D permitió atribuir ese máximo al importante espesor sedimentario del perfil gravimétrico (Figura 7, arriba) además, zonas de diques y/o transición (Figura 7, modelo). Las densidades de los bloques resultaron crecientes hacia abajo y hacia el este (Tabla 6).

El modelo no presenta subplacado, ni SDR, debido a que no fueron registrados por métodos sísmicos. Por otra parte, el modelo presentó una transición entre cortezas (COT) de 150 km de ancho y un espesor, alrededor de 6 km, para las cortezas la transición. Estas particularidades se presentaron solamente en el MPV Patagónico.

Figura 7. Modelo gravimétrico del perfil 9.

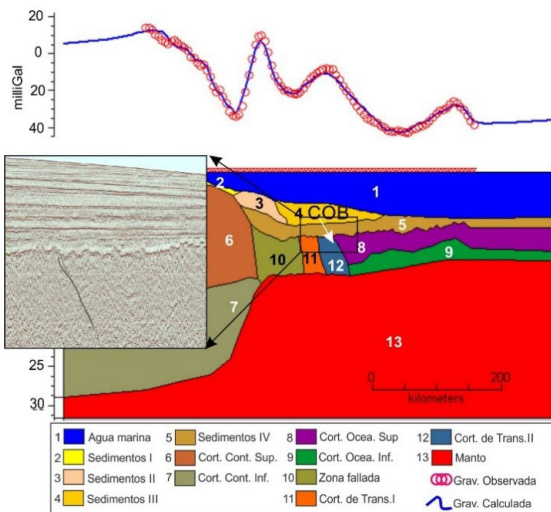


Tabla 6. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico.

Nº	Unidades	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos I	2210
3	Sedimentos II	2410
4	Sedimentos III	2400
5	Sedimentos IV	2450
6	Corteza continental superior	2670
7	Corteza continental inferior	2920
8	Corteza oceánica superior	2880
9	Corteza oceánica inferior	2950
10	Zona de fallas	2760
11	Corteza de transición I	2780
12	Corteza de transición II	2810
13	Manto	3300

El COB se ha ubicado, donde el angostamiento cortical es de 6 km y la rugosidad de basamento se hace más notoria incluso, puede interpretarse en la imagen sísmica (véase recuadro de la Figura 7). Por otra parte, de igual modo que la mayoría de los modelos precedentes, el COB ajustó como una interfaz con buzamiento hacia el mar.

## 4.7 MODELADO GRAVIMÉTRICO 2D DEL PERFIL 10

El perfil 10, correspondiente a ARG-105-31 según Paterlini et al. (2017), se ubica sobre el margen continental transforme, transversal a la escarpa de Malvinas en sentido SW-NE. El perfil gravimétrico presenta un desarrollo típico de los casos de escarpa, reforzado por el angostamiento cortical, *i.e.*, el pasaje abrupto de corteza continental a oceánica.

En el modelo se muestra un gran dique o zona de acomodación correspondiente a una gran falla de cizalla. Esta última puede interpretarse en la línea sísmica (ver el recuadro de la Figura 8). El modelo del perfil 10 presentó la geometría correspondiente a un margen transforme, destacándose el gran angostamiento de la corteza al pasar de la corteza continental (30 km) a oceánica (6 km). El modelado no mostró una COT.

Este modelo presentó el COB con buzamiento casi nulo, muy próximo al pie de la escarpa. En general el modelo resultó coherente presentando bloques constitutivos cuyas densidades son coherentes con las densidades de los modelos anteriores (Tabla 7).

Figura 8. Modelo gravimétrico del perfil 10.

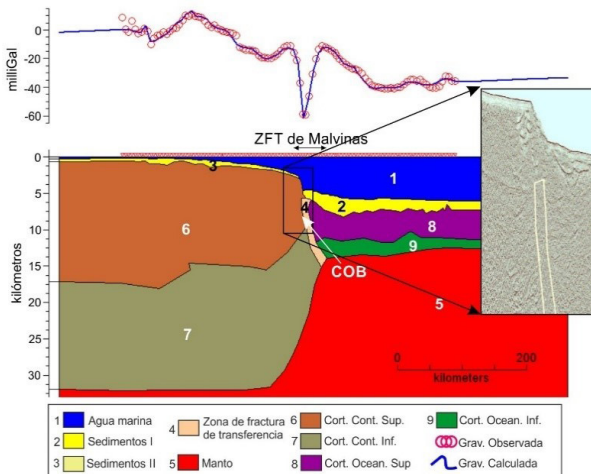


Tabla 7. Densidades utilizadas en el modelo del perfil gravimétrico 10.

Nº	Unidades	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Agua marina	1027
2	Sedimentos I	2420
3	Sedimentos II	2400
4	Zona de fractura de transforme	2790
5	Manto	3300
6	Corteza continental superior	2670
7	Corteza continental inferior	2920
8	Corteza oceánica superior	2790
9	Corteza oceánica inferior	2890

## 5 CONCLUSIONES

El modelado gravimétrico 2D representó un importante aporte para comprender la arquitectura del margen, completando información sobre la forma y e inmersión, de las estructuras profundas de la corteza, tales como corteza continental, de transición y oceánica, superior e inferior y, además, subplacado magmático, zonas de diques y de acomodación.

Los valores de densidad de las estructuras aumentan de W-E y de arriba hacia abajo, de acuerdo con la compensación isostática propia de un margen de rift pasivo

volcánico. Esta característica se repitió en las cuñas de SDR. Por otra parte, las densidades utilizadas no difieren más de un 5 % de un modelo a otro.

El ajuste entre la gravedad observada y la del modelo resultó inferior a 2,5 mGal, lo cual representa un ajuste muy bueno considerando que  $\pm 5$  mGal representa un cambio en la profundidad del fondo marino de  $\pm 100$  m.

Las dos formas máximas de anomalías gravimétricas positivas, de gran extensión en el margen pasivo volcánico del Río de la Plata y Patagónico, de formas particulares, una circular y otra alargada se explicaron a partir del importante espesor sedimentario y se atribuyeron a la progradación de los sedimentos de la zona.

En cuanto a la determinación del COB, en todos los casos el método lo ubicó en zonas cuyo espesor cortical osciló entre los 6 a 7 km, de acuerdo al concepto de borde continental y confirmando el modelo de profundidad del Moho por inversión. Además, en la mayoría de los modelos el COB se mostró con un buzamiento hacia el mar.

La COT presentó una diferenciación según el tipo de margen y la distancia a una zona de transferencia. En la mayoría de los casos alcanzó un ancho de  $\sim 150$  km en el MPV, mientras que en el MCZ la separación entre las cortezas continental y oceánica se modeló solamente con una estrecha zona de acomodación.

El perfil gravimétrico se mostró sensible al relieve del fondo marino, y al abrupto cambio en el espesor cortical y la densidad, ya que, no hubo corteza de transición.

## 6 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente realizado a través del proyecto de investigación de María Alejandra Arecco, financiado por los proyectos PNUDARG06/018, PNUDARG10/009 y PICT 2012/2716 ANPCYT (Argentina). Los autores agradecen a COPLA (Argentina) y BGR (Alemania) por el permiso para utilizar datos de velocidad de onda de compresión, interpretaciones sísmicas multicanal de basamento cristalino, espesor de sedimentos, batimetría y bases de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANTE, C., EAKINS, B.W., (2009). ETOPO1. 1 Arc-Minute Global Relief Model Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, National Geophysical Data Center, NOAA, doi:10.7289/V5C8276M.

ARECCO M. A., RUIZ F., PIZARRO G., GIMÉNEZ, M.E., MARTÍNEZ, M.P. AND RAMOS, V., (2016). Gravimetric determination of the continental-oceanic boundary of the Argentine continental margin (from 36°S to 50°S), *Geophys. J. Int.*, **204**, 366–385. doi: 10.1093/gji/ggv433.

AUSTIN, J.A. AND UCHUPI, E., (1982). Continental-Oceanic crustal transition of southwest Africa, *AAPG Bull.*, **66**, 1328–1347.

BECKER K., FRANKE D., SCHANBEL M., et al., (2012). The crustal structure of the southern Argentine margin, *Geophys. J. Int.*, **189**, 1483–1504. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05445.x.

FRANKE, D., NEBEN, S., LADAGE, S. et al., (2007). Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic, *Mar. Geol.*, **244**, 46–67.

GARDNER, G.H.F., GARDNER, L.W. & GREGORY, A.R., (1974). Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics*, **39**, 770–780.

HINZ, K., NEBEN, S., SCHRECKENBERGER, B. et al., (1999). The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup, *Marine and Petroleum Geology*, **16**, 1–25.

INTROCASO, A., GHIDELLA, M.E., RUIZ, F. et al., (2003). Métodos gravi-magnetométricos modernos para analizar las características estructurales de la plataforma continental argentina, *Geoacta*, **33**, 1–20.

NABIGHIAN, M.N., GRAUCH, V.J.S., LI, Y. et al., (2005). The historical development of the magnetic method in exploration, *Geophysics*, **70**, 33ND–61ND.

PATERLINI, M. et al., (2017). El margen continental argentino entre los 35° y 55° de latitud Sur en el contexto del artículo 76° de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar. Ed. Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental, Buenos Aires, 453 p.

PIZARRO, G., RUIZ F., ARECCO M.A., GHIDELLA M., (2020). Profundidad del Punto de Curie y Flujo Térmico en la Zona de Cuencas Offshore de Argentina, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V. 37, N°2, 26–39.

RAMOS, V.A., (1996). Evolución tectónica de la Plataforma Continental, Geología y Recursos de la Plataforma Continental, in *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina* eds. pp 385–404, Ramos, V.A. & Turic, M.A., Relatorio XIII° Congreso Geológico Argentino y III° Congreso de Exploración de Hidrocarburos.

SANDWELL, D. T., GOFF, J. A., GEVORGIAN, J., HARPER, H., KIM, S.-S., YU, Y., et al. (2022). Improved bathymetric prediction using geological information: SYNBATH. *Earth and Space Science*, 9, e2021EA002069. <https://doi.org/10.1029/2021EA002069>.

SANDWELL, D. T., R. D. MÜLLER, W. H. F. SMITH, E. GARCIA, R. FRANCIS, (2014). New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure, *Science*, Vol. 346, no. 6205, pp. 65–67, doi: 10.1126/science.1258213.

SCHNABEL, M. Franke D., Engels M. et al., (2008). The structure of the lower crust at the Argentine continental margin, South Atlantic at 44°S, *Tectonophysics*, 454, 14–22.

TALWANI, M., WORZEL, J.L. & LANDISMAN, M., (1959). Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, *J. Geophys. Res.*, 64 (1), 49–59.

# CAPÍTULO 10

## HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SUBMARINE GROUNDWATER DISCHARGES AT OLHOS DE ÁGUA, ALGARVE, PORTUGAL – FREEZE PROJECT

Data de submissão: 15/01/2023

Data de aceite: 03/02/2023

**Francisco Leitão**

CCMAR – Centro de Ciências do Mar  
Universidade do Algarve  
Faro, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0003-4983-9782>

**Fátima Sousa**

MARE – Centro de Ciências do  
Mar e do Ambiente  
ARNET – Aquatic Research Network  
Faculdade de Ciências  
Universidade de Lisboa (FCUL) &  
Departamento de Engenharia  
Geográfica, Geofísica e Energia  
DEGGE/FCUL  
Lisboa, Portugal  
<http://orcid.org/0000-0002-4174-4415>

**Pedro Range**

Environmental Science Center  
Qatar University  
Doha, Qatar  
<https://orcid.org/0000-0002-9269-2416>

**Gabriela Carrara**

Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Bologna, Italia  
<https://orcid.org/0000-0002-5172-0820>

**Helena Frazão**

Leibniz Institute for  
Baltic Sea Research  
Rostock, Germany  
<https://orcid.org/0000-0001-5477-1802>

**Judite Fernandes**

LNEG – Laboratório Nacional de  
Energia e Geologia  
Amadora, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-9520-1240>

**Dmitri Boutov**

Faculdade de Ciências  
Universidade de Lisboa  
Lisboa, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-8530-4369>

**ABSTRACT:** The name of the small village Olhos de Água, in Algarve, is associated with the existence of freshwater springs visible at the beach, during low tide. These springs have also been identified on the continental shelf, just in front of the beach, often observed from shore in days of calm sea. In the frame of the R&D project “FREEZE – Submarine Freshwater DischargEs: characteriZation and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem”, three oceanographic surveys took place in November 2012, April 2013 and November 2013 in the Olhos de Água region, to study the thermohaline characteristics of the Submarine Groundwater Discharges

(SGDs). The analysis of the 196 CTD stations carried out during the surveys, allowed the identification of the SGDs sources, based on low salinities found near the bottom or along the water column.

**KEYWORDS:** Submarine Groundwater Discharge (SGD). CTD. Olhos de Água. Algarve. Portugal.

## CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DAS DESCARGAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NOS OLHOS DE ÁGUA, ALGARVE, PORTUGAL – PROJECTO FREEZE

**RESUMO:** O nome da pequena vila de Olhos de Água, no Algarve, está associado à existência de nascentes de água doce, visíveis na praia durante a maré vazia. Estas nascentes foram também identificadas na plataforma continental, frente à praia, sendo bem visíveis da costa, particularmente em dias de mar calmo. No âmbito do Projecto de I&D “FREEZE - Submarine Freshwater Discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem”, realizaram-se 3 campanhas oceanográficas em Novembro 2012, Abril 2013 e Novembro 2013 na região dos Olhos de Água, para estudar as características termohalinas das Descargas de Águas Subterrâneas (DAS). A análise das 196 estações CTD, realizadas durante as 3 campanhas, permitiram identificar as fontes das DAS, baseadas nos baixos valores de salinidade junto ao fundo ou na coluna de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Descargas de Águas Subterrâneas (DAS). CTD. Olhos de Água. Algarve. Portugal.

### 1 INTRODUCTION

The existence of inter- and subtidal springs of fresh to brackish water at the Olhos de Água beach (Algarve, southern coast of Portugal) has been known for a long time, being the name of the small fishermen village historically related to these “water eyes” (in Portuguese, *olheiros*) still observed nowadays, at the beach during low tide. These springs have also been identified at sea, just in front of the beach, as they can be observed from shore during days of calm sea (FREEZE, 2014). When the outflows are very strong, they can drift the small boats of the local fishermen. The discharges with high flow have a surface signature characterized by the reduction of roughness due to the sudden change in densities, derived from the sharp salinity contrasts between submarine springs waters and seawater (UNESCO, 2004).

The R&D project “FREEZE – Submarine FRESHwater discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem” took place in the period January 2010 – December 2013 and its main objective was the study of the Submarine Groundwater Discharges (SGDs) at sea in the Olhos de Água region.

The southern coast of Portugal is characterized by an important development of the tourism sector, particularly demanding in water supply directly but also indirectly



for the irrigation of the numerous hotels, resorts and golf courses flanking the coast. Furthermore, the water abstraction for agricultural purposes, such as the irrigated market gardening, represents a significant need of water. The vegetation is mainly composed of citrus tree used for cultivation and other commercially attractive trees such as olive, almond and cork oak trees. This is the reason why the identification and quantification of groundwater submarine discharges are crucial for water and ecosystem management in the Algarve.

In this study SAR (Synthetic Aperture Radar) imagery was used to identify surface signatures of potential submarine groundwater discharges (SGDs) over the continental shelf off Olhos de Água. This information was very helpful for the station array conducted during the oceanographic campaigns described further ahead.

The objective of this study consisted in the identification of the SGDs over the continental shelf in the region of Olhos de Água and the characterization of the physical properties of the waters coming from the submarine springs. To achieve those objectives, three oceanographic cruises were conducted in November 2012, April 2013 and November 2013.

## 2. DATA AND METHODS

### 2.1 SATELLITE IMAGERY

In the frame of FREEZE project, 10 SAR images obtained during particularly rainy winters were processed and analyzed to look for patterns of sea surface roughness that could be associated with the presence of SGDs.

The winter periods were chosen because precipitation is, in general, more abundant and the SGD activity is stronger. Previous studies indicated that SGD fluxes are higher after periods of heavy rain (e.g. Garcia-Solsona *et al.*, 2010; Cave and Henri, 2011).

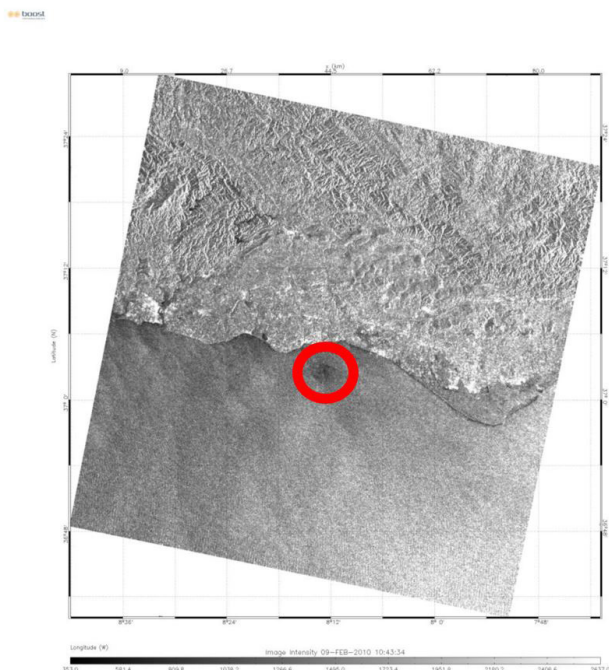
Those patterns, usually called slicks, identify areas where capillary and small gravity waves are attenuated, and the surface roughness is reduced. The smoothed areas appear darker on SAR imagery compared with the usually wind-roughened surrounding ocean, which appears brighter on those images.

These slicks could represent the surface signature of the SGDs, where less dense water discharging from the submarine springs reach the surface.

One image obtained in 9 February 2010, at 10:43 UT, during a particularly rainy winter, is presented in Fig. 1; this image, with a 75-m ground resolution, shows an excellent example of a slick, just in front of Olhos de Água beach, thus indicating a potential location of SGDs (Sousa *et al.*, 2014). The slick presents an almost circular shape, with a diameter

of about 3.5-4.0 km, and is identified by a red circle in the figure. The geographical location of the slick was crucial for the planning of the CTD station array to occupy during the surveys, being essential to cover not only the areas where the SGDs could be found but also the surrounding waters with coastal oceanic thermohaline properties.

Figure 1 - SAR image obtained on 9 February 2010, at 10:43 UT, during a particularly rainy winter. The slick, represented by a dark area in front of Olhos de Água and identified by a red circle, could indicate the potential location of the SGDs.



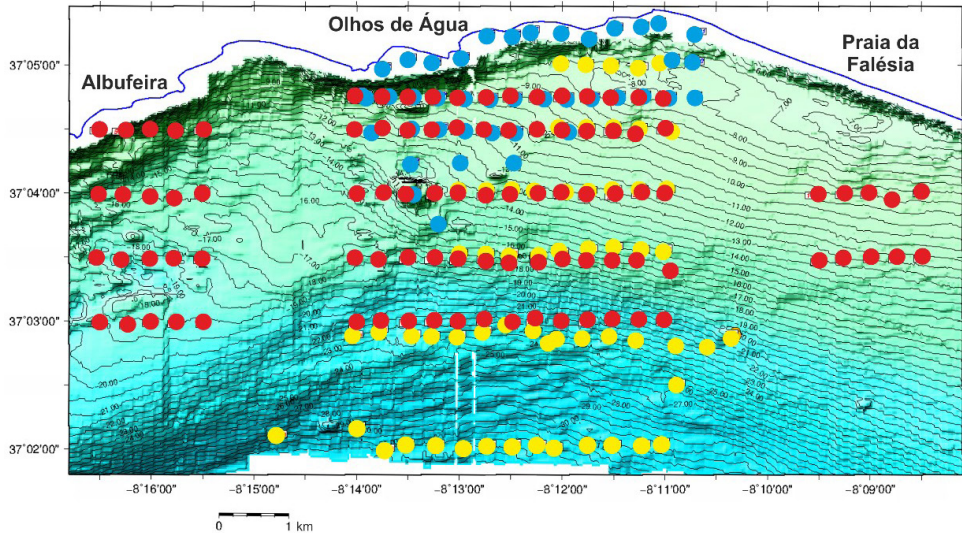
## 2.2 CTD SURVEYS

Three CTD (Conductivity, Temperature and Depth) surveys were conducted in the Olhos de Água area in the period November 2012-November 2013, on board the “Ecorecursus I” boat belonging to the Centro de Ciências do Mar da Universidade do Algarve (CCMAR/UAlg). The small dimensions of the boat forced to operate inside the limit of 3 n.m. from the coast ( $\approx 5.6$  km).

During the first survey, which took place on 6 November 2012 (Nov/2012 survey), 59 CTD stations were carried out over the continental shelf off Olhos de Água, with depths ranging from 8 to 30 m. These stations are represented by yellow circles in Fig. 2.

The second campaign took place on 9 April 2013 (Apr/2013 survey) and 42 CTD stations were carried out in a very shallow area, with depths ranging between 2 and 14 m – see the stations represented by light blue circles in Fig. 2.

Figure 2 - Location of the 196 CTD stations carried out during the three surveys: Nov/2012 (59 circles in yellow), Apr/2013 (42 circles in blue) and Nov/2013 (20+65+10 circles in red) (from Frazão, 2016).



On 11-12 November 2013, a third oceanographic campaign (Nov/2013 survey) was carried out aiming to repeat the stations where the analysis of the CTD data from the two previous surveys, revealed the presence of salinity minima in the water column. In this last survey, 95 stations were completed: 65 in the Olhos de Água area (the same area covered in the previous two surveys), 20 stations located westwards, just in front of Albufeira and 10 more stations located eastwards, in front of Praia da Falésia. The whole set of 95 stations are represented by red circles on Fig. 2.

The Albufeira and Praia da Falésia areas were chosen as locations where supposedly there were no submarine springs, constituting the “non-SGDs referee places”. These non-SGDs areas could help in the identification of waters with a coastal oceanic origin in contrast with the waters influenced by submarine springs over the continental shelf off Olhos de Água.

The CTD data were collected with a relatively high-density station array, with an average distance between stations of about 500 m. During the 3 surveys, and apart from the 30 non-SGDs stations, a total of 166 (59+42+65) CTD stations were carried out in the Olhos de Água area.

The positioning system used during the first survey was a Garmin GPSMAP® 60CSX without differential correction, but in the second and third surveys, a combined GPS positioning system and depth controller (GPSMAP® 421s) was installed on board.

In the three campaigns, temperature, conductivity, and pressure were collected with a NXIC (Non-eXternal Inductive Conductivity) CTD of Falmouth Scientific, Inc.

(FSI, USA). The analysis of the parameters allowed the identification of places on the continental shelf under the influence of waters coming from submarine springs, which present hydrological characteristics different from the ones with coastal oceanic origin.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The observations carried out during the three surveys constitute the first CTD database gathered over the continental shelf off Algarve, covering an area very close to the coast with maximum depths of 30 m.

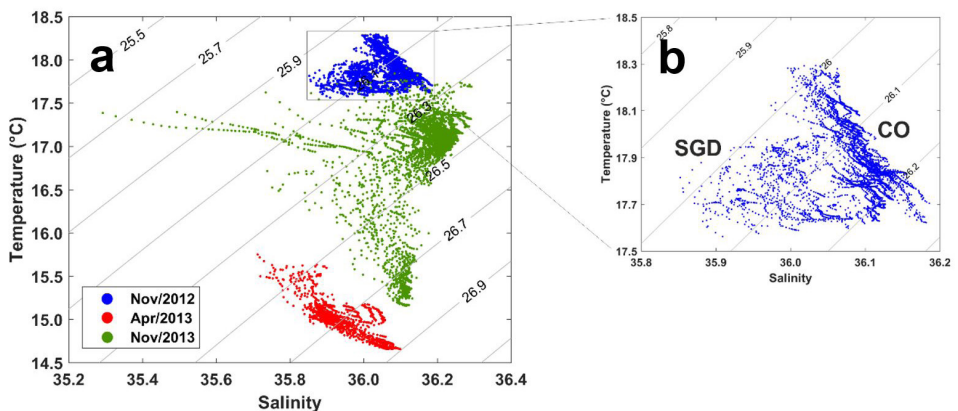
The submarine discharges at sea usually occur in shallow waters on the continental shelf and one way to detect them is mostly through their lower salinity values compared with the ones presented by oceanic coastal waters.

Temperature, salinity and sigma-t (density) profiles, as well as the temperature-salinity (T/S) diagrams, were drawn for each one of the 166 CTD stations carried out in the Olhos de Água area. The number of stations occupied during the surveys Nov/2012, April/2013 and Nov/2013 were 59, 42 and 65, respectively. The scatter T/S diagram with the whole set of 166 CTD stations is presented in Fig. 3a.

Each oceanographic campaign represented in Fig. 3a was characterized by different thermohaline properties thus reflecting not only the time of the year when each survey took place but also if its occurrence was under a dry or wet situation.

The Nov/2012 cruise, represented in blue in Fig. 3a, was conducted during a summer-winter transition situation of a relatively hot and dry year, and presents the highest values of temperature ( $17.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 18.3^{\circ}\text{C}$ ) reached in the whole period analyzed.

Figure 3 - a) T/S diagram with the 166 CTD stations carried out in the Olhos de Água area: 59 stations in Nov/2012 (blue), 42 stations in April/2013 (red) and 65 stations in Nov/2013 (green); b) Zoom of the 59 T/S diagrams obtained during the Nov/2012 survey showing stations with a coastal oceanic (CO) behavior and stations with influence of SGDs (adapted from Frazão, 2016).



Temperatures between 14.5°C and 16.0°C were obtained during the Apr/2013 survey (represented in red in Fig. 3a), which took place right after a rainy winter, with sea temperatures reaching the lowest values observed. Since all the stations were located very close to the coast in very shallow waters (maximum depth of 14 m), they reflected the lower values reached by the air temperature.

The salinity values obtained during both surveys were very similar ( $35.7 < S < 36.2$ ) presenting only a difference of 0.1 higher observed during the hot and dry Nov/2012 survey.

The last survey (Nov/2013, represented in green in Fig. 3a) took place also in the summer-winter transition but after a relatively rainy year and presented the largest variations in temperature and salinity.

It is interesting to note that the temperature values were much lower (15.0-17.7°C) than the ones obtained exactly in the same month but one year before. Salinity values presented the highest variation, ranging between 35.3 and 36.3.

A more carefully analysis of the T/S diagrams of the stations carried out during the Nov/2012 and Apr/2013 surveys (blue and red, respectively, in Fig. 3a) reveals that the stations are grouped in two different patterns. Fig. 3b shows, as an example, the zoom of the T/S diagrams of the stations carried out in Nov/2012 (in blue in Fig. 3a). The stations with a coastal oceanic behaviour (CO in Fig. 3b) show a gradual increase of density ( $\sigma_t$ ) with depth, due to a small increase in salinity and the correspondent small decrease in temperature.

T/S diagrams of the stations influenced by SGDs (Fig. 3b) present a completely different shape. They reveal instabilities in the water column showing  $\sigma_t$  inversions, probably due to vertical mixing with waters coming out from the submarine springs. The lowest salinity values reached in these stations could also indicate that they are under the influence of the SGDs waters.

T/S diagrams of the stations carried out during the Nov/2013 survey (in green in Fig. 3a) do not clearly show, the two patterns mentioned above, but only the SGD influenced pattern. As this last survey took place after a particularly rainy year, the large number of submarine springs in the area off Olhos de Água, associated with higher discharges, could be responsible for the predominant SGD pattern in the T/S scatter diagram, thus masking the presence of few stations with a coastal oceanic behaviour.

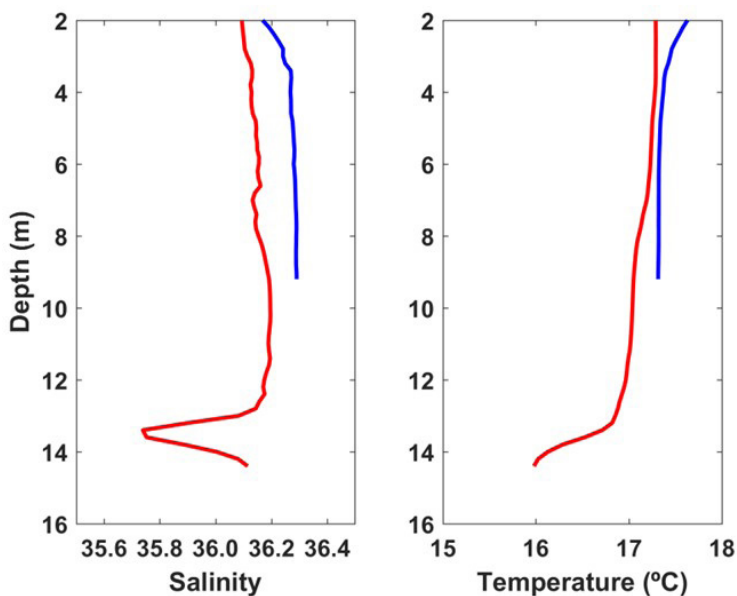
Examples of salinity and temperature profiles of CO and SGD influenced stations are represented in Fig. 4. The CO station presents a small increase in salinity and a small decrease in temperature with depth (blue profiles). The SGD station presents a salinity minimum ( $S \approx 35.7$ ) at about 13.5 m depth, relatively to the constant value  $S \approx 36.2$  registered along the whole water column. This high variation in salinity  $\Delta S = -0.50$ , is also

combined with a relatively high temperature variation of  $\Delta T \approx -1.0^\circ\text{C}$ . These sudden salinity and temperature decreases are due to waters with other hydrological characteristics corresponding to the presence of the SGD signal affecting the water column of the station.

The location of the SGD signal in the water column allowed the classification of each station. If the SGD signal occurred near the bottom, it could be classified as a SGD source, but if the SGD signal was located in the water column, at any depth, then it indicates that it was under the influence of a SGD.

The (20+10) CTD stations conducted, respectively, in the “non-SGDs referee places” Albufeira and Praia da Falésia (see Fig. 2 for location) showed similar hydrological characteristics to the ones found in the Olhos de Água area. Salinity decreases near the bottom or in the water column were also observed, thus suggesting the presence of SGDs. According to these results, Albufeira and Praia da Falésia were bad choices concerning non-SGDs referee places.

Figure 4 – Examples of salinity and temperature profiles of stations with coastal oceanic influence (in blue) and stations with SGD characteristics (in red).



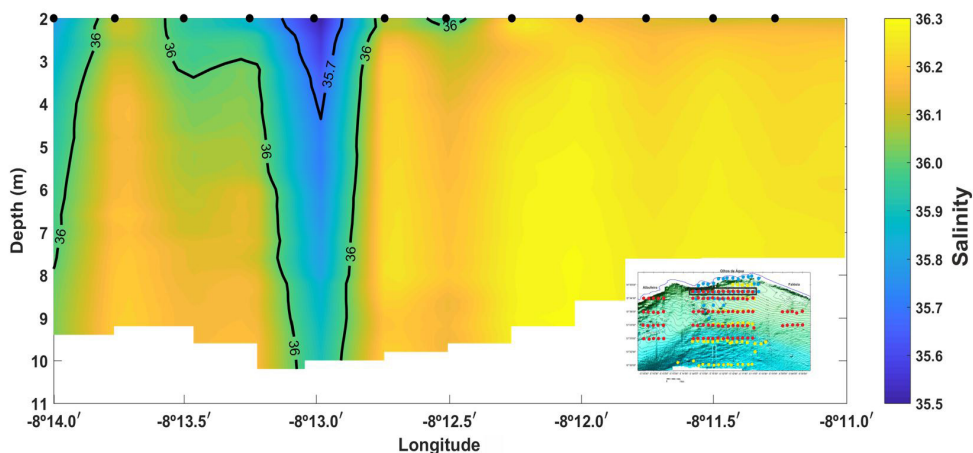
Vertical sections of salinity, temperature and sigma-t, were drawn along lines parallel and perpendicular to the coast, in order to establish a tight net to be able to identify the potential location of the submarine groundwater discharges.

The analysis of the whole hydrological dataset allowed the identification of two major types of SGD sources: ones with a strong signal in the entire water column (see

exemplo in Fig. 5, where the lower values of salinity are represented in blue tones) and others where the SGD signal occurred near the bottom.

Frequently, the signal of the freshwater discharges was detected, at any depth in the water column and at the surface, possibly indicating that the station was under the influence of an SGD. The waters coming out from the submarine springs are subjected to both local vertical mixing and advection processes. As the submarine discharges occur in shallow waters, they propagate horizontally like plumes which could be affecting partially or totally the water column of the stations located in the direction of the propagation path of the plume.

Figure 5 – Vertical section of salinity at 37° 04.7' N, with ≈ 4.5 km long. Location of the section is in the inset (adapted from Frazão, 2016).



The presence of the SGDs seems to be recurrent as they were detected in the same locations during rainy and dry years, being stronger the signal of the first ones.

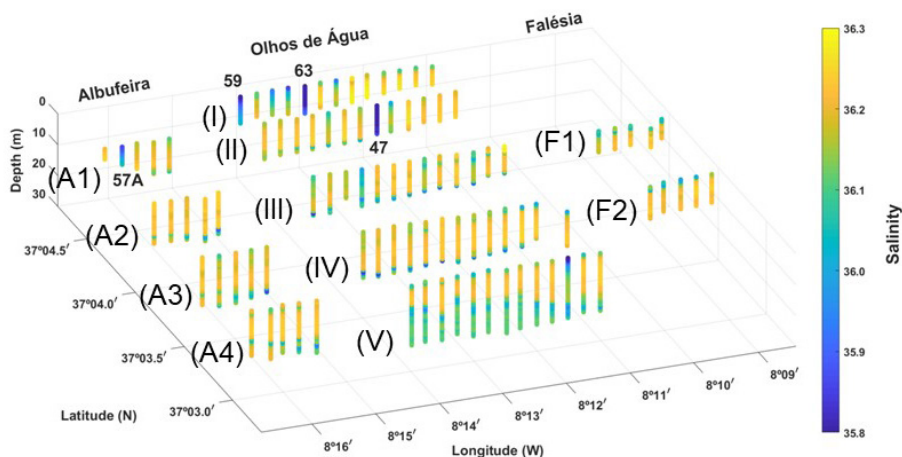
As the Nov/2013 campaign took place in a relatively wet year, a larger number of SGDs were detected as well as SGDs with stronger outflows (FREEZE, 2014).

To have a general idea of the observed salinity field in the whole area occupied during the Nov/2013 campaign, one 3-D representation diagram (Fig. 6) was drawn with all the 95 salinity profiles (20 in front of Albufeira, 65 offshore Olhos de Água and 10 in front of Praia da Falésia).

CTD stations nos. 47, 59 and 63 (this one represented in Fig. 5) located in the Olhos de Água area, and no. 57A in Albufeira, are identified in Fig. 6; all the stations are located near the coast showing strong influence of SGDs, with lower salinities  $S \leq 36.0$  (blue tones) in the whole water column, and the lowest values being detected at the surface. This could indicate either continuous submarine discharges, or the CTD stations were precisely located over those particular springs.

Fig. 6 shows that the salinity profiles along sections III and IV (Olhos de Água) and along sections A2 and A3, at the same latitudes, in Albufeira, present salinity minima near the bottom, thus indicating the existence of SGDs.

Figure 6 – Salinity profiles obtained during the Nov/2013 campaign: 20 in front of Albufeira, 65 offshore Olhos de Água and 10 in front of Praia da Falésia. Stations with low salinity values (blue tones) in the whole water column are identified (adapted from Frazão, 2016).



Salinity profiles along sections V (Olhos de Água) and A4, at the same latitude in Albufeira, show low values occurring at different depths in the water column (see Fig. 6); this indicates that the stations could be in the propagation path of a SGD plume.

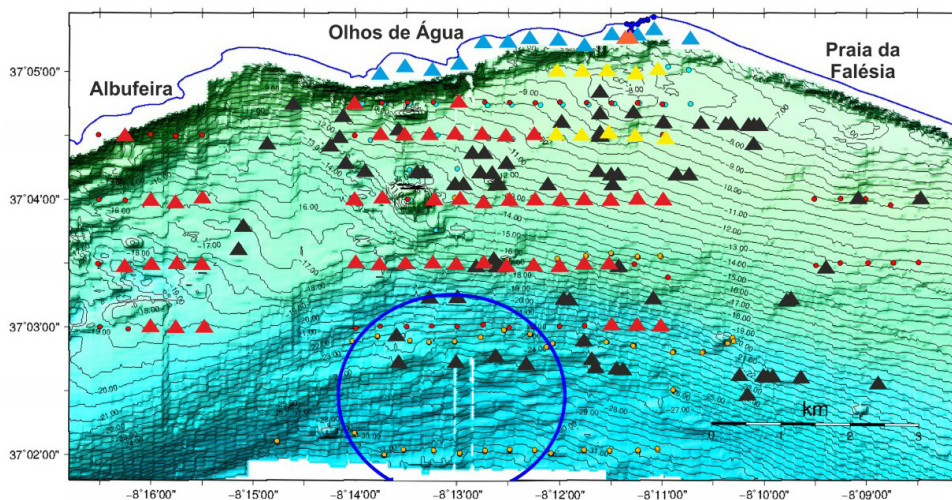
Along sections F1 and F2 (Falésia), salinity minima occurred at the surface, indicating that the stations could also be in the propagation path of a SGD plume.

The location of the SGDs identified through CTD data is represented in Fig. 7, where the triangles have the same color code as the aforementioned campaigns. In the frame of FREEZE project, two SGDs located at  $\approx 120$  m from the Olhos de Água beach, were identified through diving, in July 2013 (orange triangles), and several intertidal springs along the coastline were also identified in the period 2010-2012 (small dark blue circles); the schematic representation of the slick observed on the SAR image (Fig. 1) is also represented in Fig. 7.

In the frame of FREEZE project, seismic data was also collected during two campaigns conducted in May 2010 and April 2011. The location of SGDs detected through the analysis of the high-resolution seismic profiles is also represented in Fig. 7 by black triangles.



Figure 7 - Location of the SGDs identified through CTD data collected during the surveys: Nov/2012 (yellow), Apr/2013 (light blue) and Nov/2013 (red). The dark blue circle is the schematic representation of the slick identified on the SAR image (adapted from Frazão, 2016).



SGDs identified through the analysis of CTD data were preferentially found between the bathymetric contours 7 m and 18 m and also near the coast. These results are very similar to the ones obtained with the seismic profiles, since the discharges occurred where paleocoast lines and other geological structures were identified (FREEZE, 2014; Fernandes *et al.*, 2015).

Low salinities near the surface along section V (see Fig. 6) indicate that the slick (Fig. 7) could be a recurrent pattern. The slick is located between the bathymetric contours 20 m and 30 m, also corresponding to paleocoast lines (Fernandes *et al.*, 2015).

## 4 CONCLUSIONS

In conclusion, CTD data collected during three oceanographic surveys conducted in November 2012, April 2013 and November 2013, allowed the identification of the places where Submarine Groundwater Discharges occur over the continental shelf off Olhos de Água, in Algarve.

The analysis of the thermohaline properties of 196 oceanographic stations (20 in front of Albufeira, 166 offshore Olhos de Água and 10 in front of Praia da Falésia), carried out during dry and wet situations, revealed that the SGDs are permanent, with stronger outflows during the rainy years and reduced flows during dry years.

Concerning the location of the submarine springs, there was a good agreement between the results obtained with CTD and the ones obtained with seismic reflection

profiles, even though they were obtained in different years. This reinforces that SGDs are recurrent, with different outflows under unlike meteorological conditions.

The non-SGDs referee places, Albufeira and Falésia, were a bad choice, once SGDs were also identified in Albufeira and waters with influence of SGDs were detected in Falésia.

In future studies in the Olhos de Água region or in another areas with SGDs, a systematic monitoring is fundamental, covering different seasons and different hydrological years.

## 5 ACKNOWLEDGMENTS

The R&D Project FREEZE (PTDC/MAR/102030/2008) was supported by the Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) and had the following partners: Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), the former Centro de Oceanografia/Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (CO/FCUL), Universidade do Algarve (UALg) and Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.

This study had the support of national funds through Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P (FCT), under the projects UIDB/04292/2020, UIDP/04292/2020, granted to MARE, and LA/P/0069/2020, granted to the Associate Laboratory ARNET.

## REFERENCES

Cave, R.R., Henri, T. (2011). **Intertidal and submarine groundwater discharge on the west coast of Ireland**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 92(3), 415-432. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.01.019>

Fernandes, J., Carrara, G., Terrinha, P., Sousa, F., Leitão, F., Loureiro, M., Roque, C., Noiva, J., Boutov, D., Range, P., Dill, A., Almeida, C. (2015). **Descargas do Sistema Aquífero Albufeira-Ribeira de Quarteira em Meio Marinho - Métodos e Cartografia**. 10º Seminário sobre Águas Subterrâneas. Universidade de Évora, Portugal.

Frazão, H. (2016). **Caracterização Hidrológica das Descargas de Águas Subterrâneas ao largo do Algarve**. MSc. Thesis (in portuguese). Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

FREEZE Final Report (2014). **Submarine FRESHwater discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem: 2010-2013**. Prepared and written by IPMA, LNEG, FCUL, UALg and IST. Available at <http://geoportal.ineg.pt/Freeze/FCT-REPORT/Freezefinalreport.pdf>.

Garcia-Solsona E., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Rodellas, V., Mejías, M., Ballesteros, B., Domínguez, J.A. (2010). **Groundwater and nutriente discharge through karstic coastal springs (Castelló, Spain)**. Biogeosciences 7, 2625-2638. doi:10.5194/bg-7-2625-2010.

Sousa, F.M., Carrara, G., Fernandes, J., Boutov, D., Loureiro, M., Leitão, F., Range, P., & Machado, A. (2014). **Descargas de Águas Subterrâneas na região dos Olhos de Água, Algarve – alguns resultados das campanhas CTD**. In B. Caldeira, J. Barrenho, J.F. Borges, J. Pombinho, M.J. Costa, M.R. Duque, M. Bezzeghoud e R. Salgado (Eds.), Proceedings da 8ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica. Universidade de Évora, Portugal.

UNESCO (2004). **Submarine Groundwater Discharge, Management implications, measurements and effects**. Prepared for International Hydrological Program (IHP), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), by Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), IHP-VI, Series on Groundwater No. 5, IOC Manuals and Guides No. 44.

## SOBRE O ORGANIZADOR

**Alireza Mohebi Ashtiani** possui graduação em bacharelado em Matemática, Matemática Aplicada, pela Amirkabir University of Technology (Polytechnic of Tehran), Teerã/Irã (2003), mestrado em Matemática Aplicada pelo Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan/Irã (2005) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) na área de Automação (2012). Foi bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq no Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC/UNICAMP) e bolsista de Pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) na Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/UNICAMP). Desde 2013 é docente vinculado ao Departamento Acadêmico de Matemática do Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e atualmente, docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT) da UTFPR, Campus Cornélio Procopio.

Alireza Mohebi Ashtiani

<http://lattes.cnpq.br/5025709771742662>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agrimensura 70, 73, 74, 76, 77

Algarve 94, 95, 96, 97, 99, 104, 105, 106

Algebra Lineal

Álgebra Lineal 70, 71, 78

Antioxidantes 11, 16, 19

Articulación entre Cátedras de Ciencias Básicas y de Ingeniería en Agrimensura 70

### B

Bending 43, 54, 55, 57

Bioadsorción 1, 2, 4, 5

Biomosas naturales 2, 3, 6

Borde Oceánico-Continental 80, 82

### C

Camellia sinensis 18, 19, 23

Carbono orgánico 36, 37, 38, 39

Cerrado 10, 11, 16

Circular cutout 63, 69

Cochlospermum regium 10, 11, 12, 17

Compression 43, 44, 47, 50, 54, 56, 57, 59, 60

Corteza Continental-Oceánica De Transición 80

Cromo (VI) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

CTD 95, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 106

Cylindrical shell 63, 64, 69

### E

Enseñanza entre Pares 70

Enseñanza presencial 25

Enseñanza virtual 24, 25, 34

Evaluaciones virtuales 25

Experimentos caseros 25, 26, 28, 29, 30, 35

## F

Flavonoides 19

Fungos endofíticos 10, 11, 12, 15, 16, 17

## L

Low walls 43, 44, 45, 47, 56, 57

## M

Margem Continental Argentino 79, 80, 81, 82, 83, 93

Metabólitos secundários 10, 12, 16, 19

Modelado gravimétrico 2D 80, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91

## O

Olhos de Água 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106

## P

Portugal 94, 95, 105, 106

Problemas Altimétricos 70

## S

Shell theory 63

Submarine Groundwater Discharge (SGD) 95

Suelos 2, 3, 36, 37, 38, 40, 41, 61

## U

Usos y manejos 36, 37, 38, 41