

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Leinig Antonio Perazolli
(organizador)

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Leinig Antonio Perazolli
(organizador)

2021 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Editora Artemis



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. Permitido 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.

Editora Chefe	Prof ^ª Dr ^ª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^ª Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^ª Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^ª Dr.^ª Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.^ª Dr.^ª Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba
Prof.^ª Dr.^ª Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^ª Dr.^ª Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof.^ª Dr.^ª Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^ª Dr.^ª Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF
Prof.^ª Dr.^ª Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão
Prof.^ª Dr.^ª 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
Prof.^ª Dr.^ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.^ª Dr.^ª Emilias Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina



Prof.^ª Dr.^ª 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. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*
Prof.^ª Dr.^ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.^ª Dr.^ª 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.^ª Dr.^ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*
Prof.^ª Dr.^ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.^ª Dr.^ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.^ª Dr.^ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*
Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
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*
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. Júlio César Ribeiro, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, *Universidade Estadual Paulista*
Prof.^ª Dr.^ª Livia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*
Prof.^ª Dr.^ª Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, *Universidade Estadual Paulista*
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, *Universidade Federal de Sergipe*
Prof.^ª Dr.^ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Margarida Márcia Fernandes Lima, *Universidade Federal de Ouro Preto*
Prof.^ª Dr.^ª Maria Aparecida José de Oliveira, *Universidade Federal da Bahia*
Prof.^ª Dr.^ª Maria do Céu Caetano, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, *Universidade Federal do Maranhão*
Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, *Instituto Politécnico de Viseu*, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
Prof.^ª Dr.^ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, *Universidade Federal de Lavras*
Prof.^ª Dr.^ª Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*



Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

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

C569 Ciência e tecnologia para o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico [livro eletrônico] / Organizador Leinig Antonio Perazolli. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-52-1

DOI 10.37572/EdArt_201221521

1. Ciência – Brasil. 2. Inovações tecnológicas – Aspectos sociais. I. Perazolli, Leinig Antonio.

CDD 500

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

A publicação intitulada **“Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico”** faz uma coletânea de resultados científicos, em diferentes áreas do conhecimento, exemplificando um modelo para a abordagem dos problemas relacionados ao desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico da sociedade atual.

A obra se justifica ao apresentar caminhos para se atingir soluções positivas frente às grandes e variadas dificuldades que estamos observando nas últimas décadas, decorrentes de ações comerciais, do desejo de consumo e ao fato que as fontes são finitas, porém os desejos humanos não. Estas ações comerciais levam à destruição ambiental, massificação cultural e a problemas socioeconômicos devido à diferença de renda e ao aumento da frequência de desastres ambientais, os quais geram grandes prejuízos financeiros e humanos.

A obra se inicia relatando o estado da arte sobre o consumo ético, avança para a descrição da vulnerabilidade e do emprego sustentável de ecossistemas. Destaca a função dos processos de educação, peça fundamental para a evolução sustentável de qualquer sociedade e a importância da interrelação entre os municípios de diferentes países para a busca de objetivos comuns.

Na continuidade temos exemplos de resultados científicos positivos para o uso de tecnologias em diferentes áreas do conhecimento, desde o uso de micro-organismos e sementes para a produção de óleos e energia, tratamentos e recuperação de resíduos de minerais e propostas científicas avançadas nas áreas de separação líquido-líquido, magneto eletrônica e varistores. A obra também ilustra as consequências das ações negativas praticadas pela ação humana. Cabe destacar que se estas ações não forem evitadas, corrigidas e/ou readequadas as consequências dos desastres ambientais, com reflexos negativos em todas as áreas, poderão se tornar irreversíveis em questão de décadas.

A importância deste livro reside ao indicar caminhos para fomentar o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico de forma sustentável.

Quero externar meus sinceros agradecimentos aos autores dos trabalhos científicos e à Editora Artemis, pela organização desta obra.

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli
UNESP – Instituto de Química de Araraquara/SP

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTADO DEL ARTE SOBRE CONSUMO ÉTICO EN LA ÚLTIMA DÉCADA: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Javier Solano

David Zaldumbide Peralvo

Delia García Vences

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215211

CAPÍTULO 2..... 18

VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO (ESPAÑA) MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO LU-IV

Mercedes Arauzo Sánchez

María Valladolid Martín

Gema García González

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215212

CAPÍTULO 3..... 36

ECOSISTEMAS DE EMPRENDIMIENTO, DE LO NACIONAL A LO REGIONAL, SANTANDER UNA APUESTA

Mónica María Pacheco Valderrama

Olga Cecilia Alarcón Vesga

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215213

CAPÍTULO 4..... 47

O ENSINO MÉDIO POLITÉCNICO E A REALIDADE TECNOLÓGICA VIVENCIADA PELOS ALUNOS E PROFESSORES EM DUAS ESCOLAS DE PELOTAS- RS

Elis Regina Madeira da Porciúncula

Marcos Antonio Anciuti

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215214

CAPÍTULO 5..... 69

UNIVERSIDADES Y LA APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE CHILE

Juan Ramón Contreras González

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215215

CAPÍTULO 6..... 89

COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA DE CONTROL INTERNO Y EXTERNO MUNICIPAL ENTRE ECUADOR Y ARGENTINA

Verónica Ponce

Carlos Albert Ferreira

José Townsend

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215216

CAPÍTULO 7..... 103

EL USO DE LA BIOMASA DEL HONGO *Aspergillus niger* PARA LA ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS CONTAMINADAS

Ismael Acosta Rodríguez

Nancy Pacheco Castillo

Adriana Rodríguez Pérez

Juan Fernando Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez

Francisco Navarro Castillo

Erika Enríquez Domínguez

Juana Tovar Oviedo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215217

CAPÍTULO 8..... 114

INFLUENCIA DE LA ENVOLVENTE CON BAJOS NIVELES DE TRANSMITANCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN CLIMAS CÁLIDOS

María Victoria Mercado

Celina Filippín

Gustavo Barea

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215218

CAPÍTULO 9.....134

ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA CUPRITA SINTETIZADA POR RUTA QUÍMICA

Orfelinda Avalo Cortez

David Pedro Martínez Aguilar

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215219


CAPÍTULO 10.....147

ACEITE DE LA SEMILLA DE AGUACATE, UNA REVISIÓN DESDE SUS POTENCIALIDADES

Lina González Asías

Amelia Espitia Arrieta

Jennifer Lafont Mendoza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152110

CAPÍTULO 11.....159

ESTUDIOS QUÍMICOS REALIZADOS A LA SEMILLA DE *Moringa oleifera* Lam Y SU IMPACTO EN LA SALUD HUMANA: UNA REVISIÓN TEÓRICA

Jennifer Lafont Mendoza

William Negrete Humanez

Amelia Espitia Arrieta

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152111

CAPÍTULO 12.....171

ZONAS DE INFLUENCIA GENERADAS POR PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EN CAMPO DEL MATERIAL ROCOSO

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Andrés Nicolás Aguirre Larriva

Bernardo Andrés Feijoo Guevara

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152112

CAPÍTULO 13..... 186

CARACTERIZACIÓN Y FLOTACIÓN DE APATITA CONTENIDAS EN RELAVE DE HIERRO

Luis Valderrama

Mario Santander

Oswaldo Gómez

Patricia Tapia
Patricio Muñoz
Bruno Zazzali

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152113

CAPÍTULO 14.....193

ESTUDO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO E RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS POR SINTERIZAÇÃO AO AR NATURAL

Affonso Henrique Alves Ribeiro
Margarida Márcia Fernandes Lima
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz
Rosa Malena Fernandes Lima

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152114

CAPÍTULO 15.....214

EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO APLICADA AO PROCESSO DE REFINO DE ETANOL COMBUSTÍVEL

Gabriel Manso Kozlowski Pitombeira
Leinig Antonio Perazolli
Elias de Souza Monteiro Filho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152115

CAPÍTULO 16..... 227

EVIDENCING THE MAGNETOELECTRIC COUPLING IN BI1-XNDXFE03 COMPOSITIONS THROUGH FERROIC CHARACTERIZATIONS

Anuar Jose Mincache
Lilian Felipe da Silva Tupan
Odair Gonçalves de Oliveira
Ivair Aparecido dos Santos
Luiz Fernando Cótica

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152116

CAPÍTULO 17234

EFEITO DO COBALTO E ZINCO EM VARISTORES À BASE DE SnO₂

Glauco Meireles Mascarenhas Morandi Lustosa
João Paulo de Campos da Costa
Leinig Antônio Perazzoli
Biljana Stojanovic

Maria Aparecida Zaghete Bertochi

Elson Longo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152117

CAPÍTULO 18.....250

GRADUAÇÃO HISTOLÓGICA DOS GLIOMAS PELA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE
MICROVASCULAR POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Pedro Henrique Raffa de Souza

Rodrigo de Oliveira Plotze

Lucas Giansante Abud

Carolina Baraldi Araújo Restini

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152118

CAPÍTULO 19.....270

MONITORAMENTO DE ENCALHES DE ANIMAIS MARINHOS NA GESTÃO DA PESCA
EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Viviane Korres Bisch

Roberto Sforza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152119

SOBRE O ORGANIZADOR.....280

ÍNDICE REMISSIVO281

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE SOBRE CONSUMO ÉTICO EN LA ÚLTIMA DÉCADA: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA¹

Data de submissão: 20/10/2021

Data de aceite: 30/10/2021

Javier Solano

Universidad Metropolitana del Ecuador
Sede Machala
Machala, El Oro, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-1419-8359>

David Zaldumbide Peralvo

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Manta, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-7969-7573>

Delia García Vences

Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, Estado de México, México
CV

RESUMEN: El consumo responsable tiene diversas dimensiones, entre ellas destaca el consumo ético, precisamente, el presente estudio pretende brindar un acercamiento a este concepto, trazar una trayectoria de investigación, y reconocer a los autores más representativos en este campo de estudio. Esto se realizó a través de una revisión

¹ Se extiende un agradecimiento a Universidad Metropolitana, Sede Machala, de forma específica al proyecto de investigación Gestión de Empresas y partes interesadas hacia la sostenibilidad desde la responsabilidad social empresarial.

sistemática de la literatura, que incluyó la búsqueda de artículos científicos sobre la temática dentro de la Web of Science y el análisis de concentración bibliográfica, que permitió identificar seis agrupamientos temáticos, definidos como: a) brecha entre intención y comportamiento ético; b) normas deontológicas en estudio del consumo ético; c) ética relacionada con el producto; d) confianza del consumidor hacia la empresa; e) influencias ambientales y contextuales amplias; y f) Actitudes, normas subjetivas e identidad moral. Cada uno de estos agrupamientos marcan oportunidades de investigación futura, en términos de replicabilidad metodológica, adaptación contextualizada de las investigaciones o investigaciones inéditas por los vacíos aún declarados en el ámbito del consumo ético.

PALABRAS CLAVES: Ética del consumo. Consumo responsable. Consumo ético. Consumidor ético.

STATE OF THE ART ON ETHICAL CONSUMPTION IN THE LAST DECADE: A SYSTEMATIC REVIEW OF LITERATURE

ABSTRACT: Responsible consumption has several dimensions, among them ethical consumption stands out, in this sense, this study aims to provide an approach to this concept, trace a research trajectory, and recognize the most representative authors in this field of study. This was carried out through

a systematic review of the literature, which included the search for scientists on the subject within the articles of the Web of Science and the analysis of bibliographic concentration, which identified six thematic groupings, defined as a) gap between intention and ethical behavior; b) deontological norms in the study of ethical consumption; c) ethics related to the product; d) consumer confidence towards the company; e) broad environmental and contextual influences; and f) Attitudes, subjective norms and moral identity. Each of these groupings marks opportunities for future research, in terms of methodological replicability, the contextualized adaptation of research, or unpublished research due to the gaps still declared in the field of ethical consumption.

KEYWORDS: Consumption. Ethics of consumption. Responsible consumption. Ethical consumption. Ethical consumer.

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ofrece una revisión bibliográfica de la literatura científica disponible en la Web of Science, relacionada con el consumo ético, entendido como el tipo de consumo que toma en cuenta el impacto de sus decisiones de consumo frente al medio ambiente y la sociedad (Díaz, 2018). Por consiguiente, los consumidores éticos, son el tipo de consumidor que toman decisiones con sensibilidad y en consideración de las alternativas éticas (Szmigin y Carrigan, 2005). Los valores pueden impulsar el consumo ético, pero no siempre se pueden tomar decisiones positivas por la cantidad y complejidad de las cuestiones éticas que envuelven el contexto de compra (Shaw y Clarke, 1998). Se aborda el consumo ético, por estar implícito en el estudio del consumo socialmente responsable, constructo teórico ligado a la línea de investigación, dentro del proyecto de investigación que patrocina esta investigación, denominado “Gestión de empresas y partes interesadas hacia la sostenibilidad desde la responsabilidad social empresarial”, inscrito en la carrera Administración de Empresas de la Universidad Metropolitana, Sede Machala.

En consideración de lo anterior, este trabajo pretende brindar un acercamiento al concepto de consumo ético, trazar la trayectoria de investigación sobre el mismo en los últimos años, reconocer autores relevantes en este campo de estudio e identificar consideraciones metodológicas para el estudio de este tópico. Para esta labor se siguió un proceso de revisión sistemática de la literatura, que incluyó la admisibilidad de las fuentes según criterios de inclusión y exclusión de fuentes, para posteriormente ser analizados en el software Vosviewer que mostró las concentraciones bibliográficas según redes de referencia, que facilitaron la clasificación y posterior análisis de contenido de las fuentes bibliográficas.

La clasificación de fuentes, permitió identificar seis clusters temáticos, con un total de 56 artículos, para el análisis posterior, se requirió una priorización e identificación de las fuentes de mayor relevancia en términos de citación. Finalmente, del ranking general,

se realizó un examen detallado de las tres fuentes más destacadas, brindando un marco representativo del cluster que facilita la identificación de tendencias de investigación dentro del concepto consumo ético.

2 METODOLOGÍA

El estudio se realizó con ayuda del software Vosviewer versión 1.6.16 para la presentación y construcción de los mapas bibliométricos, con el propósito de identificar clústers y redes de referencias (Van Eck and Waltman, 2010; Perianes-Rodríguez et al. 2016). La identificación de artículos científicos relevantes se realizó en la base de datos Web of Science, sin restricciones temporales. La búsqueda se efectuó el 01 de agosto de 2021, y se utilizó las palabras clave “ethical consumption”, “consumer ethic”, “ethical consumer”, “consumer behavior”, “ethics of consumption”, todas como temas de investigación, donde se obtuvo 163 resultados. Adicionalmente se refinó la búsqueda incluyendo filtros de tipos de documentos, categorías de la Web of Science, Área de investigación, delimitando la búsqueda a artículos científicos, dentro de las categorías negocios y administración, y dentro del área de investigación negocios y economía; como resultado se obtuvo 94 artículos para la revisión. El protocolo de investigación se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1. Protocolo de búsqueda.

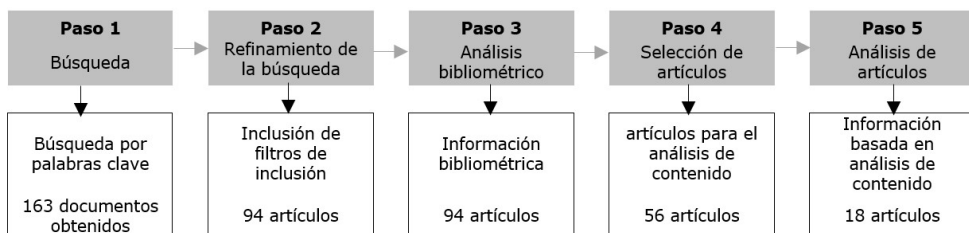
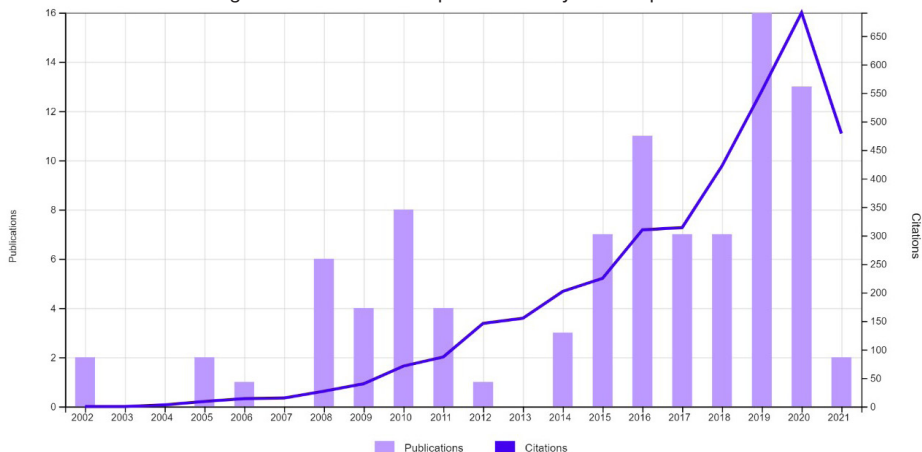


Figura 2. Número total de publicaciones y citación por año.



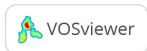
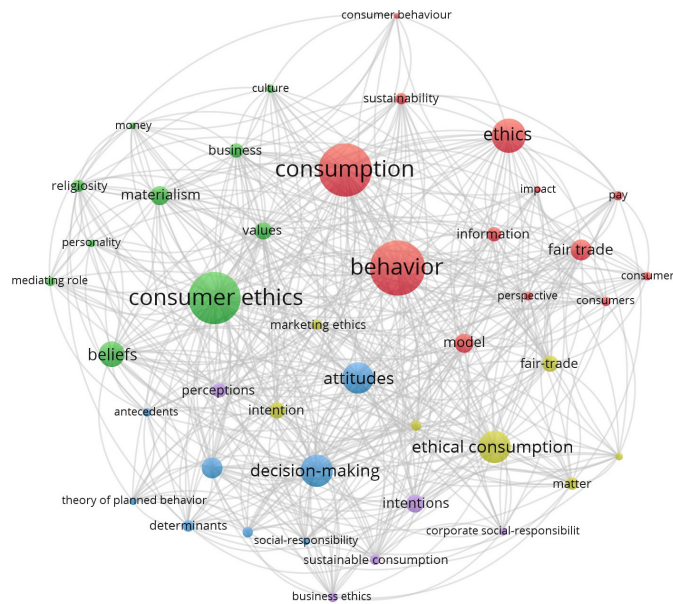
La **Figura 2**, muestra la evolución del número de publicaciones y citaciones de los 94 documentos, desde 2002 hasta Julio de 2021, donde se puede observar un incremento significativo de citaciones, alcanzando la cima en 2020, con 691 citas. Por otro lado, las publicaciones relacionadas aparecen en 2002, con una proporción muy baja de publicaciones al inicio, con un impulso desde 2008 al 2011 (con una media aproximada de 6 publicaciones anuales) y un nuevo repunte desde 2015 al 2020 (con una media aproximada de 10 publicaciones anuales). El año 2019, fue donde se alcanzó el punto más alto con 16 publicaciones totales. De los 94 artículos analizados, solo 5 (5,3% del total de publicaciones) no tienen ninguna cita y 38 (40,4% del total de publicaciones) tienen menos de 10 citas, en la **Tabla 1** se enlista los diez trabajos con el mayor número de citas (70,3% del total de citas).

Tabla 1. Los 10 artículos más citados.

Artículo	Autor/ año	Revista	Citación total	Metodología
Why Ethical Consumers Don't Walk Their Talk: Towards a Framework for Understanding the Gap Between the Ethical Purchase Intentions and Actual Buying Behaviour of Ethically Minded Consumers	Carrington et al., 2010	Journal of Business Ethics	463	Cualitativo
An Exploratory Study into the Factors Impeding Ethical Consumption	Bray et al., 2011	Journal of Business Ethics	337	Cualitativo
Voluntary simplicity and the ethics of consumption	Shaw and Newholm, 2002	Psychology & Marketing	244	Cualitativo
Consumption as voting: an exploration of consumer empowerment	Shaw et al., 2006	European Journal of Marketing	182	Cualitativo
The Role of Personal Values in Fair Trade Consumption	Doran, 2009	Journal of Business Ethics	173	Cuantitativo
Who's messing with my mind? The implications of dual-process models for the ethics of advertising to children	Nairn and Fine, 2008	International Journal of Advertising	149	Cualitativo
Exploring origins of ethical company/brand perceptions - A consumer perspective of corporate ethics	Brunk, 2010	Journal of Business Research	148	Cualitativo
Do Consumers Care About Ethical-Luxury?	Davies et al., 2012	Journal of Business Ethics	131	Cualitativo
Sustainable fashion consumption and the fast fashion conundrum: fashionable consumers and attitudes to sustainability in clothing choice	McNeill and Moore, 2015	International Journal of Consumer Studies	103	Cualitativo
Care and Commitment in Ethical Consumption: An Exploration of the 'Attitude-Behaviour Gap'	Shaw et al., 2016	Journal of Business Ethics	78	Cualitativo

Los artículos más citados se enfocan en temas heterogéneos, como los factores que obstaculizan el consumo ético (Bray et al., 2011), y la brecha entre intención y comportamiento (Carrington et al., 2010; y Shaw et al., 2016), elección de un estilo de vida más sencillo por aspectos éticos (Shaw and Newholm, 2002), la influencia de los valores personales en el consumidor (Doran, 2009), consumo de productos específicos (Davies et al., 2012; y McNeill and Moore, 2015), la interacción del consumidor frente a la empresa (Shaw et al., 2006; Brunk, 2010, Nairn and Fine, 2008). La mayoría de los trabajos presentan una metodología cualitativa, tan solo uno tiene un enfoque cuantitativo. La comprensión de los artículos más citados, permite al investigador identificar las fuentes seminales que se puede utilizar como referencia para el sustento de los estudios relacionados (Cavalcante et al., 2021).

Figura 3. Clústers y redes de referencia.



Con el propósito de identificar las tendencias de la literatura sobre ética y consumo, se realizó un análisis de mapa de redes de la bibliografía a partir de artículos con al menos diez citas, donde se extrajo cinco grupos (ver **Figura 3**) que incluían 56 publicaciones. Adicionalmente, en la revisión de contenido se identificó un grupo, de tal forma que los grupos totales son seis (ver **Tabla 2**), definidos como: (1) brecha entre intención y comportamiento ético; (2) normas deontológicas y consumo ético; (3) ética relacionada con el producto; (4) confianza del consumidor hacia la empresa,

(5) influencias ambientales y contextuales amplias; y (6) actitudes, normas subjetivas e identidad moral.

Tabla 2. Clústers temáticos y autores.

Clúster	Autores/ años
Brecha entre intención y comportamiento ético	Carrington et al. (2010), Fukukawa y Ennew (2010), Johnstone y Tan (2015), Reimers et al. (2016), Shaw et al. (2016), Javed, et al. (2019)
Normas deontológicas en estudio del consumo ético	Fukukawa (2002), Low y Davenport (2005), Al-Khatib et al. (2005), Lee et al. (2010), Smith et al. (2010), Carrigan et al. (2011), Caruana y Chatzidakis (2014), Culiberg (2014), Carrington et al. (2015), Lim (2016), Chowdhury (2018), Gentina et al. (2018), Rodriguez-Rad y Ramos-Hidalgo (2018), Chowdhury (2019)
Ética relacionada con el producto	Coyle et al. (2009), Bezencon y Blili (2010), Davies et al. (2012), Bodur et al. (2015), McNeill y Moore (2015), Elgaaied-Gambier (2016), Moraes et al. (2017), Jiang et al. (2019)
Confianza del consumidor hacia la empresa	Shaw et al. (2006), Nairn y Fine (2008), Brunk (2010a), Brunk (2010b), Brunk y Blumelhuber (2011), Russell et al. (2016)
Influencias ambientales y contextuales amplias	Chiou y Pan (2008), Hill (2008), Sirgy (2008), Bateman y Valentine (2010), Bartels y Onwezen (2014), Chatzidakis (2015), Arli, et al. (2016), Schlaile et al. (2019), Zou y Chan (2019), Hosta y Zabkar (2021)
Actitudes, normas subjetivas e identidad moral	Shaw y Newholm (2002), Chan et al. (2008), Carrigan y De Pelsmacker (2009), D'Astous y Legendre (2009), Doran (2009), Bray et al. (2011), Lu et al. (2015), Rex et al. (2015), Davies y Gutsche (2016), Heath et al. (2016), Yin et al. (2018), Govind et al. (2019)

2.1 CLÚSTER UNO: BRECHA ENTRE INTENCIÓN Y COMPORTAMIENTO ÉTICO

En la **Tabla 3**, se muestra el top 3 de los autores más citados dentro de este clúster, donde Carrington et al. (2010), propone un modelo conceptual innovador, con relaciones teóricas inexploradas, que podría ayudar a salir del automatismo de compra, recordación de intenciones y cambio de hábitos de compra, incorporando las intenciones de implementación, el control conductual real y el contexto situacional.

Johnstone y Tan (2015), en tanto establecen que las percepciones de los consumidores sobre los factores externos dificultan la adopción de prácticas de consumo más ecológicas (es demasiado difícil ser verde), existencia de percepción desfavorable sobre los consumidores ecológicos (estigma verde), incertidumbre sobre si las prácticas de consumo ecológicas hacen una diferencia para el medio ambiente (reservas verdes). Mientras que Shaw et al. (2016), resalta que el concepto de “cuidado” tiene matices diferenciadores que son relevantes para la comprensión entre la brecha entre intención y comportamiento. Los matices del cuidado se muestran como cuidado “para”, “de”, y “sobre”. La concepción de cuidado muestra diferencias en las respuestas de comportamiento, estas concepciones pueden orientar el comportamiento de compra.

Tabla 3. Top 3 de autores relacionados con “Brecha entre intención y comportamiento ético”.

Author	Article	Journal	Kind of article	Objective	Methodology	Categories/ Variables	Instruments
Carrington et al., 2010	Why Ethical Consumers Don't Walk Their Talk: Towards a Framework for Understanding the Gap Between the Ethical Purchase Intentions and Actual Buying Behaviour of Ethically Minded Consumers	Journal Of Business Ethics	Teórico	Avanzar en la comprensión del consumo ético basados en lo que se sabe sobre la brecha intención-intención	Cualitativa, investigación bibliográfica	(a) Las intenciones de implementación, (b) el control conductual real, (c) el contexto situacional	Bitácora de revisión bibliográfica
Johnstone y Tan, 2015	Exploring the Gap Between Consumers' Green Rhetoric and Purchasing Behaviour	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Comprender por qué los consumidores que se declaran preocupados por el medio ambiente deciden no comprar productos más ecológicos con regularidad, o en absoluto	Cualitativa, Interpretativo, Análisis Temático	(a) características del consumidor, (b) percepciones ecológicas del consumidor, (c) comportamiento de consumo ecológico de los consumidores	Focus group, contó con 51 participantes, de entre 19 a 70 años. Se realizó con guía estructura de un moderador
Shaw et al., 2016	Care and Commitment in Ethical Consumption: An Exploration of the 'Attitude-Behaviour Gap'	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Examinar como los consumidores éticos se refieren sobre la preocupación que mantienen en relación con sus elecciones de consumo	Cualitativa, Método ZMET	(a) preocupación y responsabilidad, (b) compromiso por la preocupación sobre, (c) práctica de la preocupación y atención	Entrevista fenomenológica, aplicadas a 10 voluntarios que se auto identificaron como consumidores éticos, se realizó en una populosa ciudad de Reino Unido, los participantes fueron 8 mujeres y 2 hombres

2.2 CLÚSTER DOS: NORMAS DEONTOLÓGICAS Y CONSUMO ÉTICO

En la **Tabla 4**, se presentan los autores que pertenecen a este clúster, en el cuál Fukukawa (2002), plantea que los individuos no se definen por absolutos morales, por ello sus decisiones de consumo están cimentadas en la evaluación de los beneficios individuales, el nivel de consecuencias para los demás, una valoración de apoyo social, y

la percepción de injusticia con la empresa. El último componente, se formula debe integrar el marco teórico del Comportamiento Ético Cuestionable.

Low y Davenport (2005), introducen el término “lavado de cara” para describir las muchas formas en la que el marketing de comercio justo, a través de los canales de distribución convencional crean oportunidades para que las empresas comerciales se apropien del terreno y lo regulen. También, el marketing convencional ha instaurado el mensaje compras para un mundo mejor, relacionado con productos de comercio justo.

De acuerdo a Al-Khatib et al. (2005), existen tres segmentos entre el consumidor en países en desarrollo, a tener en cuenta al considerar aspectos en el estudio del comportamiento del consumidor. Estos segmentos corresponden a los “compradores con principios”, “compradores sospechosos”, y “consumidores corruptos”. Los miembros del segmento de compradores con principios tienden a ser menos maquiavélicos, menos oportunistas, más confiados en los demás, menos relativistas, más idealistas y percibían las acciones cuestionables de forma negativa. Los “compradores desconfiados” eran menos confiados, tienden a proceder con cautela en sus tratos, son algo oportunistas, pero dan mucha importancia al comportamiento ético y la conducta ética. Por último, los “consumidores corruptos” no son personas confiadas, sin embargo, a diferencia de los “compradores sospechosos”, los “consumidores corruptos” eran maquiavélicos, se aprovechaban de las oportunidades, no tenían una orientación ética y eran más de actuar de forma poco ética.

Tabla 4. Top 3 de autores relacionados con Normas deontológicas en estudio del consumo ético.

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Fukukawa (2002)	Developing a framework for ethically questionable behavior in consumption	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Comprender como y por qué los consumidores se comprometen con el comportamiento ético	Mixto Cual-Cuanti (EFA (Análisis Factorial Exploratorio) y Regresión Logística Binaria)	(a) injusticia percibida, (b) influencia social, (c) consecuencias para terceros, (d) evaluación de los beneficios individuales	Encuesta con preguntas indirectas, aplicada a 500 personas domiciliadas en Nottingham (Reino Unido).
Low y Davenport (2005)	Has the medium (roast) become the message? The ethics of marketing fair trade in the mainstream	International Marketing Review	Teórico	Examinar la ética del marketing de productos de comercio justo y vientos de cambio en los canales de distribución de estos productos	Cualitativo, enfoque conceptual	(a) marketing del comercio justo, (b) canales comerciales principales	NA

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Al-Khatib et al. (2005)	Ethical segmentation of consumers in developing countries: a comparative analysis	International Marketing Review	Estudio empírico	Segmentar el mercado de los consumidores del Golfo considerando las variables de marketing accionables y que generan estrategias	Cuantitativo, Análisis de Clúster multietapas	(a) creencias éticas, (b) maquiavelismo, (c) orientación ética, (d) oportunismo y confianza	Encuesta, aplicada en Arabia Saudí, Oman y Kuwait, con un total de 365 respuestas válidas.

2.3 CLÚSTER TRES: ÉTICA RELACIONADA CON EL PRODUCTO

En este clúster se incluyen autores que tratan sobre la piratería en la música, el consumo ético en sector minorista, y la actitud de consumo de moda (**Tabla 5**). En este sentido, Coyle et al. (2009), identifica que las personas con intención de piratería eran más jóvenes, probablemente hombres y con menores ingresos familiares. Los patrones de consumo de música se asocian con las intenciones de piratería. Los participantes con intención de piratear eran menos propensos a considerar la piratería como algo no ético o ilegal, también eran menos propensos a sentirse en riesgo, más flexibles con relación a la definición de piratería y más propensos a considerar la piratería como aspecto positivo para los músicos, las empresas y los consumidores.

Davies et al. (2012), encontró que el consumo ético no es necesariamente altruista, de baja cognición y no se impulsa por consumidores conocedores y ricos en información. También determinó una experiencia de consumo habitual y orientada a la autosatisfacción, donde la ética y justicia social se observa desde el plano individual hacia la identificación social. Advierte que un excesivo énfasis de información ética en entornos minoristas puede generar un obstáculo para la experiencia positiva del cliente. Adicionalmente, indica que el vacío de información es potencialmente positivo para la adscripción de un significado propio del consumidor sobre productos éticos.

En el sector de la moda, se establece que las actitudes de sus consumidores hacia la sostenibilidad, están determinadas por su nivel general de preocupación por el bienestar social y medioambiental, sus ideas preconcebidas sobre la moda sostenible y su comportamiento previo en relación con las acciones de consumo ético (McNeill y Moore, 2015). Al relacionar las actitudes con el comportamiento, estos mismos autores muestran una importante relación entre la percepción de la moda como objeto funcional o de auto-representación, la influencia de los grupos de iguales y los niveles de conocimiento de los consumidores sobre los productos de moda.

Tabla 5. Top tres de autores relacionados con "Ética relacionada con el producto".

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Coyle et al. (2009)	To buy or to pirate: The matrix of music consumers' acquisition-mode decision-making	Journal Of Business Research	Estudio empírico	Identificar los factores determinantes de la piratería en el consumo de música	Cuantitativo, Análisis de Componentes Principales y Regresión Múltiple Jerárquica	(a) intención de piratería, (b) variables demográficas, (c) consumo de música y piratería, (d) factores actitudinales	Encuesta, aplicada a 204 estudiantes universitarios de la Midwestern University
Davies et al. (2012)	Do Consumers Care About Ethical-Luxury?	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Explorar las motivaciones subyacentes del consumo ético en el punto de compra	Cualitativo, Teoría fundamentada según Spiggle (1994)	(a) salud y bienestar, (b) culpa social, y (c) autosatisfacción	Entrevista semi-estructurada con enfoque escalonado, aplicada a 50 entrevistados en un entorno semi-etnográfico en Reino Unido
McNeill y Moore (2015)	Sustainable fashion consumption and the fast fashion conundrum: fashionable consumers and attitudes to sustainability in clothing choice	International Journal Of Consumer Studies	Estudio empírico	Explorar las actitudes de los consumidores de moda hacia el consumo de moda de sostenible e identificación del impacto en la psique de moda rápida en estas actitudes	Cualitativo, codificación según paradigma de Strauss y Corbin (1990)	(a) enfoque hacia si mismos, (b) la importancia de la moda, (c) interés en al ambiente y bienestar social, (d) percepción de barreras frente al consumo ético, (e) motivación de cambio	Entrevista en profundidad en 2 etapas. La 1era incluye la aplicación de encuesta abierta una muestra pequeña, la 2da se desarrolla la entrevista en profundidad, en una localidad de Nueva Zelanda, a un total de 10 participantes, 5 mujeres y 5 hombres, con niveles de ingresos diferentes

2.4 CLÚSTER CUATRO: CONFIANZA DEL CONSUMIDOR HACIA LA EMPRESA

Este clúster envuelve autores que relacionan al consumo ético con la metáfora del voto, el condicionamiento evaluativo en la publicidad, y la ética percibida del consumidor frente a la empresa (**Tabla 6**). Es así, como Shaw et al. (2006), explica

que los consumidores adoptaron la metáfora del voto, tanto de forma explícita como implícita, donde equipará al consumo como un ámbito ético/político. Las decisiones se enmarcan por una percepción colectiva de consumo, de tal forma que se caracterizó un empoderamiento del consumo. De esta manera, el consumo ético se puede asumir como un proyecto operativizado dentro del mercado, pudiendo así surgir algunas tensiones entre el poder del consumidor y la vida sustentable.

Nairn y Fine (2008), en tanto declaran que la neurociencia y psicología, muestran que las técnicas publicitarias que utilizan los formatos de condicionamiento evaluativo, manipulan el comportamiento del consumidor por medio de un cambio de implícito de las actitudes. Se argumenta que para que exista equidad, debe existir la capacidad de defensa implícita, sin esta última, los niños se convierten en un objetivo de la publicidad subliminal, donde las preferencias están mediadas por medios no conscientes y no racionales a lo que es imposible resistir. Esta situación no solo se replica en niños pre-adolescentes, sino también en adolescentes.

Mientras Brunk (2010a), explica las disparidades entre la perspectiva de los consumidores y la empresa, y se ponen de manifiesto que las fuentes de la ética percibida del consumidor son mucho más diversas y complejas de lo que sugiere la bibliografía.

Tabla 6. Top 3 de autores relacionados con “Confianza del consumidor hacia la empresa”.

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Shaw et al. (2006)	Consumption as voting: an exploration of consumer empowerment	European Journal Of Marketing	Estudio empírico	Comparar teorías de empoderamiento de los consumidores y aplicabilidad de la teoría del consumidor ético	Cualitativa, entrevista fenomenológica	(a) empoderamiento a través del consumo, (b) consumidores con derecho a voto, (c) enfoques de comportamiento, (d) naturaleza de la soberanía del consumo	Entrevistas en profundidad semiestructuradas, con muestra intencionada de 10 consumidores de feria de productos éticos en Escocia
Nairn y Fine (2008)	Who's messing with my mind? The implications of dual-process models for the ethics of advertising to children	International Journal Of Advertising	Teórico	Develar los alcances de la publicidad dirigida a los niños desde los hallazgos de la psicología y la neurociencia	Cualitativo, enfoque conceptual	(a) persuasión implícita, (b) defensa implícita	NA

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Brunk (2010a)	Exploring origins of ethical company/ brand perceptions - A consumer perspective of corporate ethics	Journal Of Business Research	Teórico	Indagar sobre las prácticas empresariales que se juzgan correctas o incorrectas como fuente para la valoración favorable/ desfavorable desde la ética percibida del consumidor	Cualitativo, categorización mediante codificación deductiva e inductiva	Efecto de la ética percibida del consumidor (EPC) sobre (a) los consumidores, (b) los empleados, (c) el medio ambiente, (d) la comunidad extranjera, (e) la economía y la comunidad local, (f) la comunidad empresarial	Entrevista en profundidad, con 20 participantes, definidos como consumidores generales, entre 17 y 83 años. Los consumidores se domicilian en Alemania y Reino Unido. La muestra fue intencionada y en bola de nieve,

2.5 CLÚSTER CINCO: INFLUENCIAS AMBIENTALES Y CONTEXTUALES AMPLIAS

En este clúster (ver **Tabla 7**), se incluye a Bateman y Valentine (2010), quienes determinaron que las mujeres estaban más inclinadas que los hombres a utilizar tanto las filosofías morales basadas en las consecuencias como las basadas en las reglas en situaciones de consumo cuestionables. Las mujeres daban más importancia a una filosofía moral global que los hombres, y las mujeres tenían una mayor intención de comportarse éticamente.

Bartels y Onwezen (2014), en el ámbito de productos alimenticios, indican que los productos con mensajes sobre cuestiones medioambientales o éticas son importantes para los consumidores que aprecian la información relativa a los alimentos, partidarios de los alimentos naturales o de la tecnología, y que no perciben los alimentos como una mera necesidad primaria del consumidor. La promoción de productos con beneficios medioambientales y éticos podría ser más eficaz entre los individuos que se identifican con los consumidores ecológicos. Tanto las características individuales de los consumidores como su entorno social desempeñan un papel importante a la hora de predecir su comportamiento ecológico y ético.

Mientras que Zou y Chan (2019), muestran que los distintos enfoques normativos influyen de forma diferente en la toma de decisiones medioambientales de los consumidores (juicio, intención y posteriormente comportamiento) a través de distintas ideologías éticas. El juicio ético de los consumidores sobre su comportamiento ecológico puede traducirse en las correspondientes respuestas conativas y conductuales.

Tabla 7. Top tres de autores relacionados con "Influencias ambientales y contextuales amplias".

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Bateman y Valentine (2010)	Investigating the Effects of Gender on Consumers' Moral Philosophies and Ethical Intentions	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Determinar en qué medida el género está relacionado con las filosofías morales y las intenciones éticas de los consumidores	Cuantitativo, análisis MANCOVA y ANCOVA	(a) intenciones éticas, (b) filosofía moral basada en reglas, (c) filosofía moral basada en consecuencias, (d) filosofía moral general, (e) edad, (f) educación, (g) experiencia laboral, (h) deseabilidad social, (i) género	Encuesta a estudiantes de grado y posgrado de la Universidad de Midwestern University en EEUU, seleccionados por conveniencia, con un total de 283 cuestionarios completos.
Bartels y Onwezen (2014)	Consumers' willingness to buy products with environmental and ethical claims: the roles of social representations and social identity	International Journal Of Consumer Studies	Estudio empírico	Examinar la influencia de las dimensiones de la representación social y la identificación social en la disposición de los consumidores a comprar productos que hacen afirmaciones relacionadas con los factores anteriormente mencionados.	Cuantitativo, análisis de regresión	(a) representación social, (b) la identificación social, y (c) disposición de compra	Encuesta a través de un estudio de panel online, con 1006 participantes de consumidores del Reino Unido
Zou y Chan (2019)	Why and when do consumers perform green behaviors? An examination of regulatory focus and ethical ideology	Journal Of Business Research	Estudio empírico	Identificar si el enfoque normativo influye efectivamente en el desempeño del comportamiento verde a través del impacto de la ideología ética	Cuantitativo, Modelamiento con Ecuaciones Estructurales	(a) enfoque preventivo, (b) enfoque promocional, (c) idealismo, (d) relativismo, (e) intensidad moral, (f) juicio ético, (g) intención ética, (h) comportamiento ético, (i) atención a la información de comparación social	Encuesta a 350 participantes, aplicada en dos grandes de cadenas de supermercados en Hong Kong y EEUU

2.6 CLÚSTER SEIS: ACTITUDES, NORMAS SUBJETIVAS E IDENTIDAD MORAL

En la **Tabla 8**, se detalla el top 3 de los autores incluidos en este clúster. En el cual, Shaw y Newholm (2002), establecen que a medida que se intensifican los ritmos de vida de los consumidores, algunos de ellos confluyen hacia la simplificación

voluntaria del consumo. Se remarca la existencia de un consumo controlado, sin que esto signifique que la asunción de un consumo voluntario simplificado reemplace a un consumo ético, sino más bien lo complementa. Lo anterior, refleja nichos diversos entre los consumidores éticos que demandan estrategias diferenciadas de comercialización por parte de las empresas.

Sobre el consumo ligado al comercio justo, Doran (2009), estableció que existen interacciones significativas entre los valores personales y el consumo de comercio justo; adicionalmente se halló que los datos demográficos no son apropiados para definir un perfil de consumidor estadounidense de comercio justo. Por último, Bray et al. (2011), establece que los factores: sensibilidad al precio, experiencia personal, obligación ética, falta de información, percepción de calidad, inercia en el comportamiento de compra y cinismo, proporcionan una mayor comprensión sobre el por qué las actitudes éticas no dan lugar a decisiones de compra éticas. Estos factores no reemplazan las teorías existentes, sino que marcan una etapa adicional entre la intención ética y el comportamiento del consumidor.

Tabla 8. Top tres de autores relacionados con "Actitudes, normas subjetivas e identidad moral".

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Shaw y Newholm (2002)	Voluntary simplicity and the ethics of consumption	Psychology & Marketing	Teórico	Analizar la relación de las actitudes de los consumidores con los niveles de consumo y cómo estas actitudes influyen en los enfoques del comportamiento del consumidor	Cualitativo, análisis comparado	NA	NA
Doran (2009)	The Role of Personal Values in Fair Trade Consumption	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Determinar que valores destacan en el consumo estadounidense de comercio justo.	Cuantitativo, análisis MANCOVA	Universalidad, benevolencia, conformidad, seguridad, estimulación, hedonismo, tradición, poder, autodirección, logro	Encuesta aplica de forma online, que contó con 329 respuestas válidas, obtenidas de compradores reales de productos de comercio justo de un conjunto de minoristas de comercio justo por internet

Autor/año	Título	Revista	Tipo de artículo	Objetivo general	Metodología	Categorías/ Variables	Instrumentos de recolección de información
Bray et al. (2011)	An Exploratory Study into the Factors Impeding Ethical Consumption	Journal Of Business Ethics	Estudio empírico	Comprender a través de la revisión bibliográfica y grupos focales de discusión los aspectos que definen la brecha de compra ética	Cualitativo, moderación de grupos focales según Krueger y Casey	sensibilidad al precio, experiencia personal, obligación ética, falta de información, percepción de calidad, inercia en el comportamiento de compra, cinismo y culpa	Grupo focal, organizado en tres grupos, con seis participantes cada uno. Los grupos focales fueron llevados a cabo en Sussex, Hampshire, y Dorset (Reino Unido)

3 REFLEXIONES FINALES

Las fuentes bibliográficas relacionadas con el consumo ético, indexadas en la WoS en los últimos diez años, tienen una ligera inclinación hacia estudios con un enfoque cualitativo, con una fuerte presencia de la revista Journal of Business Ethics, con autores con una alta citación en esta línea de investigación.

La mayoría de las investigaciones revisadas, tratan de determinar el impacto o efecto de diferentes factores/ categorías sobre las decisiones de compra del consumidor, de forma exclusiva o complementadas con variables y modelamientos más cuantitativos. Por último, los clústers utilizados para la clasificación de las fuentes, denominados a) brecha entre intención y comportamiento ético; b) normas deontológicas en estudio del consumo ético; c) ética relacionada con el producto; d) confianza del consumidor hacia la empresa; e) influencias ambientales y contextuales amplias; y f) Actitudes, normas subjetivas e identidad moral, muestran oportunidades de investigación futura, en términos de replicabilidad metodológica, adaptación contextualizada de las investigaciones o investigaciones inéditas por los vacíos aún declarados en el ámbito del consumo ético.

Este estudio, como cualquier investigación, tiene sus limitaciones, derivadas unas por el uso de determinadas palabras claves, y otras por el uso de una sola base de datos. Sin embargo, la presente investigación brinda lineamientos y la necesidad de continuar investigando sobre el consumo ético en contextos específicos, que incluyan bases de datos regionales, e incluyan otros artículos contextualizados al entorno latinoamericano, tesis de titulación y ponencias de eventos reconocidos en la región.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Khatib, J., D'Auria, A. and Rawwas, M. (2005). «Ethical segmentation of consumers in developing countries: a comparative analysis», *International Marketing Review*, 22 (2), 225-246. <https://doi.org/10.1108/02651330510593287>
- Bartels, J. & Onwezen, M. (2014). Consumers' willingness to buy products with environmental and ethical claims: the roles of social representations and social identity, *International Journal of Consumer Studies*, 38, 82-89. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12067>
- Bateman, C. & Valentine, S. (2010). Investigating the Effects of Gender on Consumers' Moral Philosophies and Ethical Intentions. *Journal of Business Ethics*, 95(3), 393-414. <https://www.jstor.org/stable/40785190>
- Bray, J., Johns, N. & Kilburn, D. (2011). An Exploratory Study into the Factors Impeding Ethical Consumption. *Journal of Business Ethics*, 98, 597-608. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0640-9>
- Brunk, K. (2010). Exploring origins of ethical company/brand perceptions – A consumer perspective of corporate ethics. *Journal of Business Research*, 63 (3), 255-262. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296309000770>
- Carrington, M., Neville, B. & Whitwell, G. (2010). Why Ethical Consumers Don't Walk Their Talk: Towards a Framework for Understanding the Gap Between the Ethical Purchase Intentions and Actual Buying Behaviour of Ethically Minded Consumers. *Journal of Business Ethics*, 97, 139-158. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0501-6>
- Cavalcante, WQ de F., Coelho, A. y Bairrada, CM (2021). Sostenibilidad y marketing turístico: un análisis bibliométrico de publicaciones entre 1997 y 2020 utilizando el software VOSviewer. *Sostenibilidad*, 13 (9), 4987. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/su13094987>
- Coyle, J., Gould, S., Gupta, P., & Gupta, R. (2009). "To buy or to pirate": The matrix of music consumers' acquisition-mode decision-making. *Journal of Business Research*, 62 (10), 1031-1037. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2008.05.002>
- Davies, I.A., Lee, Z. & Ahonkhai, I. (2012). Do Consumers Care About Ethical-Luxury?. *Journal of Business Ethics*, 106, 37-51. <https://doi.org/10.1007/s10551-011-1071-y>
- Diaz, E. (2018). El consumo ético entre los jóvenes universitarios españoles. *Revista de estudios de juventud*, 18 (119), 119-144. http://www.injuve.es/sites/default/files/2019/03/publicaciones/cap8_el_consumo_etico_entre_los_jovenes_universitarios_espanoles.pdf
- Doran, C. (2009). The Role of Personal Values in Fair Trade Consumption. *Journal of Business Ethics* 84, 549-563. <https://doi.org/10.1007/s10551-008-9724-1>
- Fukukawa, K. (2002). Developing A Framework for Ethically Questionable Behavior in Consumption. *Journal of Business Ethics*, 41, 99-119. <https://doi.org/10.1023/A:1021354323586>
- Johnstone, M., Tan, L. (2015). Exploring the Gap Between Consumers' Green Rhetoric and Purchasing Behaviour. *Journal of Business Ethics*, 132, 311-328. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2316-3>
- Low, W. and Davenport, E. (2005), «Has the medium (roast) become the message? The ethics of marketing fair trade in the mainstream», *International Marketing Review*, 22 (5), 494-511. <https://doi.org/10.1108/02651330510624354>

McNeill, L. & Moore, R. (2015). Sustainable fashion consumption and the fast fashion conundrum: fashionable consumers and attitudes to sustainability in clothing choice. *International Journal of Consumer Studies*, 39, 212-222. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12169>

Nairn, A. & Fine, C. (2008) Who's messing with my mind?, *International Journal of Advertising*, 27:3, 447-470. <https://doi.org/10.2501/S0265048708080062>

Perianes-Rodriguez, A., Waltman, L., & Van Eck, N.J. (2016). Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), 1178-1195. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157716302036>

Shaw, D & Clarke, I. (1998). Culture, Consumption and Choice: Towards a Conceptual Relationship. *Journal of Consumer Studies and Home Economics*, 22, 3, 163-168. <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/culture-consumption-and-choice-towards-a-conceptual-relationship>

Shaw, D., McMaster, R. & Newholm, T. (2016). Care and Commitment in Ethical Consumption: An Exploration of the 'Attitude-Behaviour Gap'. *Journal of Business Ethics*, 136, 251-265. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2442-y>

Shaw, D. & Newholm, T. (2002). Voluntary simplicity and the ethics of consumption, *Psychology & Marketing*, 19 (2), 167-185. <https://doi.org/10.1002/mar.10008>

Shaw, D., Newholm, T. and Dickinson, R. (2006). Consumption as voting: an exploration of consumer empowerment. *European Journal of Marketing*, 40 (9), 1049-1067. <https://doi.org/10.1108/03090560610681005>

Szmigin, I., & Carrigan, M. (2005). Exploring the dimensions of ethical consumption. *ACR European Advances in Consumer Research*, 7, 608-313. <http://oro.open.ac.uk/15159/>

Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-0146-3>

Zou, L. & Chan, R. (2019). Why and when do consumers perform green behaviors? An examination of regulatory focus and ethical ideology, *Journal of Business Research*, 94, 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.04.006>

CAPÍTULO 2

VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO (ESPAÑA) MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO LU-IV¹

Data de submissão: 01/09/2021

Data de aceite: 07/09/2021

Mercedes Arauzo Sánchez

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias Agrarias
Grupo de Contaminación Difusa
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0003-4113-8797>

María Valladolid Martín

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Museo Nacional de Ciencias Naturales
Dpto. de Biodiversidad y
Biología Evolutiva
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0002-7405-1105>

Gema García González

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias Agrarias
Grupo de Contaminación Difusa
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0002-1715-3252>

RESUMEN: La contaminación por nitrato de fuentes difusas es una de las principales causas del deterioro de la calidad de los recursos hídricos subterráneos a escala global. Recientes investigaciones señalan la necesidad de minimizar la incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, mediante el desarrollo de metodologías robustas que permitan evaluar la vulnerabilidad, bajo un enfoque fuente-vía-receptor, en el contexto de la cuenca hidrológica. El procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017) fue ideado para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas (riesgos asociados al medio físico) y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (riesgos asociados a los usos del suelo en territorios intrínsecamente vulnerables) con el objetivo de mejorar la delimitación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitrato (ZVN). Esta metodología utiliza parámetros sencillos y fácilmente disponibles que, combinados en un entorno de SIG, permiten evaluar con precisión la vulnerabilidad (intrínseca y específica) en la totalidad de la cuenca hidrológica susceptible de drenar agua con nitrato en exceso hacia un acuífero receptor. La aplicación del procedimiento LU-IV a la cuenca del río Ebro (España) ha permitido determinar que un territorio de 18.757 km² presenta un nivel de alto a extremo de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato (susceptible de afectar a la calidad de

¹ Este capítulo es un extracto del artículo publicado en Estudios Geológicos con la siguiente referencia: Arauzo, M., García, G., Valladolid, M., 2020. Cartografía de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por nitratos de fuentes difusas en la cuenca del río Ebro (N.E. de España). Estudios Geológicos 76, e132. <https://doi.org/10.3989/egool.43868.586>

sus aguas subterráneas), por lo que las zonas identificadas podrían ser potencialmente designables como ZVN. Esta superficie difiere de los 9.796 km² designados oficialmente como ZVN por las administraciones autonómicas con competencias en la cuenca del Ebro. Si bien las zonas oficialmente designadas coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación, la aplicación del nuevo procedimiento LU-IV ha permitido identificar un 50% más de territorios clasificables como ZVN.

PALABRAS CLAVE: Contaminación Difusa. Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitrato (ZVN). Procedimiento LU-IV. Sistemas de Información Geográfica.

ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO NITRATE POLLUTION IN THE EBRO RIVER BASIN (SPAIN) USING THE LU-IV PROCEDURE

ABSTRACT: Nitrate pollution from diffuse sources is one of the principal causes of groundwater quality deterioration on a global scale. Recent research suggests the need to minimize uncertainty in assessing groundwater vulnerability based on a robust methodology, based on a source–pathway–receptor approach, at the basin scale. The LU-IV procedure (Arauzo, 2017) was devised for mapping intrinsic groundwater vulnerability (risk associated with the physical environment) and specific vulnerability to nitrate pollution (risk associated with land use in areas intrinsically vulnerable), with the final goal of improving the nitrate vulnerable zones (NVZ) delineation. This methodology uses simple and readily available parameters combined in a GIS environment that allows assessing groundwater vulnerability in the entire catchment area that potentially can drain water with nitrate in excess into a receiving aquifer. The LU-IV procedure applied to the river Ebro basin (Spain) revealed a surface area of 18,757 km² under high to extreme vulnerability to nitrate pollution (susceptible to affect groundwater quality). These results differ from the 9.796 km² of NVZ designated by the Spanish regional administrations with competencies in the Ebro river basin. Although the officially designated NVZ are consistent with the results of this research, the application of the new procedure allowed us to identify 50% more surface area that could be classified as NVZ.

KEYWORDS: Diffuse Pollution. Nitrate Vulnerable Zones (NVZ). LU-IV Procedure. Geographic Information Systems.

1 INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea (UE), la Directiva de Nitratos (91/676/EEC; Council of the European Communities, 1991) establece que las masas de aguas deben considerarse afectadas por contaminación de nitrato cuando su concentración excede los 50 mg L⁻¹. La Directiva establece la obligatoriedad por parte de los Estados miembros de identificar las zonas cuya escorrentía o filtración afecte o pueda afectar a la contaminación por nitrato de las masas de agua. Estos territorios deben ser designados bajo la denominación de zonas vulnerables a la contaminación por nitrato (ZVN). En las ZVN deben implementarse programas de acción orientados a la recuperación de la calidad del agua y a la prevención de la contaminación por nitrato. Sin embargo, habiéndose constatado la necesidad de

mejorar la precisión en las designaciones y la efectividad de los programas de acción (Commission of the European Communities, 2007; Arqued, 2018), en la UE todavía no se ha definido un criterio común para la identificación y designación de las ZVN.

Durante las últimas décadas, los mapas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas basados en la aplicación de índices de vulnerabilidad mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido ampliamente utilizados por las Administraciones en la toma de decisiones sobre políticas de planificación de los recursos hídricos, si bien, todavía deben resolverse algunas lagunas metodológicas relacionadas con la inclusión o exclusión de determinados parámetros de los índices y las calificaciones y pesos relativos asignados a cada parámetro en la evaluación de riesgos (Kumar *et al.*, 2015). En este sentido, Machiwal *et al.* (2018) subrayan la necesidad de minimizar la incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad mediante el desarrollo de una metodología robusta y global, que permita evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas en un entorno de SIG, bajo un enfoque fuente-vía-receptor (en el contexto de la cuenca hidrológica) y mediante procedimientos válidos para diferentes escalas espaciales y condiciones hidrogeológicas y climáticas. En este contexto, el procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017) fue desarrollado con el doble propósito de: (1) ofrecer una herramienta efectiva para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas (que evalúa los riesgos asociados a factores del medio físico) y su vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (que evalúa los riesgos de lixiviación de nitrato asociados a los usos del suelo en territorios intrínsecamente vulnerables) y (2) mejorar la identificación y la designación de las ZVN.

El procedimiento LU-IV combina, mediante la aplicación de funciones lógicas de un SIG, el mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV, basado en el índice IV; Arauzo, 2017) y el mapa de los riesgos asociados a los usos del suelo (mapa LU; Arauzo, 2017), para finalmente obtener el mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato. Al comparar los resultados del procedimiento LU-IV con otros modelos paramétricos de vulnerabilidad como DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) y GOD (Foster, 1987), el procedimiento LU-IV demostró una mayor eficacia en la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca y específica, y una mejor capacidad predictiva de las zonas de los acuíferos contaminadas por nitrato y de las zonas en riesgo de contaminación (Arauzo *et al.*, 2017). El método presenta las siguientes características diferenciales: (1) utiliza parámetros sencillos y fácilmente disponibles para alimentar el modelo, (2) evita la asignación de un peso específico a cada parámetro (al haberse constatado que el peso efectivo de los parámetros puede variar en función del tamaño y de las características de la cuenca o unidad territorial de análisis), (3) evalúa la totalidad de la cuenca hidrológica que puede potencialmente drenar agua hacia un acuífero receptor y (4) permite realizar actualizaciones del mapa de vulnerabilidad específica (a

medida que se producen cambios en los usos del suelo y se generan nuevas versiones del mapa *LU*). Recientemente, el procedimiento LU–IV ha sido mejorado mediante el afino de los valores de riesgo que se asignan a los diferentes tipos de cultivo en el mapa *LU* (Arauzo *et al.*, 2019). Estos nuevos valores “afinados” fueron obtenidos a partir de datos empíricos sobre los excedentes anuales de N por tipos de cultivo (procedentes de los informes anuales sobre el balance de N en la agricultura española; MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017), lo que nos ha permitido mejorar, aún más si cabe, la fiabilidad y precisión del procedimiento.

A día de hoy, la tercera parte de las masas de agua subterránea de la Demarcación de la Cuenca del Ebro (España) presenta áreas contaminadas por nitrato procedente de fuentes difusas (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b), siendo los acuíferos aluviales los más gravemente afectados. Atendiendo a los requerimientos de la Directiva de Nitratos, las diferentes administraciones autonómicas españolas con competencias en la cuenca del Ebro han realizado designaciones de ZVN durante las dos últimas décadas, sobre las que se vienen implementándose programas de acción para la recuperación de la calidad del agua. No obstante, dado que el actual marco normativo de la UE no ofrece con una metodología normalizada para la designación de ZVN, la disparidad de criterios en las designaciones (European Commission, 2013), con mayor o menor acierto, podría estar poniendo en riesgo la eficacia global de los programas de acción (Arauzo & Valladolid, 2013; Worrall *et al.*, 2009).

En esta investigación hemos usado el procedimiento LU–IV (Arauzo, 2017), en su versión mejorada (Arauzo *et al.*, 2019), para cartografiar y analizar la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas en la cuenca hidrológica del río Ebro. Con la aplicación del procedimiento LU–IV, pretendemos ofrecer a las Administraciones y los Agentes Sociales del sector agrario una herramienta que permita mejorar la precisión en la identificación de las ZVN, lo que sin duda ayudará a optimizar los programas de acción para la recuperación de la calidad del agua, de acuerdo con las exigencias de la Directiva de Nitratos y con el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Economic and Social Council of the United Nations, 2018).

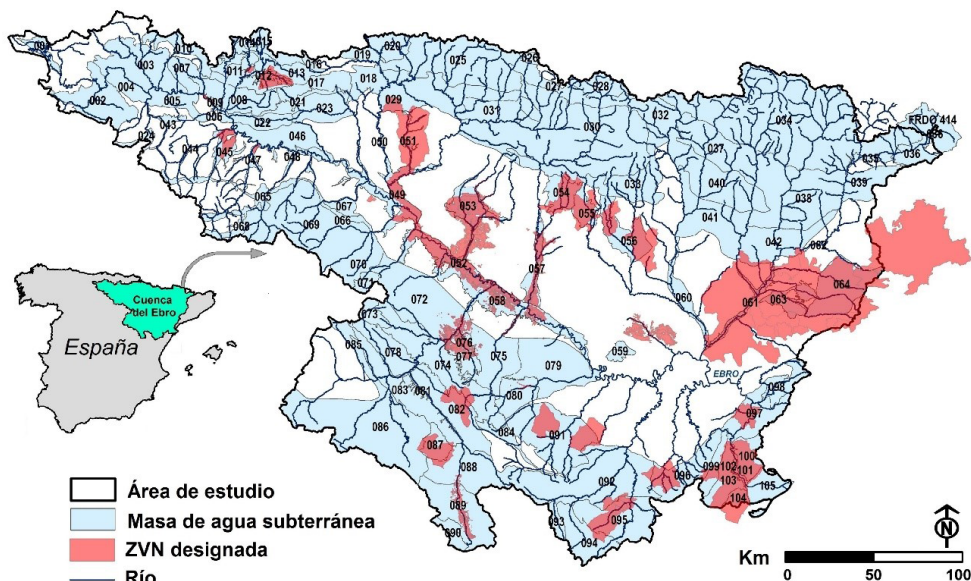
2 ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el territorio de la cuenca hidrológica del río Ebro (N.E. de España; fig. 1). Presenta una extensión total de 85.660 km², en la que se contabilizan 104 masas de agua subterránea principales que, en su conjunto, ocupan el 64% de la cuenca (fig. 1). De acuerdo a su litología, estas masas de agua corresponden

mayoritariamente a acuíferos carbonatados, detríticos no aluviales y mixtos (59% de la superficie de la cuenca) y a acuíferos aluviales (5% de la superficie de la cuenca). El 35% del conjunto de los acuíferos de la cuenca del Ebro presenta áreas con niveles de nitrato por encima de 50 mg L⁻¹, si bien la contaminación por nitrato afecta al 95% de los acuíferos aluviales (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b). Las características específicas de las masas de agua subterránea pueden consultarse en MAGRAMA (2005).

Fig. 1. Demarcación de la Cuenca de Ebro (España). Las 106 masas de agua subterránea principales aparecen etiquetadas con los códigos numéricos asignados por la Confederación Hidrográfica del Ebro (2019b). También se representa las ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas de La Rioja, País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña.



La cuenca del Ebro limita al norte con los montes Vasco–Cantábricos y Pirineos, al sur con el Sistema Ibérico y al este con la cadena Costero–Catalana, dejando entre sí una zona deprimida que corresponde a la depresión del Ebro. Las áreas de montaña presentan un clima típicamente atlántico de montaña, con una precipitación media anual de 700 a 2000 mm (Botey *et al.*, 2013), dependiendo de la zona y altitud. En el resto del territorio el clima varía desde el continental mediterráneo (con una clara gradación semiárida en el centro de la depresión del Ebro), donde la precipitación anual es de 300 a 400 mm, hasta el clima puramente mediterráneo del área del delta del Ebro, con precipitaciones anuales de 400 a 700 mm (Botey *et al.*, 2013).

Entre los riesgos de contaminación difusa asociados a los usos del suelo destacan las actividades agrícolas, siendo la fertilización la principal fuente exógena de compuestos nitrogenados (MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017). La cuenca del Ebro alberga

una superficie agrícola de unos 30.000 km², de los que 9.000 km² son regadíos (SIOSE, 2011), que mayoritariamente se localizan en territorios aledaños a los cursos fluviales.

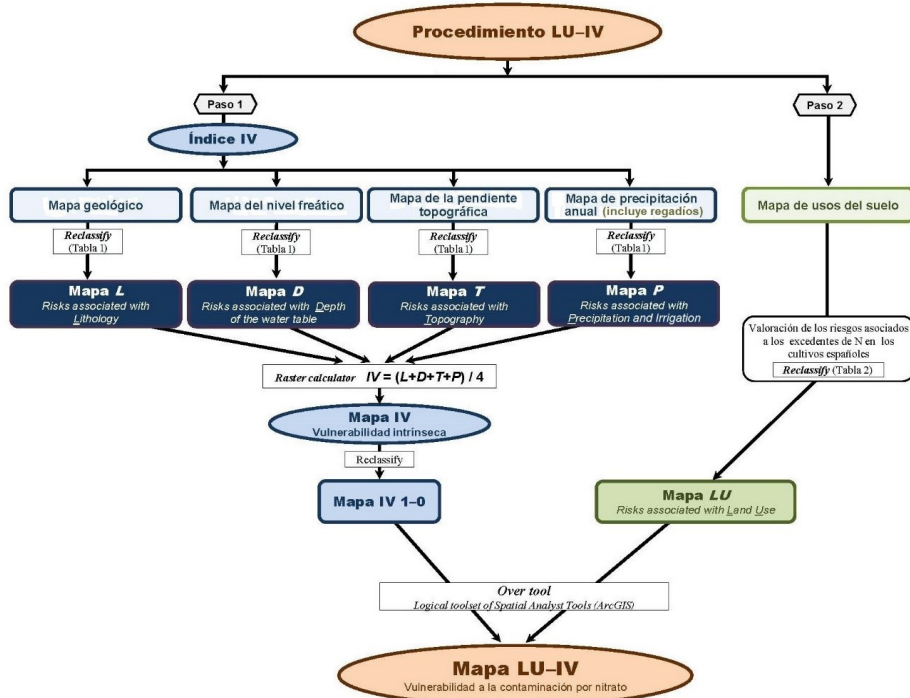
Hasta hoy, cinco de las administraciones autonómicas con competencias para la designación de ZVN en la cuenca del Ebro (La Rioja, País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña) han designado una superficie total de 9.796 km² como ZVN (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b; fig. 1).

2.2 METODOLOGÍA

La cartografía temática se elaboró utilizando las herramientas de Análisis Espacial de ArcGIS 10.3 for Desktop (ESRI, Redlands, CA, USA) y el sistema de referencia espacial ETRS89/UTM zona 30N. Para las capas en formato ráster se empleó un tamaño de pixel de 25 m.

El procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017), para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato, se desarrolla en dos pasos (fig. 2). Utiliza una escala única (de 1 a 10) para todos los parámetros, con cinco rangos de vulnerabilidad que corresponden a: riesgo inapreciable (valores 1-2), riesgo bajo (valores 3-4), riesgo medio o moderado (valores 5-6), riesgo alto (valores 7-8) riesgo extremo (valores 9-10) (tablas 1 y 2).

Fig. 2. Diagrama resumen del procedimiento LU-IV (extraído de la figura 3 en Arauzo et al., 2019).



En el paso 1, el procedimiento genera el mapa ráster de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV; fig. 2) a partir de cuatro parámetros del medio físico combinados mediante el siguiente algoritmo (índice IV):

$$IV = \frac{L + D + T + P}{4}$$

Dónde, *L* representa el riesgo asociado a la litología de la zona no saturada (*Lithology of the vadose zone*), *D* representa el riesgo asociado a la profundidad del nivel freático (*Depth to groundwater table*), *T* representa el riesgo asociado a la pendiente topográfica (*Topography*) y *P* representa el riesgo asociado a la precipitación media anual (*Precipitation*; aunque también incluye, en su caso, el riesgo adicional procedente de los retornos de riego en las áreas de regadío). Para generar los mapas *L*, *D*, *T* y *P* de la cuenca del Ebro se siguió la metodología de Arauzo (2017), donde se describe la procedencia y justificación de los valores de referencia asignados a cada parámetro (tabla 1).

El mapa ráster *L* se elaboró a partir de Mapa Geológico de España (Series MAGNA, Instituto Geológico y Minero de España) escala 1:50.000, en formato digital (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2015), asignando los valores para *L* de la tabla 1.

Para generar el mapa ráster *D*, se partió de capas vectoriales de puntos de las masas de agua (elaboradas a partir de la Red Piezométrica de la Confederación Hidrográfica del Ebro; CHE), con los valores mínimos de profundidad del nivel freático en cada punto para el periodo 2005–2015 (información en formato Excel facilitada por la CHE). Los datos sobre profundidades de niveles freáticos fueron ampliados con información propia, hasta completar un total de 548 puntos de muestreo. Se usaron los valores mínimos de profundidad del freático al representar éstos el escenario menos favorable (de máxima vulnerabilidad) en el que la capa freática se encuentra más próxima a la superficie del terreno. Las interpolaciones a partir de las capas de puntos (para generar los rasters de profundidad del freático) se hicieron acuífero a acuífero, asignando posteriormente (mediante la herramienta *Reclassify* de Análisis Espacial de ArcGIS) los valores para *D* de la tabla 1.

Tabla 1. Valores asignados a los parámetros *L*, *D*, *T* y *P* que conforman el índice IV de vulnerabilidad intrínseca (extraídos de la Tabla 3 en Arauzo *et al.*, 2019).

Litología de la zona no saturada “L”	Valor	Profundidad del nivel freático “D” (m)	Valor
Calizas kársticas; caliches; gravas.	10	0–1 (todas las profundidades para calizas kársticas, caliches, gravas, calcarenitas y caliza de Creta)	10
Calcarenitas; caliza de Creta.	9	>1–3	9

Litología de la zona no saturada “L”	Valor	Profundidad del nivel freático “D” (m)	Valor
Arenas aluviales y fluvio-glaciares; lavas volcánicas recientes.	7-8	>3-5	8
Arenas eólicas; tobas volcánicas; formaciones ígneas/metamórficas fracturadas; formaciones volcánicas antiguas; areniscas, conglomerados.	5-6	>5-10	7
Limos aluviales, loess, till glacial; lutitas.	3-4	>10-13	6
Arcillas; suelos residuales; formaciones ígneas/metamórficas no fracturadas y otros acuífugos.	1-2	>13-20	5
		>20-33	4
		>33-50	3
		>50	2
		Ausencia de acuífero subyacente	1
Pendiente topográfica “T” (%)	Valor	Precipitación media “P” (mm año⁻¹) y, en su caso, efectos del regadío^a	Valor
0-2	10	>900	10
>2-3	9	>800-900	9
>3-4	8	>700-800	8
>4-5	7	>600-700	7
>5-6	6	>500-600	6 (7) ^a
>6-9	5	>400-500	5 (7) ^a
>9-12	4	>300-400	4 (7) ^a
>12-15	3	>200-300	3 (7) ^a
>15-18	2	>100-200	2 (7) ^a
>18	1	0-100	1 (7) ^a

^aEn áreas agrícolas de regadío el valor de *P* se elevó a 7 (riego alto) al existir un riesgo adicional procedente de los retornos de riego.

El mapa ráster *T* se creó a partir del mapa de la pendiente topográfica, generado a su vez a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) de 25 m de resolución (IGN, 2018), al que se asignaron los valores para *T* de la tabla 1 (mediante *Reclassify*).

El mapa ráster *P* se elaboró mediante interpolación, a partir de una capa vectorial de 490 puntos con los valores medios de precipitación anual para el periodo 1981-2010 (Botey *et al.*, 2013), asignando posteriormente los valores correspondientes (mediante *Reclassify*) a los distintos rangos de *P* (tabla 1). Dado que, además, en las zonas de regadío existe un riesgo adicional por los aportes extra de agua procedentes de los retornos de riego, el ráster *P* de precipitación, se amplió incluyendo una valoración de los riesgos asociados a las superficies de regadío (identificadas a partir de SIOSE, 2011). En particular, nos fijamos en los cultivos de herbáceos en regadío (hortícolas y, con menor frecuencia, cereales, herbáceas forrajeras y otras herbáceas en régimen de regadío), generalmente regados mediante sistemas menos eficientes (aspersión e inundación; MAGRAMA, 2015b). Para ello, en las zonas de regadío coincidentes con valores de precipitación entre 1 y 6, de riesgo inapreciable a moderado, el valor final asignado a cada pixel se elevaría a

un valor de 7, correspondiente a un riesgo alto (valoración justificable por la sobrecarga efectiva que suponen los retornos de riego).

Para obtener el mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV), los rasters de los mapas *L*, *D*, *T* y *P* se combinaron aplicando el índice IV, mediante la herramienta *Map Algebra* de Análisis Espacial de ArcGIS.

En el paso 2, el procedimiento genera un ráster de vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (mapa LU-IV; fig. 2) mediante la combinación del mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV, en su versión IV 1-0) y el mapa de riesgos asociados a los usos del suelo (mapa *LU*, que se explica más abajo). Para ello se utiliza la herramienta lógica *Over* de Análisis Espacial de ArcGIS.

Pero antes de aplicar *Over*, reclasificamos el mapa IV a valores 1 y 0 (mediante *Reclassify*). Para ello asignamos el valor 1 a los valores de IV entre 1 y 4 (riesgo inapreciable y bajo) y el valor 0 a los valores de IV entre 5 y 10 (riesgo medio, alto y extremo). Así obtuvimos el mapa ráster IV 1-0 (fig. 2), que permite diferenciar los territorios intrínsecamente vulnerables (con valor de píxel 0) de los no vulnerables (con valor de píxel 1).

Asimismo, para generar el mapa *LU* (*Land Use*; mapa de riesgos asociados a los usos del suelo) se partió como mapa base del Mapa del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España SIOSE 2011, a escala 1:25.000 (SIOSE, 2011; IGN, 2015; de ahora en adelante referido como SIOSE). SIOSE divide el territorio con una malla continua de polígonos de cobertura única, cobertura compuesta, mosaico o asociación. Los *shapefiles* de SIOSE (2011) fueron recortados a la extensión del área de estudio y su tabla de atributos se completó con el parámetro *LU* (tabla 2). Los valores de *LU* (tabla 2) se obtuvieron del estudio de Arauzo *et al.* (2019) y se encuentran fundamentados en el análisis de los datos sobre excedentes anuales de N en los diferentes tipos de cultivo, extraídos de los informes anuales sobre balances de N en la agricultura española para el periodo 2011–2015 (MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017). Del mapa *LU* en formato vectorial se extrajo el mapa *LU* en formato ráster.

Tabla 2. Valores asignados a los riesgos asociados a los usos del suelo (parámetro *LU*; extraídos de la Tabla 4 en Arauzo *et al.*, 2019); los valores preferentes se muestran entre paréntesis.

Uso del Suelo “ <i>LU</i> ”	Valor
Cultivo de hortalizas (hortalizas de hoja, flor y tallo; hortalizas de fruto, como tomate, guisante, judía verde, calabacín, etc.; tubérculos, bulbos y raíces; cultivo de flores); cultivo de cítricos; cultivo de herbáceas forrajeras en regadío.	10
Cultivo de herbáceas forrajeras en secano; cultivo de frutales (no cítricos).	9
Cereales en regadío.	8
Cereales en secano.	7
Piscifactoría; granjas y explotaciones ganaderas; áreas urbanas.	5–8 (7)
Cultivo de almendros.	7

Uso del Suelo "LU"	Valor
Viñedos; leguminosas (grano) en regadío; prados (regados).	6
Leguminosas (grano) en secano; prados y pastizales; cultivo de otras leñosas.	5
Olivar; cultivos industriales en regadío.	4
Cultivos industriales en secano.	3
Matorral.	1-5 (3)
Terreno no productivo.	1-5 (2)
Bosques y áreas naturales.	1

Finalmente, para ejecutar la herramienta *Over*, el ráster IV 1-0 se asignó como la primera entrada de *Over* (fig. 2) y el ráster *LU* como la segunda entrada (fig. 2). *Over* opera de manera que, para los valores de celda en la primera entrada (mapa IV 1-0) que son iguales a 1 (territorios intrínsecamente no vulnerables), el valor de salida será el mismo, es decir 1 (que corresponde a aquellos territorios en los que no es necesario aplicar restricciones de uso). Sin embargo, para los valores de celda que en la primera entrada son igual a 0 (territorios intrínsecamente vulnerables), la salida será la de la celda del ráster de la segunda entrada (mapa *LU*). Como resultado de la aplicación de esta herramienta lógica, obtuvimos el mapa de la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (mapa LU-IV), que completa el procedimiento LU-IV (fig. 2). A partir del mapa LU-IV, es posible identificar con precisión las ZVN.

Toda la información complementaria sobre el diseño, afino, validaciones y aplicabilidad del procedimiento LU-IV puede consultarse en Arauzo (2017) y Arauzo *et al.* (2019).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

El mapa de vulnerabilidad intrínseca (índice IV; fig. 3) reveló que el 20% de la superficie de la cuenca del Ebro (16.959 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 37% (31.977 km²) nivel medio de riesgo, asociados a factores del medio físico (litología, hidrología, topografía y precipitación). En estas zonas, el agua de precipitación (y/o riego) es susceptible de percolar a través de la zona no saturada, convirtiéndose en un vehículo potencial para el transporte de solutos, por infiltración vertical y por escorrentía subsuperficial (en caso de existir pendiente).

Los mapas temáticos que conforman el mapa de vulnerabilidad intrínseca (fig. 3) revelan una escasa capacidad de atenuación del sustrato litológico (mapa *L*) y un alto grado de exposición del manto freático (mapa *D*) en los acuíferos aluviales y en extensas superficies de los carbonatados. La mayor parte de los aluviales presentan, además, un

alto riesgo debido a la escasa pendiente topográfica (mapa *T*), al ocupar las zonas más bajas y aplanadas de las cuencas, donde el agua tiende a acumularse. El riesgo asociado a la precipitación y al riego (mapa *P*) varía con la altitud, la zona climática y el uso del suelo. En el caso particular de los acuíferos aluviales de la depresión del Ebro, donde las precipitaciones son escasas (300–400 mm año⁻¹; fig. 3), el riesgo asociado a los aportes por precipitación se incrementa notablemente en las áreas de regadío (susceptibles de generar retornos de riego con arrastre de nitrato y otros solutos). El impacto potencial de los regadíos en las áreas aluviales es determinante, puesto que, de los aproximadamente 9.000 km² de superficie de regadío de la cuenca del Ebro (SIOSE, 2011), el 30% se distribuye sobre las superficies aluviales, mientras que el 70% restante se encuentra en territorios aledaños a las mismas. Con relación a los riesgos asociados a la precipitación y la pendiente topográfica en las áreas de influencia de los acuíferos carbonatados de zonas de montaña (Sistema Ibérico, Pirineos y montes Vasco–Cantábricos), se observaron niveles de riesgo alto asociado a las elevadas precipitaciones, y niveles de riesgo bajo asociado a las pendientes pronunciadas (mapas *P* y *T*; fig. 3) propias de entornos montañosos.

Tabla 3. Zonas vulnerables en la cuenca del Ebro extraídas a partir de los mapas IV y LU–IV. Se comparan con las ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas. Se muestran diferentes niveles de riesgo (sobre la superficie total de la cuenca y sobre los acuíferos aluviales, los acuíferos no aluviales y los territorios sin masas de agua subyacentes “zona seca”). La superficie que sería potencialmente designable como ZVN de acuerdo al procedimiento LU–IV aparece subrayada y en negrita.

	Área afectada de la cuenca; km ² (%) ^a	Área afectada sobre masas aluviales; km ² (%) ^b	Área afectada sobre masas no aluviales; km ² (%) ^c	Área afectada sobre zona seca; km ² (%) ^d
Mapa IV: Vulnerabilidad intrínseca				
Riesgo alto–extremo:	16.959 (20%)	3.594 (91%)	13.216 (26%)	149 (0,5%)
Riesgo medio:	31.977 (37%)	366 (9%)	21.028 (42%)	10.583 (34%)
Mapa LU–IV: Vulnerabilidad a la contaminación por nitrato				
Riesgo alto–extremo:	18.757 (22%)	2.703 (68%)	8.818 (18%)	7.236 (23%)
Riesgo medio:	6.131 (7%)	335 (8%)	4.371 (9%)	1.426 (4%)
ZVN designadas oficialmente	9.796 (11%)	1.685 (42%)	4.625 (9%)	3.486 (11%)

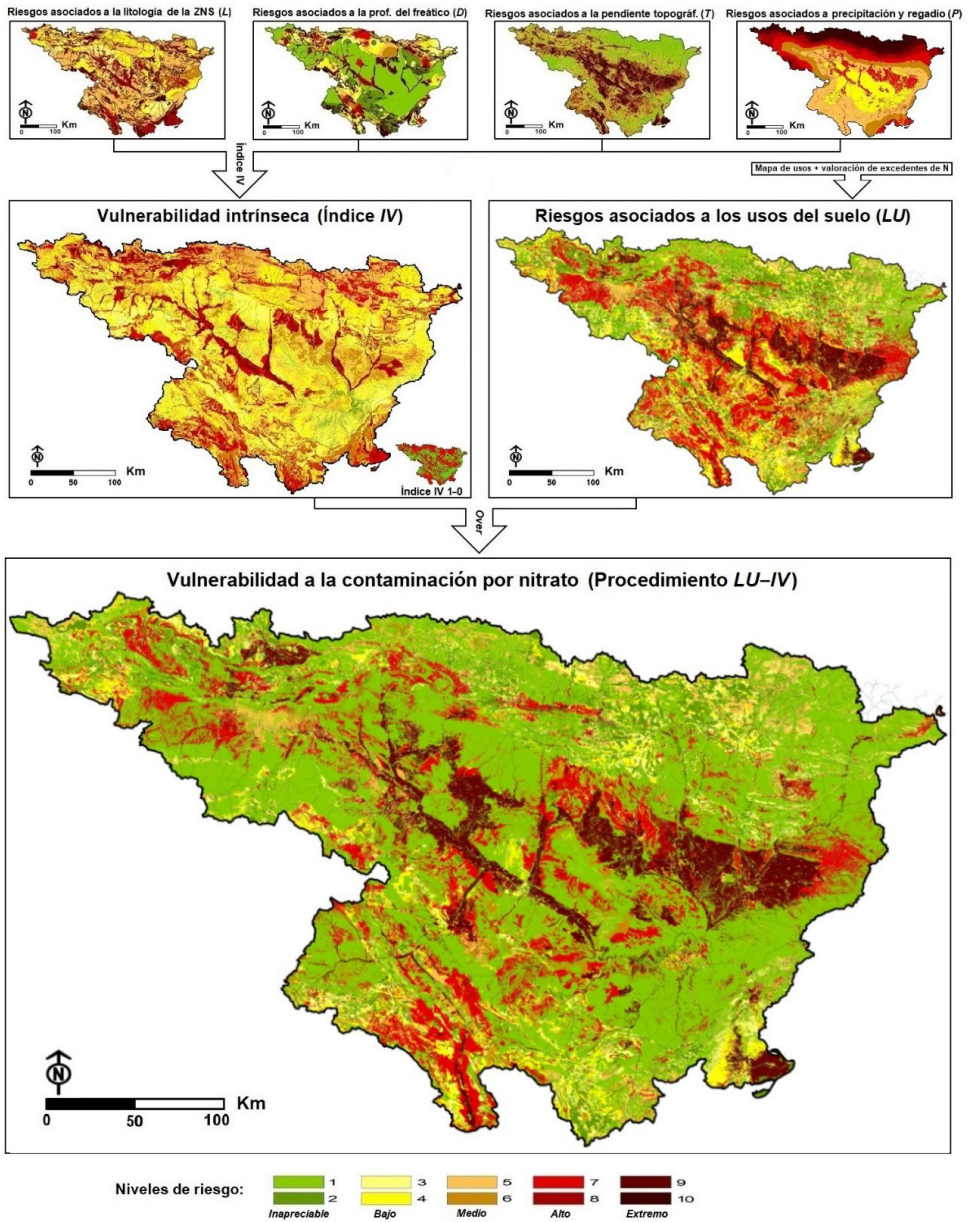
^a Área afectada con relación a la superficie total de la cuenca del Ebro.

^b Área afectada con relación a la superficie total de las masas de agua subterránea aluviales.

^c Área afectada con relación a la superficie total de las masas de agua subterránea no aluviales.

^d Área afectada con relación a la superficie total del territorio sin acuíferos subyacentes.

Fig. 3. Secuencia completa de los mapas temáticos que integran el procedimiento LU-IV.



A partir del mapa de vulnerabilidad intrínseca (fig.3) se comprobó que el 91% del área aluvial de la cuenca del Ebro (3.594 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 9% restante (366 km²) presenta niveles de riesgo medio (tabla 3). La elevada vulnerabilidad intrínseca en la totalidad del territorio aluvial sugiere la necesidad de implementar mecanismos de protección integral de las áreas aluviales. Por otra parte,

el análisis de la vulnerabilidad intrínseca en los territorios sobre las masas de agua no aluviales (acuiferos carbonatados, detríticos y mixtos) reveló niveles de riesgo de alto a extremo en el 26% de su superficie (13.216 km²) y niveles de riesgo medio en el 42% (21.028 km²) (tabla 3). Si bien, en este caso, la superficie relativa afectada resulta menor que la de los territorios aluviales, la superficie efectiva es muy superior. Asimismo, el análisis de la vulnerabilidad intrínseca en los territorios sin masas de agua subterránea subyacentes mostró niveles de riesgo de alto a extremo en el 0,5% de su superficie (149 km²) y niveles de riesgo medio en el 34% (10.583 km²) (tabla 3). Teniendo en cuenta estas consideraciones, para representar los territorios intrínsecamente vulnerables mediante el mapa IV 1-0 (fig. 2 y 3) se adoptó un criterio conservador, incluyendo en su elaboración los territorios con niveles de riesgo medio, alto y extremo (valores del índice IV de 5 a 10). Con esta medida se garantizó que no quedasen excluidas del procedimiento LU-IV aquellas zonas que, aun presentando niveles medios de vulnerabilidad intrínseca (paso 1 del procedimiento), pudiesen estar expuestas a usos del suelo de riesgo alto o extremo (paso 2 del procedimiento).

3.2 VULNERABILIDAD ESPECÍFICA

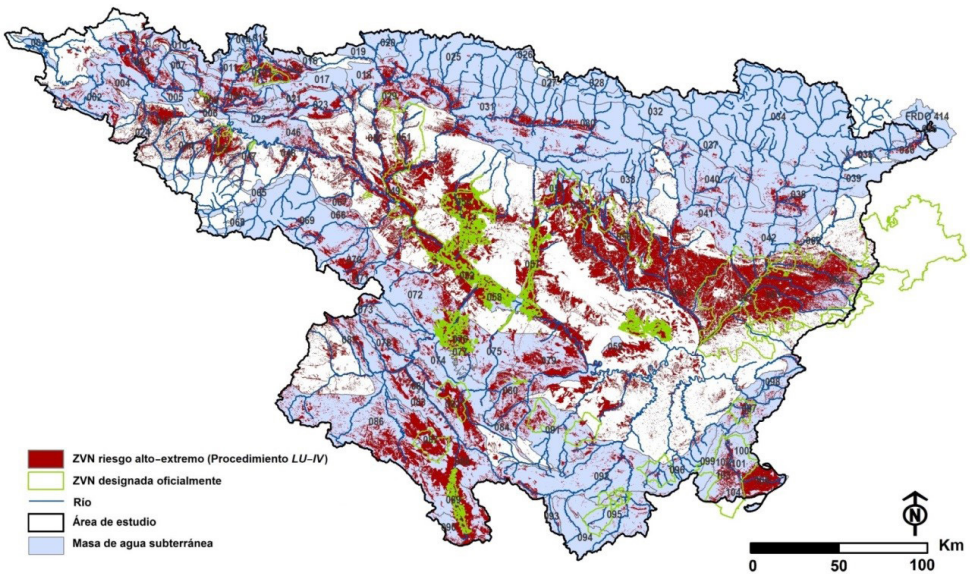
El mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato (fig. 3) permitió determinar que el 22% de la superficie de la cuenca del Ebro (18.757 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 7% (6.131 km²) nivel medio de riesgo (tabla 3). Del conjunto del territorio afectado, el 68% de las áreas aluviales (2.703 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 8% (335 km²) nivel medio de riesgo (tabla 3), constatándose que los territorios aluviales son los más vulnerables a la contaminación por nitrato en superficie relativa. En general, sólo las zonas aluviales de las áreas de las cabeceras de cuenca, protegidas por bosques o áreas naturales, se ven libres de riesgos significativos. Estos datos, sumados al alto grado de vulnerabilidad intrínseca en el 100% de los territorios aluviales, refrendan la necesidad de plantear una protección integral de la totalidad de los mismos, no sólo en la cuenca del Ebro, sino a escala global. Por otra parte, el 18% de los territorios sobre masas de agua no aluviales (8.818 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 9% (4.371 km²) niveles medios. Y por último, en el 23% de los territorios sin masas de agua subterránea subyacente (7.236 km²) se dan niveles de riesgo de alto a extremo y en el 4% (1.486 km²) niveles de riesgo medio (tabla 3). En este caso, el hallazgo de una vulnerabilidad específica elevada en territorios de la cuenca en los que no existen masas de agua subterránea subyacentes, pero desde los que el nitrato podría ser transportado hasta los acuiferos receptores de cotas más bajas,

constituye una aportación novedosa del procedimiento LU-IV que hasta ahora no había sido contemplada por otros modelos de vulnerabilidad (Arauzo, 2017). En la cuenca del Ebro estas zonas representan el 8,4% de su territorio.

3.3 ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO

A partir del mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato resultante del procedimiento LU-IV (fig. 3), fue posible determinar que una superficie de 18.757 km² podría ser potencialmente designable como ZVN (tabla 3). El territorio afectado corresponde al 22% de la superficie de la cuenca del Ebro. Esta superficie es prácticamente el doble que la superficie de 9.796 km² de ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas con competencias de designación en la cuenca del Ebro (11% de la superficie de la cuenca; fig. 1; tabla 3).

Fig. 4. ZVN potencialmente designables (en rojo) estimadas mediante el procedimiento LU-IV. ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas (contornos en verde).



Si bien los territorios oficialmente designados como ZVN coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación (fig. 4), la aplicación del procedimiento LU-IV ha permitido identificar zonas vulnerables que todavía no habían sido desveladas hasta ahora. Asimismo, se ha evidenciado que en algunos territorios designados podría rebajarse el nivel de exigencia. Al analizar el grado de coincidencia entre los rasters de ZVN potenciales (resultado del procedimiento LU-IV) y de ZVN oficiales (designadas por las administraciones autonómicas) (fig. 4), se encontró que el 79% del territorio presentaba

valoraciones coincidentes en ambas aproximaciones, correspondiendo el 73% a zonas valoradas como no vulnerables y el 6% a zonas consideradas ZVN. Por otra parte, el 5% del territorio designado como ZVN oficiales no mostró correspondencia con el ráster de ZVN potenciales, mientras que el 16% del territorio identificado como ZVN potenciales, no presentó correspondencia con el ráster de ZVN oficiales.

4 CONCLUSIONES

La aplicación del procedimiento LU-IV a la cuenca del río Ebro ha permitido determinar que una superficie de 18.757 km² (22% de su superficie total) presenta un grado de vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato de alto a extremo, por lo que los territorios afectados podrían ser potencialmente designables como ZVN. Esta superficie es superior a los 9.796 km² de ZVN designadas oficialmente (11 % de la superficie de la cuenca). Si bien los territorios oficialmente designados coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación, la aplicación del nuevo procedimiento LU-IV ha permitido identificar casi un 50% más de territorios clasificables como ZVN, que todavía no habían sido desvelados.

Las áreas aluviales presentaron el mayor grado de afectación, tanto por su vulnerabilidad intrínseca como por su vulnerabilidad específica, lo que sugiere la necesidad de abordar una protección integral de las mismas, no sólo en la cuenca del río Ebro, sino a escala global.

Los resultados de esta investigación constituyen un paso imprescindible en el análisis espacial de la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato en la cuenca del río Ebro, habiendo contribuido a mejorar el conocimiento de sus ZVN y a delimitarlas con un alto grado de fiabilidad. Esperamos que esta contribución sirva de base para maximizar la eficacia de los programas de acción para la recuperación de las masas de agua subterránea contaminadas por nitrato en la cuenca del Ebro.

El procedimiento LU-IV es herramienta útil y fiable para identificar y delimitar con precisión las NVZ en el contexto de la cuenca hidrológica. Como emplea parámetros sencillos y fácilmente disponibles para alimentar el modelo, esta metodología es especialmente interesante para aquellos territorios con escasa disponibilidad de datos medioambientales.

5 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional la

financiación del Proyecto CGL2016–81110–R (AEI/FEDER, UE), en el que se enmarca esta investigación. Las capas vectoriales de Masas de Agua Subterránea, Red Fluvial, Cuenca del Ebro, Puntos Piezométricos, Mapa Geológico y Zonas Vulnerables de la cuenca del Ebro proceden del Geoportal SITEbro de la Confederación Hidrográfica del Ebro (España), que también nos proporcionó gran parte de la información sobre los niveles freáticos de los acuíferos en formato Excel. Las capas vectoriales del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España SIOSE 2011 y el MDT de 25 m proceden del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (España). Los rasters de vulnerabilidad intrínseca y de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato de la cuenca del río Ebro (España), resultado de esta investigación, pueden descargarse en el siguiente enlace: <https://www.ica.csic.es/index.php/departamentos/departamento-de-suelo-planta-y-calidad-ambiental/contaminacion-difusa/231-principales-logros-recientes>.

REFERENCIAS

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H. & Petty, R.J. (1987). DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/2–87–035, Oklahoma, 622 pp.

Arauzo, M. (2017). Vulnerability of groundwater resources to nitrate pollution: a simple and effective procedure for delimiting Nitrate Vulnerable Zones. *Science of the Total Environment*, 575: 799–812.

Arauzo, M. & Valladolid, M. (2013). Drainage and N-leaching in alluvial soils under agricultural land uses: Implications for the implementation of the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179: 94–107.

Arauzo, M.; García, G. & Valladolid, M. (2019). Assessment of the risks of N-loss to groundwater from data on N-balance surplus in Spanish crops: An empirical basis to identify Nitrate Vulnerable Zones. *Science of the Total Environment*, 696: 133713.

Arqued, V.M. (2018). Es probable que se amplíen las zonas declaradas como vulnerables por la contaminación con nitratos agrícolas. *Tierras*, 268: 120–122.

Botey, R.; Guijarro, J.A. & Jiménez, A. (2013). Valores normales de precipitación mensual 1981–2010. 55 págs. Dirección de Producción e Infraestructuras, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 55 pp.

Commission of the European Communities (2007). Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources for the period 2000–2003 {SEC (2007) 339}. /* COM/2007/0120 final*/, Brussels.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2015). Mapa Geológico de España [mapas en formato digital] 1:50.000. Series MAGNA, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. <http://iber.chebro.es/geoportal/> (acceso el 29 de abril de 2015).

Confederación Hidrográfica del Ebro (2019a). Aguas afectadas por nitratos de origen agrario (2012–2015) <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=19441&idMenu=3811/> (acceso el 2 de diciembre 2019).

Confederación Hidrográfica del Ebro (2019b). Inicio SITEbro. Geodatos. Descarga de datos cartográficos en formato de fichero agrupados por temáticas; Masas de Agua Subterránea; Red Fluvial; Puntos Piezométricos; Mapa Geológico; Zonas Vulnerables. <http://iber.chebro.es/geoportal/index.htm> (acceso el 2 de diciembre 2019).

Council of the European Communities (1991). Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. 12 December 1991. Official Journal of the European Union L 375, 31/12/1991, Brussels.

Economic and Social Council of the United Nations (2018). Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals. Report of the Secretary-General. Chapter II: Where we are in the achievement of the Sustainable Development. Goal 6, Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. <https://undocs.org/E/2019/68> (acceso el 29 julio de 2019).

European Commission (2013). Report from the Commission to the Council and the European parliament on implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2008–2011. 13 pp. Commission Staff Working Document, Brussels.

Foster, S.S.D. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution (van Duijvanbooden, W. & van Waegeningh, H.G., Eds.), Proceedings and Information No. 38, TNO Committee on Hydrological Research, the Netherlands, 69–86.

IGN (2015). Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España. Documento Técnico SIOSE 2011. Versión 1.1. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

IGN (2018). Modelo Digital del Terreno – MDT25 [mapas en formato ráster de 25m de resolución]. Instituto Geográfico Nacional, Madrid. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (acceso el 20 de abril de 2018).

Kumar, P.; Bansod, B.K.S.; Debnath, S.K.; Kumar T., P. & Ghanshyam, C. (2015). Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 51: 38–49.

Machiwal, D.; Jha, M.K.; Singh, V.P. & Mohan, C. (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews*, 185: 901–927.

MAGRAMA (2005). Caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. Tomo V. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

MAGRAMA (2013). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2011. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAGRAMA (2015a). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2013. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAGRAMA (2015b). Informe sobre regadíos en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística, Madrid.

MAPAMA (2016). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2014. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAPAMA (2017). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2015. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MARM (2009). Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España 2000–09 [mapas en formato digital] 1:50.000. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España, Madrid.

SIOSE (2011). SIOSE 2011 Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España [mapas en formato digital] 1:25.000. ©Instituto Geográfico Nacional, Madrid. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=SIOSE> (acceso el 13 de octubre de 2018).

Worrall, F.; Spencer, E. & Burt, T.P. (2009). The effectiveness of nitrate vulnerable zones form limiting surface water nitrate concentrations. *Journal of Hydrology*, 370, 21–28.

CAPÍTULO 3

ECOSISTEMAS DE EMPRENDIMIENTO, DE LO NACIONAL A LO REGIONAL, SANTANDER UNA APUESTA

Data de submissão: 14/10/2021

Data de aceite: 29/10/2021

Mónica María Pacheco Valderrama

Ingeniera de Alimentos
M.Sc. Ciencia y
Tecnología de Alimentos
cPh.D. en Gestión
Instituto Universitario de la
Paz-UNIPAZ
Escuela de Ingeniería Agroindustrial
Km 14 vía Bucaramanga
Campus Universitario Santa Lucía
Barrancabermeja, Santander
Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-2051-4589>

Olga Cecilia Alarcón Vesga

Ingeniera Agroindustrial
Esp. Gerencia Financiera
Instituto Universitario de la
Paz-UNIPAZ
Escuela de Ingeniería Agroindustrial
Km 14 vía Bucaramanga
Campus Universitario Santa Lucía
Barrancabermeja, Santander
Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-9689-5122>

RESUMEN: Este artículo tiene como objetivo, realizar una revisión sobre los ecosistemas de emprendimiento colombianos pasando del contexto nacional al regional, tomando como referencia autores representativos en el tema, el presente documento se realizó con una metodología teórico descriptiva de tipo documental, utilizando herramientas como las plataformas Web Of Science (WOS) y Scopus para encontrar artículos pertinentes a la investigación, además de emplear diversas bases de datos para la localización de los documentos bibliográficos. A fin de limitar y aclarar la definición en los ecosistemas emprendedores y sus componentes en el departamento de Santander.

PALABRAS CLAVE: Emprendimiento. Ecosistemas de Emprendimiento. Santander.

ENTREPRENEURSHIP ECOSYSTEMS FROM THE NATIONAL TO THE REGIONAL LEVEL

ABSTRACT: The objective of this article is to carry out a review of Colombian entrepreneurship ecosystems, moving from the national to the regional context, taking as a reference representative authors on the subject, this document was carried out with a theoretical descriptive methodology of a documentary type, using tools such as platforms Web Of Science (WOS) and Scopus to find articles relevant to research, in addition to using various databases to locate

bibliographic documents. In order to limit and clarify the definition in entrepreneurial ecosystems and their components in the department of Santander.

KEYWORDS: Entrepreneurship. Entrepreneurship Ecosystems. Santander.

1 INTRODUCCIÓN

(Koe, 2010) El emprendimiento a menudo se define como la búsqueda de oportunidad de riqueza económica a través de iniciativas creativas del individuo que opera en un entorno incierto limitado por recursos tangibles limitados (Austin, Stevenson, & Wei-Skillern, 2006) (Mitchell, y otros, 2002). El encuadre del emprendimiento dentro de la teoría económica asume el modelo racionalista del hombre. La racionalidad económica descuida las capacidades humanas idiosincrásicas que promueven la flexibilidad y el uso de la discrecionalidad social para derivar soluciones innovadoras prácticas (Baumol, 1968) (Loasby, 2007). La teoría económica también ignora las diferencias en los valores humanos, las capacidades y el poder de la voluntad humana (Loasby, 2007). Los investigadores anteriores se han centrado principalmente en el emprendimiento comercial con un énfasis en los rendimientos financieros sobre las redes sociales. (p, 259). De otra parte, (Mazzarol, 2012) hace referencia a la innovación como característica importante del crecimiento en la economía y desarrollo de un país; por ello, a nivel mundial los gobiernos se han enfocado a incentivar la producción de innovación con la única perspectiva que se impulse la actividad económica por medio del emprendimiento.

Para continuar con esta revisión sobre los ecosistemas de emprendimiento se hace necesario definir el concepto de emprendedor como individuo el cual se ha transformado con el paso de los años; iniciando por (Cantillon, 1756) definiéndolo como una persona que compra productos a un precio determinado en el presente, los combina y modifica de forma conveniente para obtener uno nuevo y posteriormente venderlo a precios inciertos, en este ejercicio el emprendedor no tiene la certeza contar con un retorno seguro asumiendo así los riesgos y la incertidumbre presentes en el mercado; (Knight, 1921-1942) manifiesta que el emprendedor carga con la incertidumbre de la dinámica del mercado; (Schumpeter, 1934) afirma que el emprendedor es un innovador que busca el cambio en los mercados de forma activa; (Kirzner, 1973) menciona al emprendedor capaz de reconocer las oportunidades y tomar acciones para hacer parte de ellas y a su vez tiene habilidades para aprovecharse las imperfecciones del mercado; (Gerber, 1996) hace mención al emprendedor como innovador, un gran estratega, creador de nuevos métodos para penetrar o desarrollar nuevos mercados; con personalidad creativa, desafiando lo

desconocido, transformando posibilidades en oportunidades. Caos en armonía.; para (Lezana & Tonelli, 1998), los emprendedores son personas que persiguen el beneficio, trabajando individual o colectivamente. Definiéndose como individuos que innovan, identifican y crean oportunidades de negocios, con nuevas combinaciones de recursos (función de producción), para lograr mejores beneficios de sus innovaciones en un medio incierto, si bien es cierto cada autor describe al emprendedor desde la óptica de su entorno y época todos concuerda con la idea del emprendedor como persona innovadora y única capaz de aprovechar las oportunidades.

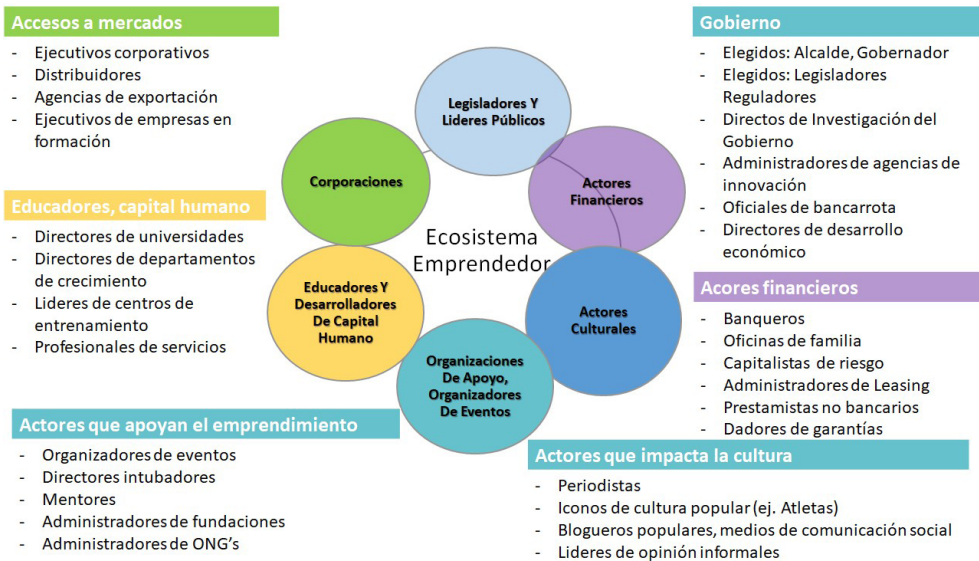
De igual forma, autores como (Caballero et al., 2014; García y Valencia, 2009; Isenberg, 2011) han desarrollado investigaciones enfocadas principalmente en los factores psicológicos, sociodemográficos y socioculturales presentes en el emprendedor, observando sus factores psicológicos, la capacidad de relación que favorezcan su capacidad emprendedora y finalmente las características de entorno dando lugar a la figura o metáfora de “ecosistemas de emprendimiento”.

2 EL ECOSISTEMA

El concepto de ecosistema emprendedor se utiliza por primera vez en un artículo de Harvard Business Review (Moore, 1993) en donde se argumentó que “las empresas no actúan en un vacío sino en un complejo entramado de relaciones con clientes, proveedores e inversores”. de igual forma, (Isenberg, 2010) definió los seis (6) pilares o campos en los que se sustentan los ecosistemas emprendedores descritos en la figura 1 y estos pilares se interrelacionan entre sí dependiendo de las condiciones y características de cada entorno, se formará un ecosistema propio.

Recientemente autores como (Ács et al., 2015, Foster y Shimizu, 2013, Simatupang et al., 2015). Afirman como en los últimos decenios los gobiernos, las empresas privadas, las universidades y diferentes comunidades han enfocado su atención a este tipo de ecosistema reconociendo su potencial de políticas integradas, estructuras, programas y procesos que fomentan las actividades emprendedoras en una región y pueden apoyar la innovación, el crecimiento del empleo y la productividad.

Figura 1. Pilares del ecosistema emprendedor adaptado de (Isenberg, 2010) y (Onyemah, 2016). Traducción Zaira M. López.



Fuente: adaptado de (isenberg, 2010) y (Onyemah, 2016). Traducción Zaira M. López.

En el año 2015 el *Global Startup Ecosystem Ranking* publica los 20 mejores ecosistemas emprendedores en el mundo siendo estos:

- | | | | |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|
| 1. Silicon Valley | 6. London | 11. Paris | 16. Sidney |
| 2. New York | 7. Chicago | 12. Sao Paulo | 17. Toronto |
| 3. Los Ángeles | 8. Seattle | 13. Moscow | 18. Vancouver |
| 4. Boston | 9. Berlín | 14. Austin | 19. Ámsterdam |
| 5. Tel Aviv | 10. Singapur | 15. Bangalore | 20. Montreal |

Con la información anterior, Innpulsa manifiesta que los mejores sitios para emprender se encuentran ubicados en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá, Rusia, Australia, Israel entre otros y a su vez se permite concluir que en países con mayor desarrollo tecnológico surge mayor innovación y, por tanto, mayor emprendimiento, lo cual se refleja finalmente en mayor crecimiento económico (efecto circular).

De igual forma, se observa que dentro de esta lista no se hace presente Colombia y de acuerdo a (INNPULSA, 2015) se debe a que la figura de emprendimiento es reciente y se encuentra en pleno proceso de expansión y consolidación, y actualmente se cuenta con la Ley 1014 del 2006 “De Fomento a la cultura del emprendimiento” donde en el artículo 13 se establece como obligatoria la enseñanza a fin de transmitir en todos los niveles escolares conocimiento, formar actitud favorable al emprendimiento, la innovación

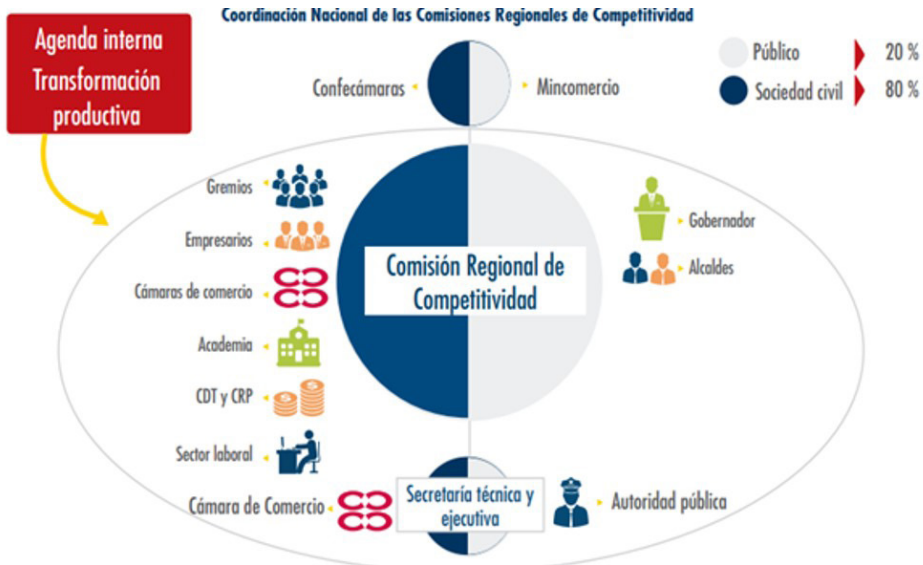
y la creatividad a fin de desarrollar competencias para generar empresas. Igualmente se resalta el artículo 20 “**Programas De Promoción Y Apoyo A La Creación, Formalización Y Sostenibilidad De Nuevas Empresas.** Con el fin de promover el emprendimiento y la creación de empresas en las regiones, las Cámaras de Comercio, las incubadoras de empresas desarrollarán programas de promoción de la empresariedad desde temprana edad, procesos de orientación, formación y consultoría para emprendedores y nuevos empresarios, así como servicios de orientación para la formalización. También las Cámaras facilitarán al emprendedor, medios para la comercialización de sus productos y/o servicios, así como la orientación y preparación para el acceso a las líneas de crédito para emprendedores y de los programas de apoyo institucional público y privado existentes.” con lo cual se busca incentivar la cultura y creación de ecosistemas emprendedores.

Actualmente en Colombia existe una estructura denominada El Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTel) como el conjunto de leyes, políticas, estrategias, metodologías, técnicas y mecanismos, que implica la gestión de recursos humanos, materiales y financieros de las entidades de la administración pública en coordinación con los del sector privado, así como las entidades del Estado responsables de la política y de la acción en los temas relacionados con la política de competitividad, productividad e innovación. (SNCCTel, 2015) Con lo anteriormente expuesto se puede afirmar que en Colombia se viene apoyando el emprendimiento desde diversos sectores dando lugar a su propio ecosistema emprendedor.

Si bien es cierto todos los ecosistemas no son iguales ni replicables en todos los entornos, en Colombia desde la dirección del gobierno nacional y con la integración sectorial se busca dar las condiciones para su desarrollo, con lo anterior y de acuerdo a (Innpulsa; Cluster Development y Universidad del Rosario, 2018) desde del año 2006, el Sistema Nacional de Competitividad integró los esfuerzos de las instituciones públicas y privadas relacionadas con la promoción de la competitividad en Colombia, con el fin de “coordinar y articular, al interior de cada departamento, la implementación de las políticas de desarrollo productivo, de competitividad y productividad, de fortalecimiento de las micro, pequeñas y medianas empresas” (Gómez, & Mitchell, 2016), se crean entre 2007 y 2008, treinta y dos (32) Comisiones Regionales de Competitividad (CRC), una en cada departamento, bajo una política orientada a la participación de los actores locales en el desarrollo competitivo del país (Moguillansky, 2013). En ese marco de actuación, las Comisiones iniciaron la articulación (Figura 2) de diferentes instancias locales de trabajo existentes para la promoción de la competitividad y la productividad, tales como los Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación; los Comités Universidad-Estado-Empresa; los Comités de Biodiversidad; las Redes Regionales de

Emprendimiento; los Comités Departamentales de Turismo; los Consejos Regionales de Pyme; los Consejos Ambientales Regionales, entre otras.

Figura 2. Diseño institucional de las Comisiones Regionales de Competitividad.



Fuente: Presidencia de la República, Alta Consejería para la Competitividad y Productividad, 2007.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito cada departamento del territorio nacional identifica sectores estratégicos, y detallan necesidades y acciones para potenciarlos. Las bases para la elaboración de los Planes Regionales de Competitividad (PRC) fueron, sobre todo, los insumos y apuestas departamentales de la agenda interna liderada, desde el nivel central, por el DNP-, y los Planes de Desarrollo Departamentales de vicencias anteriores. (Gómez, & Mitchell, 2016)

3 SANTANDER, SU ECOSISTEMA

A continuación se hará una descripción del ecosistema de emprendimiento en el departamento de Santander descrito por (Innpulsa, 2016) centrándose principalmente en el área metropolitana de Bucaramanga y Cúcuta, donde en el año 2005 algunas instituciones preocupadas por el desarrollo del emprendimiento en Santander tomaron la iniciativa de unirse y conformar una red de instituciones con el fin de promover el emprendimiento en la región. Es así como surge la Red del Oriente Colombiano para el Emprendimiento (ROCE), impulsora de una nueva cadena de alianzas entre universidades e instituciones de Santander para fortalecer la cultura emprendedora y poner a marchar proyectos sociales en la región.

A pesar del interés se presentan dificultades conexas con la participación de los integrantes, obtención de recursos, falta de compromiso institucional y liderazgo, en el año 2008 cesaron las reuniones y actividades de la red por lo cual la iniciativa ROCE quedó como una experiencia espontánea de asociatividad donde se reconocieron los trabajos de los miembros interesados, y los retos que implicaron la construcción de un plan estratégico regional en sintonía con el plan estratégico de la red nacional.(Innpulsa,2016).

En el plan de desarrollo PD de los periodos 2008 -2011 “Santander Serio” ejecutó las actividades y proyectos para avanzar hacia la consolidación del corredor de negocios internacionales y de la competitividad, y se planteó específicamente el eje temático (Innpulsa, 2016) “Competitividad para el crecimiento económico con desarrollo social”, el cual planteó las líneas estratégicas:

- Avance en ciencia y tecnología
- Santander, ruta turística para Colombia y el mundo
- Santander una empresa formal para todos
- Internacionalización de la economía santandereana

A través de estas líneas estratégicas, se hizo prioritario articular la academia, el sector productivo y el Estado con miras a fortalecer la competitividad regional y subregional; fortalecer el sector turismo, formular una política pública de desarrollo empresarial del departamento de Santander, y crear las condiciones adecuadas para potencializar la actividad empresarial de la región.

En lo que respecta al PD 2012 - 2015 se plantearon dos líneas estratégicas, y se establecieron importantes programas para promover cadenas productivas y generar clústeres estratégicos para el departamento:

Santander competitivo y global: manejaría dos programas orientados al apoyo empresarial, a saber, el programa de formación a la cultura de emprendimiento –formalización empresarial e inserción laboral– y el programa de desarrollo empresarial y acceso a nuevos mercados, buscando promover la creación de empresas en sectores estratégicos de la economía.

Santander con ciencia, tecnología e innovación: línea estratégica en la cual el departamento sería facilitador de polos como el del ecosistema de innovación, transferencia de tecnología y competitividad del país, mediante la articulación sinérgica Universidad Empresa – Estado (UEE).

Además, dentro de la línea de acción de modelo territorial planteado en el PD 2012-2015, se pretendió aumentar los niveles de centralidad y facilidades urbanas, de manera que los sectores económicos pudieran aprovechar, ordenada y sustentablemente sus ventajas

territoriales, para lo que buscaba fortalecer a Bucaramanga y Barrancabermeja como ciudad región, lo cual implicaría especializar aún más sus servicios de salud, educación, tecnología, agroindustria, petróleo y turismo (Alcaldía de Bucaramanga, 2012, p.95).

De acuerdo al PD “Santander nos Une”, 2016-2019, el fortalecimiento empresarial e industrial no cuenta con una estrategia sostenible, por lo que el objetivo no es impulsar únicamente los sectores líderes del crecimiento económico, sino una apuesta integral por el cierre de brechas en todas las dimensiones del desarrollo de la región y promover la implementación de sistemas de información, aplicaciones y soluciones en general, para el Diamante Digital, en tanto espacio que integra usos diversos con alto componente tecnológico, generando sinergias intersectoriales (Departamento de Santander, 2016, p. 186).

Dando continuidad al fortalecimiento de estos ecosistemas, en el PD “siempre Santander” 2020-2023 hace una revisión sobre las principales actividades económicas que son hoy una tendencia a nivel global figura 3, en donde se resalta los negocios verdes y desarrollo sostenibles ofertando bienes o servicios que generen impactos ambientales positivos y además incorporen buenas prácticas ambientales, sociales y económicas con enfoque de ciclo de vida, contribuyendo a la conservación del medio ambiente y la economía circular, Según la Oficina de Negocios Verdes del Ministerio de Ambiente, en el país hay 1.414 negocios verdes, los cuales han generado 21.053 empleos (Minambiente, 2019), en donde se destaca emprendimientos relacionados a la producción orgánica y ecológica como cafés especiales, cacao, panela, frutas, hortalizas, miel de abejas, elaboración de artesanías y turismo de naturaleza pertenecientes al departamento de Santander.

Así mismo, dentro del PD siempre Santander” 2020-2023 y de acuerdo con la universidad de EAFIT señalan los sectores potenciales para emprender serán los siguientes:

Sector Bienestar: desarrollando la producción e bienes y servicios dirigidos al bienestar y estilo de vida en general: recreación, vivienda, ejercicio, turismo, mejoramiento de las condiciones de salud (telemedicina) para las personas en edades mayores.

Energías renovables: Según el Estudio de Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2015) del Ministerio de Minas y Energía, *“la abundancia relativa de algunas de estas fuentes en un país como Colombia, se presentan como oportunidades para diversificar la canasta energética nacional y paulatinamente transformar su sector energético hacia un modelo cada vez más competitivo y sostenible”*.

Actividades culturales: partiendo de la información suministrada por la Cuenta Satélite de Cultura y Economía Naranja del (DANE, 2019) y el Ministerio de Cultura, a septiembre del 2018 las actividades de este sector generaron para el país un valor

agregado de \$28,4 billones, representando un aporte de 3,2% al PIB nacional. Por segmentos, las áreas que más aportaron fueron las Creaciones fundacionales: medios digitales y software (44,27%) y publicidad (24,46%); Artes y patrimonio: turismo cultural (31,23%) y educación cultural y creativa (30,13%); Industrias creativas: audiovisual (50,60%) y editorial (26,09%). En este sector trabajan alrededor de 539.933 personas, aunque muchos de esos empleos son informales, se logró una participación representativa en el total de las exportaciones registrando un incremento del 9,58% en 2018 frente al 2017, siendo la actividad denominada edición de libros, la más representativa con un aporte del 29,11% y le sigue la fabricación de joyas, bisutería y artículos conexos con un 28,7%.

La Inteligencia Artificial, el Big data y el Blockchain, se han convertido en herramientas que tienen mucho potencial en previsión para atender las necesidades de un mundo cambiante y con alto riesgo debido a las especulaciones.

Figura 3. Sectores de emprendimientos potenciales para Santander.

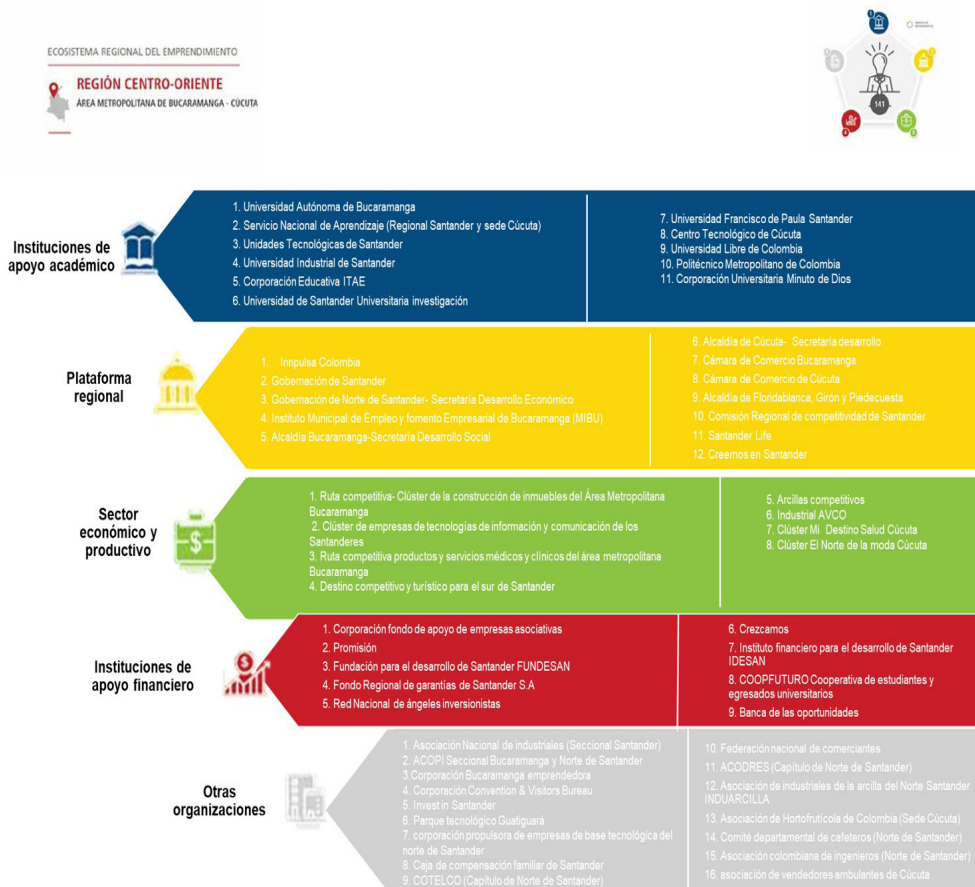


Fuente: autores.

Finalmente, es importante resaltar al departamento de Santander como líder en la generación de nuevas empresas, después de Bogotá, de acuerdo información suministrada por la Cámara de Comercio de Bucaramanga en el año 2018, señalando

la creación de 15.187 nuevas empresas en el departamento. Vale la pena mencionar que para el año 2020 el escenario económico en Santander se vio afectado en ocasión a la pandemia de la COVID19, en donde a pesar de las dificultades en la actividad empresarial, el emprendimiento surge como una alternativa para la generación de nuevos ingresos y esto se evidencia al finalizar el año 2020 con un incremento de 10,24% con respecto a los reportado en el 2018 y registrando 15.564 nuevas empresas en el territorio santandereano según cifras publicada por la Cámara de Comercio Bucaramanga (2021), estos emprendimientos deben ser fortalecidos desde el mismo ecosistema emprendedor a fin de asegurar la permanencia y éxito de los emprendimientos en el departamento de Santander (figura 4).

Figura 4. Ecosistema Regional de Emprendimiento Área Metropolitana de Bucaramanga y Cúcuta.



Fuente: Innpulsa, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Bucaramanga. (2012). "Plan de Acción de IMEBU".

Caballero, S.; Fuchs, R.M.; Prialé, M.A. 2014. The Influence Of The Big 5 Personality Traits On The Social Enterprise Start-up Intentions: A Peruvian Case. *Taylor´s Business Review*, 4(1):1-18. Cabrera, T. 2010. ¿Descentralización Popular? Núcleos.

Cantillon, R. (1755). *Essai Sur La Nature Du Comerse En General*, Londres Y Paris.

Castillo-vergara, M., & Alvarez-marin, A. (2015). La Transferencia De Investigación En Instituciones De Educación Superior Mediante Spin-off. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas En Educación"*, 15 (3), 1-23.

Departamento de Santander, Plan de desarrollo departamental 2016 - 2019 Santander nos une. 2016, p. 186.

García, P.M.; Valencia, P. 2009. Factores De Éxito Del Proceso De Puesta En Marcha De La Empresa: Valores Culturales, Redes Sociales Y Ayudas Públicas. *Investigaciones Europeas De Dirección Y Economía De La Empresa*, 15(3):101-117. [https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60103-8](https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60103-8)

Iniciativas Clúster En Colombia Instrumentos de Desarrollo Económico y Competitividad. (2018). [Ebook] (1st ed.). Retrieved from https://www.innpscolombia.com/sites/default/files/libro_iniciativas_cluster_en_colombia.pdf

Kelley, D.; Singer, S.; Herrington, M. 2016. *Global Entrepreneurship Monitor 2015/2016 Global Report*. Disponible En: <http://www.gemconsortium.org/Report/49480>. Acceso El: 15/03/2016.

Kirzner, I. (1973). *Competition And Entrepreneurship*. Chicago: The University Of Chicago Press.

Knight, E. (1921). *Risk, Uncertainty, And Profit*. Boston: Houghton Mifflin.

Koe, J. (2010). The Influence Of Personality Traits And Demographic Factors On Social Entrepreneurship Start Up Intentions.

Mazzarol, T. (2018). *Smart Nation: Building The National Innovation System*. [Online] The Conversation. Available At: <https://theconversation.com/smart-nation-building-the-national-innovation-system-9148> [Accessed 23 May 2018].

Moore, J.F. (1993). « Predators And Prey: Anew Ecology Of Competition». *Harvard Business Review*, Vol. 71, N° 3, Pp. 75-86.

Schumpeter, J. A. (1911). *The Theory Of The Economic Development. An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest And The Business Cycle*. 1934 Translation. Cambridge, Ma: Harvard University Press.

CAPÍTULO 4

O ENSINO MÉDIO POLITÉCNICO E A REALIDADE TECNOLÓGICA VIVENCIADA PELOS ALUNOS E PROFESSORES EM DUAS ESCOLAS DE PELOTAS- RS¹

Data de submissão: 18/10/2021

Data de aceite: 30/10/2021

Elis Regina Madeira da Porciúncula

Profa. Ma

<http://lattes.cnpq.br/4950947673698568>

Marcos Antonio Anciuti

Prof. Dsc

<http://lattes.cnpq.br/1881785722325047>

RESUMO: O presente estudo refere-se a Reestruturação Curricular ocorrida no Ensino Médio, nas escolas da rede pública no RS, nos anos de 2012 a 2016, sendo desenvolvido em duas escolas do município de Pelotas. O trabalho teve como motivação a inquietação em aprofundar conhecimentos sobre a implantação de uma política pública educacional e a base que fundamentou a referida reestruturação: o ensino politécnico. O objetivo do trabalho é compreender em que medida o processo de reestruturação do Ensino Médio proposto, atendeu as expectativas dos jovens, inseridos num contexto de tecnologias digitais, e dos professores, profissionais imersos num

¹ Artigo baseado na Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências e Tecnologias na Educação) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias na Educação do campus Pelotas - Visconde da Graça, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Pelotas/RS, em 2017.

sistema aparentemente problemático. A metodologia baseia-se em uma pesquisa qualitativa, consistindo em observações do tipo participante e não participante. O universo da pesquisa abrangeu duas escolas de médio porte do município de Pelotas. Foram entrevistados cinco professores de cada uma das escolas, sendo um de cada área do conhecimento e desenvolvido um trabalho com duas turmas de 3º ano destas, onde participaram de atividade interativa, responderam questionário e num processo espontâneo foram realizadas entrevistas com quatro alunos. Os resultados e a discussão apoiaram-se na análise de conteúdo. Foram considerados os aspectos mais significativos para a análise dos dados numa proposta qualitativa. Os resultados desta pesquisa nos mostram como pontos positivos a metodologia que desenvolveram, através da integração das áreas do conhecimento e tendo grande ênfase na disciplina de Seminário Integrado. E como pontos frágeis destaca-se a verticalização na implantação da referida proposta e a dificuldade com o processo da avaliação emancipatória por parte dos professores e a não apropriação pelos alunos. Este trabalho de pesquisa resulta na realização de um Curso de formação para professores sobre avaliação emancipatória, no sentido de subsidiar as escolas que tem como objetivo desenvolver uma avaliação emancipatória nos seus alunos.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação. Emancipatória. Tecnologias.

POLYTECHNICAL HIGH SCHOOL AND THE TECHNOLOGICAL REALITY EXPERIENCED BY STUDENTS AND TEACHERS IN TWO SCHOOLS IN PELOTAS-RS²

ABSTRACT: The present study refers to Curricular Restructuring that occurred in High School, in public schools in RS, between the years 2012 to 2016, being developed in two municipality schools in Pelotas. The work was motivated by concern to intensify the knowledge about the implementation of an educational public policy and the basis that grounded this restructuring: polytechnic teaching. The aim of this work was to understand the extent to which the proposed High School restructuring process has met the expectations of young people, inserted in a digital technologies context, and of teachers, professionals immersed in an apparently problematic system. The methodology is based on a qualitative research, consisting of participant and non-participant observations. The research universe included two schools in Pelotas. Five teachers of different knowledge areas from each school were interviewed, and developed a work with two groups of the third year. The students participated in interactive activities, answered a questionnaire and with four students were realized an interview. The results based on content analysis and the most significant results were considered for the discussion. The results of this research showed as positive points pointed out by the teachers and students, the developed methodology through the integration of the knowledge areas, and the discipline of Integrated Seminar, where students report that they learned beyond content, to express themselves, to take initiatives and build collective knowledge. And as fragile points, the verticalization in the implementation of the proposal, and the difficulty with the emancipatory evaluation process by the teachers and the non-appropriation by the students. This research results in the realization of a training course for teachers on emancipatory evaluation, in the sense of subsidizing the schools that want developed this methodology.

KEYWORDS: Evaluation. Emancipatory. Technologies.

1 CONTEXTO

O Ensino Médio Politécnico foi implantado nas escolas públicas estaduais do Rio Grande do Sul (RS) em 2012, através da Resolução de nº 02 que define as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, (BRASIL, 2012), visando o desenvolvimento de um “projeto educacional que atendesse às necessidades do mundo do trabalho, e que tivesse na sua centralidade o indivíduo, a partir de uma proposta de formação integral”, passando então, por um processo de reestruturação nas suas bases. A referida modalidade busca, dessa forma, atender inclusive orientações da própria Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN, 1996^a), que já previa a necessidade de uma identidade para ela, visando à formação integral do sujeito na perspectiva de uma organização escolar interdisciplinar.

² Article based on the Dissertation (Master degree in Science and Technologies in Education) – Postgraduate Program in Science and Technologies in Education of câmpus Pelotas - Visconde da Graça, of Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Pelotas/RS in 2017.

Por outro lado, percebe-se também que o aluno dos nossos tempos emerge de um meio extremamente centrado em tecnologias, e que a escola pública que temos, assim como “nós professores”, estamos um pouco distantes deste “novo aluno”.

Este trabalho de pesquisa desenvolveu-se em meio a uma nova mudança desta modalidade a nível nacional. Em setembro de 2016, o governo federal apresentou a Medida Provisória 746, tratando da reforma no Ensino Médio. Em 16/02/2017, o Diário Oficial da União (DOU) publica a Lei 13.415/2017, que estabelece novas diretrizes e bases para o Ensino Médio no país. Está, além de flexibilizar a grade curricular, permite que o estudante opte por parte das disciplinas que deverá estudar, ainda, a carga horária deverá ser ampliada em um processo gradativo, chegando a 1400 horas anuais.

O presente trabalho de pesquisa fez um estudo sobre a implantação do Ensino Médio Politécnico em duas escolas públicas de Pelotas (RS), verificando sua consonância com as perspectivas do aluno “inserido no mundo tecnológico” e do professor que busca sua inserção “neste mundo tecnológico”, bem como do espaço escolar que dispomos hoje. Também investigou como o Ensino Médio Politécnico esteve estruturado para atender a sua demanda, e qual a perspectiva de ensino e aprendizagem fora estabelecida entre o professor e o aluno, inseridos no processo de uma mudança significativa, bem como os resultados deste Ensino Politécnico na aprendizagem e formação do aluno.

1.1 OBJETIVO

Compreender em que medida a reestruturação do Ensino Médio, proposta na rede pública estadual em 2012, atendeu as expectativas dos jovens inseridos no mundo tecnológico, e dos professores, profissionais imersos num sistema aparentemente problemático.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 A POLITECNIA À LUZ DE ALGUNS TEÓRICOS

Sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Brasil, Parecer CNE/CEB 05/11 e Resolução CNE/CEB 02/2012), Jélves, p. 126 apud Azevedo e Reis (2013), diz que: “as transformações globais da sociedade, da economia e do trabalho desafiam as escolas de Ensino Médio do mundo inteiro a buscarem abordagens educativas que respondam às características contemporâneas”. Então, a partir disso emerge a necessidade de aprimorar a discussão sobre “politecnia”, base estrutural na proposta de reestruturação do Ensino Médio no RS. Na busca de um conceito para “educação politécnica” parece ser consenso, entre os pesquisadores da educação, que a

sua origem é marxista. Em: **Instruções para os Delegados do Conselho Geral Provisório da Associação Internacional dos Trabalhadores**, de agosto de 1866 é expressa a ideia de que “a formação humana deve compreender: em primeiro uma “educação mental” (intelectual), em segundo, a “educação física” (educação do corpo) e em terceiro, “instrução tecnológica”, que seria “uma instrução primária da criança e do jovem nos instrumentos elementares de todos os ofícios”. Esta referência à formação integral do ser humano, “formação onilateral”, permite a incorporação da teoria marxista, à concepção de politecnia, ou educação politécnica.

Em Marx, “onilateral”, segundo Junior (2013): “Se refere a uma formação humana oposta, formação unilateral provocada pelo trabalho alienado, pela divisão social do trabalho, pela reificação, pelas relações burguesas, estranhas, enfim...” Compreende-se a partir da leitura de Moura et al. (2015), sobre a obra de Marx no que tange à politecnia, que através da formação politécnica emergiria a formação intelectual, física e tecnológica, sugerindo que o conceito de politecnia poderia abranger a formação humana integral. A educação do corpo deveria amenizar os efeitos “nocivos” do trabalho, principalmente ao trabalho com máquinas, nas indústrias do século XIX. Devendo a dimensão intelectual, abranger a totalidade das ciências, desta forma o domínio dos conhecimentos científicos e tecnológicos que explicam e fundamentam o trabalho produtivo, colocariam a classe operária em lugar mais confortável e de apropriação do produto do seu trabalho.

No mesmo viés da discussão sobre “politecnia” faz-se necessária uma explanação sobre o trabalho como princípio educativo e a pesquisa como princípio pedagógico. Na proposta de reestruturação do Ensino Médio o trabalho como princípio educativo justifica-se na perspectiva de atender uma demanda inserida num meio de grande avanço tecnológico e sujeito a mudanças contínuas:

Com o advento da microeletrônica, tanto o trabalho quanto a vida social se modificam, passando a ser regidos pela dinamicidade e pela instabilidade a partir da produção em ciência e tecnologia. A capacidade de fazer passa a ser substituída pela intelectualização das competências, que demanda raciocínio lógico formal, domínio das formas de comunicação, flexibilidade para mudar, capacidade de aprender permanentemente e resistência ao estresse (SEDUC, 2011).

Para Ramos (2012), o trabalho como princípio educativo não significa formação para o mercado de trabalho, com o sentido restrito da profissionalização, mas, compreendendo esta, constituída anteriormente de “valores ético-políticos e conteúdos históricos e científicos que caracterizam a práxis humana”. A referida autora nos diz:

Considerar o trabalho como princípio educativo equivale dizer que o ser humano é produtor de sua realidade e, por isto, se apropria dela e pode transformá-la. Equivale dizer, ainda, que nós somos sujeitos de nossa história e de nossa realidade material e social (RAMOS, 2012. p. 4).

Em relação às ações compreendidas pela Politecnia, a pesquisa como princípio pedagógico é vista ainda por muitos estudiosos como a mesma que é desenvolvida nos meios acadêmicos. Como princípio pedagógico, a pesquisa ganharia novos significados na perspectiva de ser eixo de um fazer interdisciplinar. A pesquisa aqui pensada é um instrumento de produção do conhecimento, baseada em projetos conectados ao mundo do trabalho. Desta forma, a pesquisa se propõe a constituir um meio pelo qual a autonomia, o pensamento crítico e a criatividade do aluno são estimuladas, além de continuamente potencializar o conhecimento.

Cabe frisar que, na proposta de reestruturação do Ensino Médio Politécnico (EMP), a pesquisa é desenvolvida nos Seminários Integrados (SI), este é descrito como espaço localizador do “tensionamento dialógico” entre os eixos: ciência, tecnologia, trabalho e cultura, o qual é assim definido:

... é um espaço destinado à reflexão interdisciplinar sobre temas escolhidos a partir do diálogo docente-discente proposto de acordo com os interesses de pesquisa e estudo a serem desenvolvidos (SEDUC-2011).

Em âmbito estadual, a Secretaria de Educação do Rio Grande do Sul orientou os professores do EMP a desenvolverem projetos interdisciplinares de aprendizagem, articulando desta forma, as áreas do conhecimento e seus conteúdos correspondentes. Nessa perspectiva o planejamento conjunto, onde o professor deixa de ser transmissor e passa ser o orientador e mediador e o aluno passa a ser o protagonista do processo ensino e aprendizagem, a contextualização das disciplinas acontece naturalmente. Desse modo, como escreve Fazenda, (1993), p.18), “o que caracteriza atitude interdisciplinar é a ousadia da busca, da pesquisa: é a transformação da insegurança num exercício do pensar, num construir”. A questão da interdisciplinaridade, tem como premissa um ensino interdisciplinar “o trabalho em comum tendo em vista a interação das disciplinas científicas, de seus conceitos, diretrizes, de sua metodologia, de seus procedimentos, de seus dados e da organização do seu ensino” (Japiassu, 1992).

É oportuno enfatizar que os argumentos para a referida proposta parecem coerentes com a visível necessidade de mudanças nesta modalidade de ensino. Mas a escola e o professor, peças-chaves do processo, se prepararam para a efetivação da mesma? Ela atendeu realmente o jovem aluno do Ensino Médio das nossas escolas da rede pública estadual na sua emancipação e protagonismo? Portanto, o presente estudo preocupou-se em elucidar questões que discutam a aplicabilidade de um ensino politécnico num contexto real de sala de aula.

2.2 A TECNOLOGIA NA ESCOLA

De acordo com a leitura de Levy (1993), a invenção do computador fez da informática um meio de massa para a criação, para a comunicação e simulação de muitas possibilidades escritas, visuais e sonoras. Considerando que, a informática desestabiliza e desacomoda, não propondo segundo o autor uma estabilidade, porque os computadores são redes de interfaces abertas a novas e imprevisíveis conexões. Segundo o mesmo autor, embora a tecnologia proporciona muitos benefícios atualmente, de certa forma aprisiona o homem, tornando-o um dependente tecnológico, colocando-o à disposição de processos variados e estimulantes em diversas áreas do conhecimento.

Levy (1993) nos remete à reflexão de que um dos problemas que vivenciamos com a tecnologia é quanto à “retenção de tanta informação”. Outro seria a farta estimulação quanto ao consumismo desenfreado que ficamos à mercê. Mas contrapondo isso às diversas possibilidades incutidas na tecnologia, colocam a nossa sociedade e nós seres humanos numa perspectiva de futuro sem limitações de contato, de criação, enfim de conhecimentos. Nessa perspectiva, segundo ele, encontramos-nos num processo de conexão informatizado sem volta, pois somos totalmente dependentes e cada vez mais o aprimoramos para um uso mais exclusivo e personalizado, sendo este capaz de manter-nos numa “rede de interconexão sem volta, produtivo, desafiador, mas de instabilidade futura”.

O documento da SEDUC (2011) refere-se em muitos momentos à necessidade de o ensino adequar-se à realidade vivenciada pela demanda atual, atentando para estas necessidades contemporâneas, evidencia-se no documento citado a preocupação do ensino estar inserido num contexto de uso da tecnologia como recurso estratégico e necessário frente à demanda de alunos inseridos em um mundo voltado à tecnologia e informação. Desta forma utilizando-se da mesma como meio de atingir-se uma ação pedagógica diferenciada e voltada à realidade do aluno.

Para Sancho e Hernandez (2006),

... “as tecnologias da informação e da comunicação (TICs) devem ser integradas pela escola à ação pedagógica, estando esta escola inserida num projeto de reflexão e ação, utilizando-as de forma significativa, tendo uma visão aberta do mundo contemporâneo, bem como realizando um trabalho de incentivo às mais diversas experiências, pois as diversidades de situações pedagógicas permitem a reelaboração e a reconstrução do processo ensino-aprendizagem” (SANCHO E HERNANDEZ, 2006).

Os autores citados propõem a apropriação dos processos das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) pela escola, “desenvolvendo habilidades que permitam o controle das tecnologias e de seus efeitos, propiciando ao aluno formação intelectual, emocional e corporal, que lhe permita criar, planejar e interferir na

sociedade”. Dentro desta visão, Kenski (2007) relata sobre o uso que o professor ou a Escola fazem das TICs, definem o tipo de conhecimento e ensino que estão explorando na aprendizagem dos alunos. Para esta autora é necessário apropriar-se da tecnologia, para poder utilizá-la:

... para que as TICs possam trazer alterações no processo educativo, no entanto, elas precisam ser compreendidas e incorporadas pedagogicamente. Isso significa que é preciso respeitar as especificidades do ensino e da própria tecnologia para poder garantir que o seu uso, realmente, faça a diferença... (KENSKI-2007 p. 46).

Desta forma, compreende-se a tecnologia na escola como um processo intrínseco, algo que se aprimora através do tempo, mas que faz parte do seu cotidiano, bem como da vida em todos seus aspectos: no trabalho, no lazer, na criação, na comunicação, enfim, hoje como meio mediador das relações. Mas, há que se tomar cuidado na seleção das tecnologias no interior da escola, pois se utilizada de maneira banal, sem planejamento, sem a devida apropriação do seu uso, elas podem além de não causar nenhum efeito positivo na aprendizagem, servir como um aparato de simples reprodução do conhecimento, ou seja o professor auxiliado pela tecnologia no processo de ensino pela memorização, repetição e conseqüente reprodução do conhecimento.

As TICs são discutidas nesta pesquisa, com a visão de que é necessário permanente aprimoramento para utilizá-las com proveito e que desde o processo de escolha, de utilização e o tipo de conteúdo que exploramos com determinadas TICs são elementos importantes no sucesso da aprendizagem do aluno; ainda de acordo com Kenski (2007), assim como o currículo que é ensinado as TICs também são ferramentas que exercem poder no ambiente escolar. Então, cabe salientar o comprometimento da pesquisa quanto ao passeio por um campo contemporâneo e complexo ao mesmo tempo, que é a questão da tecnologia, pois esta propõe mudanças e interferências rápidas na sociedade, desta forma explorá-la conscientemente, só trará benefícios para o processo ensino-aprendizagem.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 METODOLOGIA

A pesquisa realizada configura-se a partir de uma pesquisa qualitativa, uma vez que buscou conhecer uma realidade em duas escolas de Ensino Médio, da rede pública do município de Pelotas-RS, fez um estudo da política pública de reestruturação do Ensino Médio no RS, considerando, para tanto, os sujeitos e os aspectos que a envolvem: aluno, professor e a própria escola.

Assim como, observou a adequação às demandas da sociedade contemporânea, a qual exige um cidadão com capacidade de autonomia, tomada de decisões e com capacidade de absorver uma infinidade de saberes.

O trabalho de campo consistiu em observações de ambos os tipos: do tipo participante e não-participante (GERHARDT e SILVEIRA, 2009), em duas escolas da rede pública estadual no município de Pelotas: Colégio Dom João Braga, denominado “Escola A” e Escola Estadual de Ensino Médio Coronel Pedro Osório, denominada “Escola B”. Foi analisada a proposta de reestruturação do Ensino Médio para o RS, por entrevistas com professores de cada uma das escolas supracitadas, sendo que nesta entrevista os professores responderam a sete questões abertas semiestruturadas. Foram realizados levantamentos de dados em documentos das escolas e bibliografias e, com os alunos foram realizadas entrevistas em cada uma das escolas, os quais responderam a seis questões abertas semiestruturadas. As turmas das quais fazem parte os alunos que foram entrevistados, participaram de uma atividade interativa, realizada em dois blocos, em momentos distintos.

3.2 O UNIVERSO DA PESQUISA

A escola A se localiza na rua Bento Martins, número 1656, no Centro da cidade de Pelotas. A escola foi fundada através do Decreto nº 8080 de 09 de agosto de 1958, constando ainda em seu nome a palavra ginásio. Pelo ato nº 14, de 20 de novembro de 1958, recebeu o nome definitivo, em homenagem ao Bispo de Curitiba - filho de Pelotas. Em 1980, pela necessidade de uma escola de ensino médio na região, instala-se em prédio próprio, onde permanece até hoje. A escola oferece como modalidades de ensino: Ensino Fundamental de Nove Anos, Séries Finais, Ensino Médio Politécnico e Educação de Jovens e Adultos (EJA) – Ensino Médio. Possui um corpo docente de 72 professores e 14 funcionários. Do total de professores, 42 estão no EMP e possui um total de 933 alunos.

Alguns dados fornecidos pela coordenação pedagógica da escola A, coletados a partir de gráficos, resultantes das fichas socioeconômicas que são preenchidas anualmente, expressam que os alunos da escola A possuem entre 14 e 22 anos no EMP e que a defasagem idade-série é um dos aspectos que os caracteriza. A maioria deles reside nos bairros: Navegantes, Nossa Senhora de Fátima, Balsa, Centro e Areal. A renda familiar da maioria é acima de um salário-mínimo e a maioria mora com os pais, considerando um grande número que reside somente com as mães. O deslocamento da maioria é a pé e em segundo utilizam o transporte coletivo. As famílias dos alunos variam de duas a quatro pessoas. A maioria tem acesso à internet e costumam permanecer de 1 a 2 horas

conectados diariamente. O uso da internet é para jogos, redes sociais, pesquisa e outros estudos. A maioria pretende ir para a universidade. Um número reduzido (de 90 alunos) têm bolsa família. A área de interesse nos estudos futuros compreende: Informática, Medicina, Veterinária, Jornalismo, Direito e Artes, esta última aparece como nova área de interesse. Como lazer eles citam o esporte, a música, o cinema, a TV e a internet.

A escola B localiza-se no centro da cidade de Pelotas, na rua General Osório, número 818. Seu Decreto de criação data de 31 de janeiro de 1942. Foi oficialmente transformada para escola de ensino médio em 12 de janeiro de 2007. Oferece Educação Básica: Ensino Fundamental de Nove Anos e Ensino Médio Politécnico. A escola B, possui 1100 alunos, distribuídos em 11 turmas de ensino fundamental e 20 turmas de ensino médio politécnico. Tem um total de 68 professores e 19 funcionários. Deste total de professores 38 estão no ensino médio. Os alunos são oriundos dos mais diversos bairros da cidade pela oferta de acesso do transporte coletivo, dando uma característica bem diversificada de gostos, aptidões e modo de ser. A escola recebe alunos, inclusive do município vizinho do Capão do Leão e bairros mais distantes como, Laranjal, Barro Duro e outros. Os alunos do EMP possuem entre 14 e 18 anos, e costumam permanecer na escola depois de ingressarem, porque enfrentam uma grande concorrência no ingresso devido ao fácil acesso através do transporte coletivo. Quando solicitam transferência, geralmente é devido a questões familiares (separação dos pais) ou para ingressar nas escolas federais.

3.3 O TRABALHO DE CAMPO

A pesquisa de campo teve seu início no momento da definição de todos os sujeitos: as duas escolas foram convidadas a participar da pesquisa após um mapeamento na 5ª Coordenadoria Regional de Educação de Pelotas, juntamente com uma das Coordenadoras Pedagógicas no EMP, que abrange a região. Os critérios de escolha das Escolas foram: estar inserida na proposta de reestruturação (transformação para politécnico), ter público heterogêneo, ser escola de grande porte na região e acolher jovens de diversos bairros.

Então, foi realizado o contato inicial com as escolas, agendadas conversas informais e apresentação da mestranda à equipe pedagógica. Nesta etapa, participaram das conversas, vice-diretores e coordenadores pedagógicos. As conversas informais focaram a escola como um todo: espaço físico, equipe de professores e funcionários, o número de alunos, as modalidades atendidas, o número de turmas por turno, projetos desenvolvidos, dentre outros aspectos.

Após, iniciou-se a análise na documentação das escolas: Regimento Escolar, Projeto Político Pedagógico e Planos de Estudo; com a finalidade de caracterizar cada uma delas. As conversas informais contribuíram na definição dos sujeitos (professores e alunos) que seriam, posteriormente, convidados ou que se voluntariaram a participar da pesquisa. Desta forma, ficou estabelecido, que de cada escola participaram cinco professores, os quais estavam inseridos no EMP e contemplavam as seguintes áreas do conhecimento: Matemática, Ciências Humanas, Ciências Exatas, Linguagens e Seminário Integrado. Já os critérios que definiram a participação dos alunos e das turmas no trabalho em questão foram: pertencer ao 3º ano do curso, ser voluntário e postura receptiva nas atividades escolares.

As entrevistas foram realizadas com alunos que se dispuseram a falar, sendo que em ambas as escolas foi mantido o mesmo número de participantes. As duas turmas, das quais faziam parte os alunos que foram entrevistados, participaram de uma **atividade interativa**, na sala de aula, com duração de uma hora e trinta minutos, produzindo as condições necessárias à motivação e à sensibilização do grupo para o assunto em questão. Esta atividade foi dividida em dois momentos: No primeiro momento houve a aplicação da técnica da “teia”, de autor desconhecido, onde foi realizada uma observação participante com relato descritivo da ação. De acordo com Lüdke e André (2013, p. 30),” a observação possibilita um contato pessoal e estreito entre o pesquisador com o fenômeno pesquisado”.

No segundo momento da atividade interativa, todos os alunos da turma foram convidados a responder um questionário contendo cinco questões abertas e semiestruturadas sobre o EMP e cinco questões envolvendo vivências, preferências e experiência de vida do aluno; essas últimas tiveram cinco alternativas que foram numeradas na ordem de importância para eles. O questionário foi mais um instrumento de reflexão do grupo em relação ao tema da pesquisa, objetivando centrá-los mais na questão e prepará-los para o momento seguinte, quando, ao dar continuidade ao entendimento das perspectivas dos alunos em relação a essa reestruturação, aprofundamos o tema, através de uma entrevista com até o limite de quatro alunos das turmas selecionadas, convidados naquele momento, através da manifestação espontânea dos sujeitos, que responderam outras seis questões. As questões versaram sobre os seguintes tópicos: a) a existência da percepção ou não de que a escola pública e o ensino oferecido no EMP atendem as necessidades dos alunos; b) se as perspectivas dos alunos em relação ao curso do EMP são atendidas e, c) quais são as concepções de ensino e aprendizagem que permeiam a prática dos professores inseridos no EMP. As questões que compunham as entrevistas constituíram um roteiro, o que permitiu que o entrevistado falasse além do previsto ou

que o pesquisador interferisse aprofundando algum ponto em discussão. Como sugerem Lüdke e André (2013, p. 40) “[...] a entrevista permite correções, esclarecimentos e adaptações que a tornam sobremaneira eficaz na obtenção das informações desejadas”.

Após a realização das entrevistas e aplicação da atividade interativa com as turmas, o material foi organizado para posterior análise, a partir de categorias que emergiram dos dados coletados.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão deste trabalho apoiaram-se na leitura de artigos de dois autores que trabalham com a metodologia Análise de Conteúdo: (MORAES-1999) e (CÂMARA -2012). Entretanto é importante salientar que a pesquisa não estabeleceu um grau elevado de rigor metodológico dentro da linha citada. Mas, considerou os aspectos importantes para a realização de uma pesquisa de cunho qualitativa.

A respeito da Análise de Conteúdo, Moraes nos diz:

Essa metodologia de pesquisa faz parte de uma busca teórica e prática, com um significado especial no campo das investigações sociais. Constitui-se bem mais do que uma simples técnica de análise de dados, representando uma abordagem metodológica com características e possibilidades próprias (MORAES, 1999, p. 08).

Após a leitura e análise das respostas colhidas nas entrevistas com os professores e alunos das duas escolas pesquisadas, elencou-se algumas categorias, mostradas nos Quadros 1 e 2, que emergiram das falas dos mesmos. Também, na seleção das categorias, foi considerado importante o aspecto de estar vinculada ao problema da pesquisa, bem como aos seus objetivos. O quadro 1, constituído de três categorias, refere-se às falas dos professores e o quadro 2, constituído de duas categorias, refere-se às falas dos alunos.

Quadro 01: Categorias emergentes das entrevistas dos professores.

Categoria: n° 1	Implantação da proposta de EMP
Categoria: n° 2	Concepções e usos das tecnologias (TICs) na Escola
Categoria: n° 3	Condições de trabalho do professor

Quadro 02: Categorias emergentes das entrevistas dos alunos.

Categoria: n° 5	A escola
Categoria: n° 6	O Ensino Médio Politécnico

Categoria 1: Implantação da Proposta

O EMP foi implantado nas escolas públicas estaduais em 2012, visando a inserção do jovem aluno ao mundo do trabalho, através de uma formação que propicia o elo entre o conhecimento e questões que envolvem o trabalho. A mesma justificava-se diante da apresentação de um quadro precário da educação gaúcha nesta modalidade: repetência, evasão, currículo dissociado da realidade histórica e tecnológica e o distanciamento do mundo do trabalho. A pesquisa revela nesta categoria algumas questões consideradas importantes nesta: o comprometimento dos professores, a avaliação emancipatória, o aluno como sujeito e a verticalização no processo da implantação.

A maioria dos professores das duas escolas pesquisadas expõem que nas suas escolas o EMP foi implantado dentro do que a proposta sugeria: as disciplinas organizadas por áreas do conhecimento, com um espaço para o desenvolvimento da pesquisa através de projetos, que seria um meio de aproximar o aluno ao mundo do trabalho, o SI; e uma avaliação emancipatória, que visava uma participação ativa do educando no processo de aprendizagem.

Em contrapartida, exigia do professor uma metodologia mais interdisciplinar e conseqüentemente uma avaliação emancipatória e integrada entre as disciplinas que compunham as áreas do conhecimento.

Sobre a forma que receberam a proposta e fora implementada nas escolas pesquisadas, do total dos entrevistados, oito disseram que nas suas escolas o EMP foi trabalhado dentro do que sugeria o seu ensino, mas, destes, cinco salientam como negativo a imposição por parte do governo no processo da implantação, segundo alguns aconteceu como em outras propostas de ensino já feitas anteriormente por outros governos. Entre os entrevistados, alguns citam outras questões que, segundo eles, contribuíram para o sucesso inicial da proposta: verbas extras para as escolas, carga horária mais flexível para os professores e horários para reuniões.

Do total dos dez professores entrevistados, seis manifestaram-se a respeito da avaliação emancipatória, três enfatizam que para o aluno foi boa a mudança, a questão de tornar o aluno mais participativo, crítico e com uma possibilidade maior de aprovação, uma vez que este ensino respeita de alguma forma as aptidões individuais do aluno. Outros três, dizem preferir a nota, pois acham o processo complexo para o entendimento do aluno, citam a dificuldade de sair do número para o conceito ou ainda o acúmulo de carga horária do professor, muitas vezes dividindo sua jornada de trabalho em mais de um estabelecimento de ensino, o que dificulta na questão de tempo, no parar e pensar o aluno de forma individual e como um todo.

Dos entrevistados, três professores expressam uma posição bastante positiva em relação ao fato de a proposta do EMP promover o aluno tornando-o sujeito da sua aprendizagem, mais críticos e com um nível de amadurecimento no final do curso favorável ao ingresso no mundo acadêmico. Alguns associam isso aos trabalhos com projetos desenvolvidos na disciplina de SI que, permite buscar, organizar e compartilhar conhecimentos adquiridos através da pesquisa escolar; ou ainda, à avaliação emancipatória na qual a participação do aluno é efetiva e a realização por parte do professor como um processo contínuo e individual.

É visível o descontentamento da maioria dos professores com a forma pelas quais as políticas públicas educacionais chegam às escolas: de maneira arbitrária, sem diálogo, sem preparo ou formação adequada, enfim sem um estudo prévio das condições para a efetivação de mudanças. Em alguns casos percebe-se que é como se os professores estivessem cumprindo um protocolo básico, com profissionalismo e até extrema dedicação. Mas, não há uma crença de continuidade, de credibilidade no trabalho que eles próprios estão executando, evidenciando até um estado de certa alienação em relação ao próprio trabalho, diante, também, das condições às quais estão submetidos hoje. Falam da questão como situação meio banalizada, pois percebe-se que as políticas públicas educacionais são alicerçadas por políticas partidárias. É visível o desgaste da categoria quanto ao tema “reestruturação”, mudança na lei ou termos semelhantes.

Categoria 2: Concepções e Usos das Tecnologias (TICs) na escola

Constata-se nas escolas A e B que, as mesmas possuem equipamentos de informática como: projetores, televisores, aparelhos de DVD, notebooks, netbooks e computadores disponíveis para uso dos professores e alunos, de certa forma colocando-as numa situação confortável de acessibilidade às novas tecnologias educacionais. A fala dos professores revela bastante entrosamento e um uso considerável das TICs, expressando até alguma preocupação em ter que usá-las, como se esse fato proporcionasse modernidade à sua ação na sala de aula.

Sobre essa questão Kenski fala:

“Não há dúvida que novas tecnologias de comunicação e informação trouxeram mudanças consideráveis e positivas para a educação. Vídeos, programas educativos na televisão; no computador, sites educacionais, softwares diferenciados que transformam a realidade da aula tradicional, dinamizam o espaço ensino-aprendizagem, onde, anteriormente predominava a lousa, o giz, o livro e a voz do professor” (KENSKI, 2007, p.46)

Por outro lado, a autora citada chama a atenção quanto à importância da tecnologia escolhida que, segundo ela, para dar suporte necessário ao professor

precisa ser a que mais se adapta ao seu conteúdo, à sua metodologia de ensino e, principalmente, a que melhor domina, reforçando a ideia exposta no tópico 2.2 deste trabalho: A tecnologia na Escola.

Percebe-se, uma política de igualdade entre as escolas pesquisadas, quanto às TICs que colocam à disposição dos professores e alunos. A utilização por parte dos alunos, em alguns momentos mostra-se um pouco restrita nas duas escolas, mas não chega a ser algo inacessível a eles. Dos professores entrevistados, nove relatam utilizar com frequência algum tipo de TIC, nas suas aulas, podendo-se dizer que são usados num processo natural do cotidiano escolar. A maioria demonstra familiaridade com equipamentos de informática e a utilização destes torna-se essencial para a dinamização das suas aulas. Alguns, admitem recorrer aos alunos com frequência para que utilizem seus próprios aparelhos celulares, por ser, segundo os professores, um meio rápido e eficiente para se obter informação. Essa questão contrapõe-se à Lei de número 12.884, publicada pelo Diário Oficial do Estado (DOE) que, proíbe o uso de celulares na sala de aula no RS, sob o argumento de que estes aparelhos dispersam a atenção do aluno ou atrapalham o processo de ensino-aprendizagem. A referida lei em seu parágrafo 1º expõe: “Fica proibida a utilização de aparelhos de telefonia celular dentro das salas de aula, nos estabelecimentos de ensino do Estado do Rio Grande do Sul” (DOE nº 003, de 04 de janeiro de 2008).

É importante salientar que nas escolas pesquisadas, ao contrário do que a Lei em nosso estado sugere, o uso do celular é permitido, e não foi cogitado por nenhum professor que isso atrapalhe, mas que os auxilia em diversos momentos das atividades escolares, inclusive que em muitos momentos são os alunos que os auxiliam com o uso de algumas tecnologias, como o uso do “smartphone”, por exemplo.

A relação satisfatória com as TICs nas duas escolas, porém, traz para a discussão outras questões: há queixas da falta de manutenção dos computadores nos laboratórios de informática e recurso humano para auxiliar em alguma prática nesse laboratório. Ainda, na escola A o uso da internet parece restrito, devido à má qualidade desta, na B não se identifica o problema.

As entrevistas demonstram que os professores utilizam mais os equipamentos que estão de fácil acesso, nas duas escolas, como é o caso das televisões das salas de aulas conectadas ao Datashow, ou ainda o “smartphone” dos alunos. Evidencia-se então, o uso de equipamentos tecnológicos de forma considerável nas escolas pesquisadas e a utilização de redes sociais como ferramenta auxiliar do ensino.

Quanto à utilização de outras tecnologias não há muita evidência, somente três citaram como tecnologia de uso frequente: livros, revistas, EVA, papel milimetrado, canetas

ou outros materiais. Entretanto, parece ser bem compreendido entre este universo de professores o fato de que o uso das (TICs) tem como objetivo facilitar e dinamizar o ensino, e que por si só não produzem conhecimento, mas sim são ferramentas que o professor utiliza para uma melhor compreensão por parte dos alunos dos conteúdos ou para torná-los mais atraentes.

Categoria 3: Condições de Trabalho do Professor

Essa categoria abrange as falas dos professores em questões que se relacionam diretamente à estrutura que lhes é oferecida ou que lhes é negada, no caso pelo governo como órgão mantenedor das escolas públicas estaduais, bem como dos professores. Entendeu-se como pontos que vão definir as condições de trabalho do professor favoráveis ou não para o desenvolvimento da sua prática elementos como: o espaço físico, a formação do professor, a política salarial, a jornada de trabalho e conseqüentemente o seu nível de satisfação, que entendemos estará atrelado com os anteriores.

A maioria dos professores entrevistados descrevem os espaços físicos das suas escolas apropriados, para o desenvolvimento das suas aulas. Os professores da escola A nomeiam a existência das salas temáticas, sendo cada uma designada a uma área do conhecimento. A maioria dos professores desta escola enfatizam o esforço da escola para organizar estes espaços e declaram o recebimento de verba específica para a implantação do EMP, podendo desta forma organizar melhor os espaços, adequando-os a cada área do conhecimento. Os professores das escolas A e B relatam a existência, bem como a utilização de laboratórios de ciências, informática, biblioteca, quadra esportiva, auditório com palco, entre outros. Isso evidencia se tratar de escolas de um espaço físico bom. A maioria dos entrevistados dizem ser conscientes que os espaços físicos das suas escolas não condizem com a realidade da maioria das escolas públicas da região, dizem sentirem-se privilegiados em relação às demais.

Quanto à questão da formação que receberam para atuar no EMP, a maioria revela que não houve ou que aconteceu de forma precária, e quanto à formação continuada dos professores das escolas públicas estaduais, também, nota-se, pelas falas, que não acontecem ou não buscam por falta de tempo ou condições financeiras.

Paralelo à questão da falta de formação para os professores, principalmente quando se trata de mudanças que incidem diretamente na prática de sala de aula e que a formação inicial do professor, tão pouco deve ter abrangido, associam-se outras questões que vêm contribuindo para a completa precarização da profissão, uma situação caótica, refletida por baixos salários, plano de carreira desvinculado de uma profissão

que exige aperfeiçoamento e formação permanente. A questão dos baixos salários relaciona-se intimamente com a sobrecarga diária de trabalho do professor das escolas públicas estaduais. Essa questão configura-se como a mais latente e é percebida na fala da maioria dos professores nas Escolas A e B.

Pelos relatos dos professores observa-se que a questão de estarem inseridos num modelo de ensino diferenciado, que é o Politécnico, não angustia o professor. Dentro das possibilidades que foram oferecidas, nessas escolas, percebe-se que houve uma mudança na prática dos professores. Muitos apontaram diversos pontos positivos em trabalhar inserido nesta proposta, obviamente como já foi exposto acima repudiam a forma que foi implantada nas escolas, ou seja, sem diálogo com a comunidade escolar. Apenas foi sendo exposto como deveriam proceder dentro da proposta, a partir do documento da SEDUC (2011). As questões mais cruciais que são identificadas dizem respeito à falta de formação continuada, à falta de política salarial condizente com o trabalho desempenhado, à extensa carga horária que são obrigados a se submeterem devido aos baixos salários. Esses fatores se traduzem num nível de satisfação muito baixo dos professores em relação ao trabalho que executam diariamente. Em muitas entrevistas foi percebido lágrimas nos olhos dos professores ao se referirem às suas condições de trabalho.

As falas revelam uma responsabilidade dos professores em relação à escola como instituição e aos alunos, na questão de fazer o melhor que podem, porém, visivelmente inseridos num contexto de trabalho atravessado por precárias condições. Foi verificado através das entrevistas que no início do EMP havia tempo para os professores se reunirem, planejarem, discutirem e formarem parcerias para desenvolverem os seus projetos, e isso refletia numa prática mais dinâmica e de interação com o aluno. Mas, em seu último ano, as falas denunciam uma prática desmotivada, um trabalho que havia perdido o sentido para os professores, por não haver mais incentivo e principalmente porque sabiam que o EM, assim como toda a Educação Básica estaria sujeita a uma nova reforma no ano seguinte, como aconteceu de fato.

Categoria 5: A Escola

A categoria de número cinco emergiu das falas dos alunos quando revelam a visão que têm sobre alguns aspectos da Escola. Sendo que estes abordam, a estrutura física, a prática do professor, o uso das TICs e a relação destas com a sua aprendizagem. É importante salientar aqui que, pelas observações feitas pela pesquisadora no interior e entorno das escolas pesquisadas, constata-se que ambas possuem uma estrutura física boa dentro de uma realidade de escola pública estadual.

A maioria dos alunos entrevistados ratificam a observação realizada pela pesquisadora, considerando a estrutura física que dispõem nas suas escolas, alguns identificam com clareza o que a escola necessita ainda, quanto à sua estrutura, como por exemplo quadra esportiva coberta ou piso adequado. Também, as falas dos alunos deixam bastante explícita a consciência que eles têm quanto à estrutura bem inferior de outras escolas públicas da região, em relação às que frequentam no momento. As escolas pesquisadas são polos importantes na formação do Ensino Médio, elas recebem alunos das escolas de Ensino Fundamental de todos os bairros da cidade.

A respeito da prática desenvolvida pelos professores na sala de aula, a maioria dos alunos entrevistados, sugerem que aprendem melhor com a utilização de metodologias que despertem o interesse, o diálogo ou a realização de atividades práticas sobre o conteúdo. A questão da prática pedagógica centrada na autonomia do educando e tendo como proposta o respeito ao conhecimento, à cultura e à vivência do sujeito, é defendida por Freire (2002). Esse autor, em sua teoria, considera a vivência dos sujeitos, seus contextos de realidade e vê a educação como ato político, que envolve ações transformadoras num processo de construção e elaboração do conhecimento de forma crítica. Destaca a autonomia do sujeito, estimulando a colaboração, a decisão, a participação, a responsabilidade social e política desse sujeito.

No mesmo viés da valorização de atividades que permitam ao aluno a conversa, a troca de experiência e a construção do seu conhecimento os alunos expõem a sua familiarização com as TICs, mas muitos observam, mais uma vez, sobre a importância do professor, não como o “grande sábio”, mas como mediador no processo ensino-aprendizagem e lembramos ainda a necessidade do conhecimento e apropriação destas, por esses profissionais, para que ao usá-las, elas possam servir como meios eficazes de facilitação do processo ensino aprendizagem. Evidencia-se um certo distanciamento em alguns casos das TICs, pelos professores, podendo configurar e endossar a fala dos próprios professores, na falta de formação e apropriação de muitos aparatos tecnológicos. Este fato, recorre mais uma vez ao não comprometimento da mantenedora com a questão da formação continuada dos professores.

Categoria 6: O Ensino Médio Politécnico

A quinta categoria discutida no trabalho em questão refere-se ao EMP na perspectiva dos alunos. Esta revela de alguma maneira o posicionamento dos alunos sobre componentes importantes dessa modalidade de ensino: a disciplina de SI, a avaliação e o próprio desempenho obtido nesse ensino. Paralelo a estas questões, referem-se também

ao seu crescimento, revelado num estágio de protagonismo próprio ao jovem de EM. E por último, o aluno retrata um pouco do seu meio social e vivências, permitindo um delineamento mais aproximado da identidade do aluno inserido no EMP.

A disciplina de SI foi incluída na proposta do EMP na perspectiva de que serviria de “eixo integrador” entre as demais que compõem as quatro áreas do conhecimento. Durante os anos de 2012 a 2016 a experiência em sala de aula demonstrou resultados interessantes que estão identificados através das falas de alguns alunos das escolas pesquisadas buscando identificar e solidificar as possibilidades de se trabalhar com pesquisa escolar num contexto de interdisciplinaridade, na proposta de um Ensino Politécnico. Dos oito alunos entrevistados, seis fizeram observações bastante positivas sobre o SI, evidenciando a produção de aprendizagens significativas e tornando visível que estas escolas, apesar dos problemas enfrentados, desenvolveram práticas interdisciplinares dentro de projetos que atingiram em alguma medida o propósito da disciplina.

O EMP sugeria a avaliação emancipatória, traduzida em seu documento SEDUC (2011) como um tipo de avaliação capaz de sinalizar os avanços do aluno em suas aprendizagens, apontar os meios para superação das dificuldades e que se traduziria na melhor oportunidade de reflexão das práticas desenvolvidas na escola. O documento previa ainda, a incorporação de novas práticas avaliativas em substituição àqueles instrumentos utilizados na escola com significados classificatórios, autoritários, seletivos e conseqüentemente excludentes. Na perspectiva de uma avaliação emancipatória, é oportuno citar Hoffmann (2003), que incentiva uma ação mediadora, onde a relação dialógica, de trocas, discussões e provocações dos alunos possibilita entendimento progressivo entre professor e aluno. Ainda, esta avaliação deve se dar de forma contínua, coletiva e sistemática, envolvendo os conhecimentos e produções dos alunos. As entrevistas apontam na questão da avaliação posições distintas, pois dos oito entrevistados três expressaram claramente satisfação com a avaliação emancipatória, sentindo-se valorizados dentro das suas aptidões e percebidos de forma individual como parte do grupo. Enquanto, os outros cinco alunos expressaram posicionamentos negativos, contrários aos demais sobre o sistema de avaliação a que estavam submetidos, demonstrando inclusive em alguns momentos pouco entendimento do referido processo.

As entrevistas com os alunos apontam para a possibilidade de o EMP ter atingido os seus objetivos em alguns aspectos, como na questão da metodologia proposta, disciplinas agrupadas em áreas do conhecimento e através da disciplina de SI, permitindo a este aluno, espaço para pesquisa e construção do seu conhecimento, num ambiente de

exercício da sua livre expressão, levando-os ao desenvolvimento das suas potencialidades de forma ampla e capaz de motivar o protagonismo no jovem aluno. Por outro lado, parece não ter cumprido com seu objetivo, na questão de permitir ao aluno de forma clara a compreensão do seu processo avaliativo.

Dos oito entrevistados, todos dizem utilizar diariamente algum tipo de rede social. E destes, somente dois dizem que utilizam a internet para fins de estudos e somente um diz utilizar para jogos.

Então, este estudo nos permite dizer que o jovem que frequenta o Ensino Médio na nossa região tem uma grande aproximação da tecnologia contemporânea e utiliza-se desta para passar a maior parte do seu tempo, contando que a escola, também, propicia isso em muitos momentos. Podemos dizer que são portadores de uma identidade inserida num contexto tecnológico digital sem retorno. Desta forma, qualquer política educacional implantada no meio escolar, deve de antemão considerar este contexto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu-nos aprofundar conhecimentos a respeito do Ensino Politécnico, implantado como política educacional no RS, entre os anos de 2012 e 2016. Os resultados obtidos neste trabalho revelam dados interessantes acerca da aplicação da política de reestruturação do EM nos instrumentos para fazer algumas considerações.

A pesquisa demonstrou que o EMP, teve aproveitamento satisfatório em alguma medida nas escolas pesquisadas, atendeu em grande parte, as expectativas dos alunos em relação ao seu ensino e metodologia empregada, principalmente na disciplina de SI, um espaço que permitiu o desenvolvimento de capacidades do aluno e de relação com o seu meio social, facilitando a expressão e a comunicação. Percebeu-se também uma relação importante entre as experiências tecnológicas dos alunos e as aprendizagens que estas escolas propõem a partir do projeto EMP. Percebeu-se ainda, que há uma interação bem favorável entre os alunos e as escolas em questão, sendo possível considerar que estas primam por estratégias de ensino que promovam o conhecimento e a emancipação do aluno.

A metodologia desenvolvida nas escolas pesquisadas revela uma aparente postura de receptividade dos professores às novas práticas, mas com restrição em relação a mudanças promovidas no que concerne à mantenedora, em situação de projetos políticos de governos, como configurou-se a reestruturação do EM, de 2012 a 2016. Porém, a pesquisa aponta uma responsabilidade bem marcante, no trabalho destes profissionais em relação à escola como instituição e aos alunos, no empenho de realizar

o melhor que podiam, num contexto atravessado por condições precárias. Foi verificado que há necessidade de tempo para os professores se reunirem, planejarem, discutirem e formarem parcerias para desenvolverem seus projetos, pois isso reflete numa prática mais dinâmica e interativa com o aluno.

O trabalho em questão identifica fragilidades na proposta de reestruturação do EM nas Escolas pesquisadas nos seguintes itens:

- a. quanto à forma como foi implantado; sem discussão prévia, sem tempo de amadurecimento e estudo da proposta, evidenciando um ato arbitrário e vertical por parte do governo do estado, fato que colaborou para que os profissionais demorassem mais para assumir a proposta e estabelecessem um grau razoável de aceitação. No mesmo viés, a pesquisa capta também toda a desmotivação do encerramento da proposta do Ensino Politécnico no RS, no final do ano de 2016, em razão da mudança em nível nacional de toda a Educação Básica; desta forma naquele momento o trabalho que havia sido realizado ou a busca por novas aprendizagens havia perdido o significado e, então, os professores reforçaram a imagem do descrédito com as políticas públicas educacionais.
- b. quanto à avaliação emancipatória; foi demonstrada dificuldade nesse processo por parte dos professores em decorrência de fatores problemáticos do profissional que atua na educação pública, como a falta de um conhecimento mais aprofundado do assunto, falta de tempo pela extensa carga horária de trabalho, ou grande número de turmas que atende em decorrência da extensa jornada. Na mesma proporção, os alunos também se mostraram sem apropriação do processo avaliativo a que estavam submetidos, não foram esclarecidos suficientemente, de maneira que compreendessem a avaliação emancipatória no seu conjunto.

Diante dos resultados obtidos com a pesquisa, sugere-se que as escolas, para cumprir com mais eficiência das diretrizes apontadas pelo EMP, optem por adotar e ou aprofundar um sistema de avaliação emancipatória, para cujo propósito devem articular meios para capacitar seus profissionais a fim de que sejam capazes de trabalhar de forma integrada, com clareza de ideias, com compreensão do significado desta forma de avaliação e direcionados aos seus objetivos. Assim, é possível motivar nas escolas a realização de cursos de formação continuada sobre avaliação e, nesse sentido, reforçar a discussão sobre Avaliação Emancipatória - produto apresentado após os resultados e análises realizadas nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, José Clóvis de; REIS, Jonas Tarcísio. **Reestruturação do Ensino Médio**. São Paulo: Fundação Santillana, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. **Parecer nº 5 de 4/5/2011**. Dispõe sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para o Ensino Médio". Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 mai. 2011.

_____. Conselho Nacional de Educação. **Resolução nº 02**, de 30 de janeiro de 2012. Define Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 jan. 2012.

_____. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional: **Lei nº 9394/96**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2014. 10ª ed. rev.

_____. Ministério da Educação. Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. Institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral, 2017.

_____. Lei nº 1305, de 25 de junho de 2014, que aprova o Plano Nacional de Educação (PNE) e dá outras providências, 2014.

DAMIANI et al. Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Cadernos de Educação**. Pelotas, n 45, p. 58-67, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/caduc/article/view/3822/3074>. Acessada em: 04 de maio de 2016.

FAZENDA, Ivani (org.). **Práticas interdisciplinares na escola**. São Paulo: Cortez, 1993.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa** -21ª Edição. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2002.

GERHARDT, Tatiana Engel (org.) e SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**; coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HOFFMAN, Jussara. **Avaliação Mediadora; Uma prática da construção da Pré- Escola a Universidade**. 20ª ed. Porto Alegre: Mediação, 2003.

JAPIASSU, Hilton. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro. Imago Editora Ltda, 1976.

JAPIASSU, Hilton. A questão da interdisciplinaridade. In: SILVA, L. H & AZEVEDO J. C. **Paixão de aprender II**. Petrópolis: Vozes, 1995. P. 324-332.

JÉLVES, J. A. Q. **História da Educação**. Obra coletiva Universidade Luterana do Brasil- Ulbra. Curitiba: lbpex, 2008.

KENSKI, V.M. **Educação e Tecnologia: O Novo Ritmo da Informação**. Papirus, 2007.

LÉVY, P. **As Tecnologias da Inteligência. O futuro do pensamento na era da informática**. Trad. Carlos Irineu da Costa. Rio de Janeiro. Editora: 34, 1993.

MACHADO, L. **Politecnia, escola unitária e trabalho**. São Paulo: Autores Associados, 1989.

MARX, Karl. **Manuscritos econômicos-filosóficos**. Tradução, apresentação e notas Jesus Ranieri. São Paulo. Boitempo Editorial, 2004.

MARX, Karl. **O capital – Crítica da economia política**. Vol. 1- Tomo 1 (Prefácio e cap. I a XII). Apres. de Jacob Gorender. Coord e rev. de Paul Stinger e Trad. de Regis Barbosa e Flavio R. Kothe. São Paulo. Editora Nova Cultural, 1996.

MOURA, Dante Henrique (Coord.) Texto: MOURA, Dante Henrique, GARCIA, Sandra Regina de Oliveira e RAMOS, Marise Nogueira. **Educação profissional técnica de nível médio integrada ao Ensino Médio**. Documento Base. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Brasília, dezembro de 2007.

MOURA, Dante Henrique; FILHO, Domingos Leite Lima; SILVA, Mônica Ribeiro. **Politecnia e formação integrada: confrontos conceituais, projetos políticos e contradições históricas na educação brasileira**. Revista Brasileira de Educação. v. 20, nº 63, p. 1057-1080, out-dez. 2015.

NÓVOA, Antonio (coord.). **Os professores e a sua formação**: Lisboa: Dom Quixote, 1995.

NÓVOA, Antonio. **Palestra: Desafios do trabalho do professor no mundo contemporâneo**. Simpro-SP- Janeiro de 2007.

RAMOS, M. N. **Concepção do Ensino Médio Integrado**. Disponível em: http://www.iiep.org.br/curriculo_integrado.pdf, acessado em: outubro de 2016.

SAUL, A. M. **Avaliação emancipatória: desafio à teoria e a prática de avaliação e reformulação do currículo**. 8. Ed; São Paulo: Cortez, 2010.

SANCHO, J. M.; HERNANDEZ, F. et al. (Org). **Tecnologias para transformar a educação**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SEDUC. **Proposta Pedagógica para o Ensino Médio Politécnico e Educação Profissional Integrada ao Ensino Médio**. RS, 2011-2014.

SIBILIA, Paula. **Redes ou Paredes. A escola em tempos de dispersão**. Rio de Janeiro: Contraponto.

CAPÍTULO 5

UNIVERSIDADES Y LA APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE CHILE

Data de submissão: 10/09/2021

Data de aceite: 30/09/2021

Juan Ramón Contreras González

Universidad Nacional de Tres de Febrero
Doctorado en Política y Gestión de la
Educación Superior
Buenos Aires – Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-3818-7857>

RESUMEN: En agosto de 2016 la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) publica el Informe Final “Primera Encuesta Nacional de Cultura Científica: Percepción social sobre la Ciencia y Tecnología en Chile” (DESUC, 2016). Uno de los hallazgos más importantes se refiere al nivel de interés que las personas declaran tener sobre ciencia y tecnología. Entre seis diversos temas consultados, la ciencia ocupa el cuarto lugar, resultando interesante para el 58,1% de la población de 15 años y más residente en Chile, en tanto que un 68,4% encuentra interesante a la tecnología, posicionándola en el segundo lugar con mayor nivel de interés (en primer lugar, se destacó deporte con un 68,8%). Si el nivel de interés parecía positivo, la situación cambia cuando se les pregunta respecto de su nivel de información de los mismos temas: entre la población que se siente poco o nada

informada, la ciencia ocupa el primer lugar con un 76,9%, mientras que un 65,2% siente lo mismo respecto a la tecnología. Rasgos relevantes de una sociedad con una muy débil apropiación social de la ciencia. En esta ponencia, se propone analizar el rol de las Universidades chilenas en la popularización social de la ciencia y tecnología considerando el impacto de esta en la percepción de la sociedad en general, el rol de esta en el desarrollo económico y el marco propuesto en la implementación del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

PALABRAS CLAVE: Universidad compleja. Percepción. Desarrollo. Cohesión social.

UNIVERSITIES AND THE SOCIAL APPROPRIATION OF SCIENCE. ANALYSIS OF THE CHILEAN SCIENCE AND TECHNOLOGY SYSTEM

ABSTRACT: In August 2016, the National Commission for Scientific and Technological Research (CONICYT) published the Final Report “First National Survey of Scientific Culture: Social perception of Science and Technology in Chile” (DESUC, 2016). One of the most important findings refers to the level of interest that people claim to have about science and technology. Among six different topics consulted, science occupies the fourth place, being interesting for 58.1% of the population aged 15 years and over residing in Chile, while 68.4% find technology interesting, positioning

it in the second place with the highest level of interest (in first place, sport stood out with 68.8%). If the level of interest seemed positive, the situation changes when they are asked about their level of information on the same topics: among the population that feels little or not informed, science occupies the first place with 76.9%, while 65.2% feel the same about technology. Relevant features of a society with a very weak social appropriation of science. In this presentation, the role of Chilean universities in the social popularization of science and technology is analyzed, considering its impact on the perception of society in general, its role in economic development and the framework proposed in the implementation of the Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.

KEYWORDS: Complex university. Perception. Development. Social cohesion.

1 INTRODUCCIÓN

Chile es el país con menor gasto en Investigación y Desarrollo entre los países de la Organización para la Cooperación y del Desarrollo Económicos (OCDE), un 0,36% del PIB el año 2017, contra un promedio de 2,34% del grupo de países integrantes.

La estructura económica y de desarrollo de la dictadura de Pinochet se ha mantenido por cuarenta años, este último ha sido considerado como insuficiente para las expectativas de la sociedad actual en diferentes ocasiones. Una crisis de gobernanza, que además ha vivido su capítulo en las ciencias, principalmente a través de las tensiones de la gobernanza anterior y los actores del Sistema de Ciencia y Tecnología.

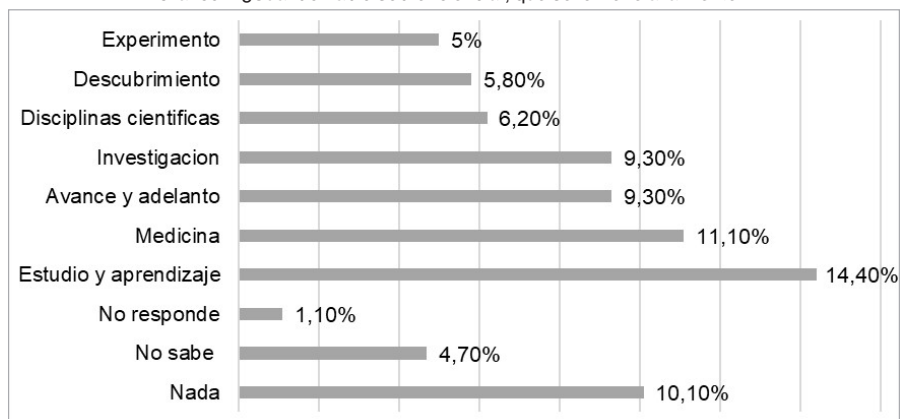
1.1 MEDICIÓN DE LA APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA EN CHILE

La “*Encuesta Nacional de Cultura Científica: Percepción Social sobre la Ciencia y Tecnología en Chile*” (EPSC) publicada en agosto de 2016, que además fue desarrollada por la Dirección de Estudios Sociales (DISUC) de la Universidad Católica de Chile, recopiló datos con el objetivo de constituir una línea base respecto a la relación actual de la sociedad, con la actividad científica y tecnológica del país. El tamaño de la muestra fue de 7.637 y el informe se estableció con un marco operacional de cuatro dimensiones:

- a) representacional,
- b) practica-operacional,
- c) evaluativa-valorativa e
- d) institucional.

Dentro de la dimensión *Representacional*; el primer nivel implicó conocer una imagen espontánea, y entender si existe objetos cognitivos concretos, los gráficos a continuación muestran las asociaciones semánticas a la palabra ciencia.

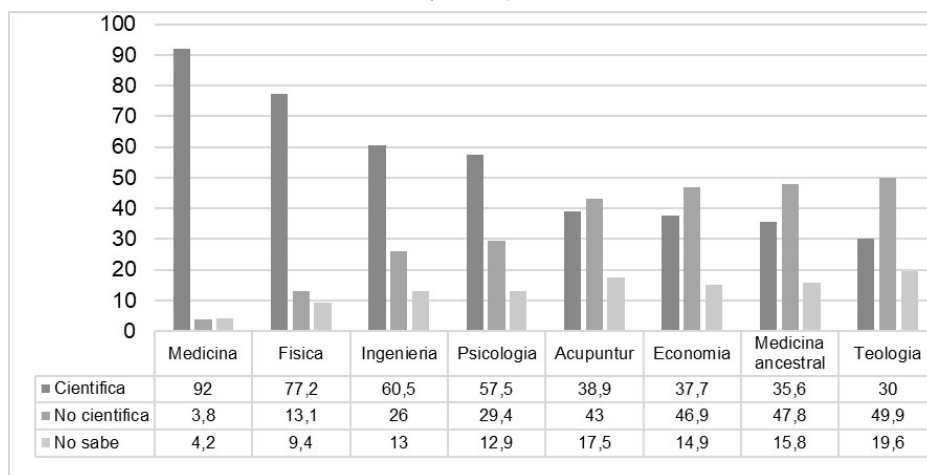
Gráfico 1: ¿Cuándo hablo sobre “ciencia”, que se le viene a la mente?.



Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Un segundo nivel analiza las disciplinas consideradas científicas. En el Gráfico 2 medicina es el principal referente, seguido de la física e ingeniería.

Gráfico 2: A continuación, voy a leer una lista de disciplinas, para cada una de ellas señale si en su opinión, la aplicación de estas es científica o no, resultados en porcentaje.



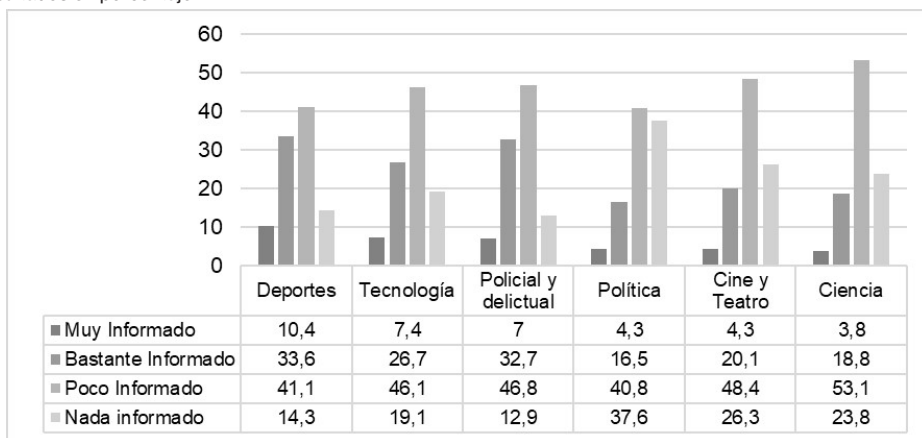
Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Lo particular es que la economía, muestra una percepción dividida; un 46,9% la ve como no científica y un 14,9% dice no saber. El informe señala una primera representación positiva de la ciencia y tecnología (CyT), pero es una imagen abstracta, que no está necesariamente anclada en dispositivos o aspectos de la vida práctica cotidiana.

En la dimensión *Práctica-operacional*; se construyeron indicadores que buscaban medir cómo las personas se apropian de la CyT, entendido como interés, información y acceso, así como prácticas y aplicación de conocimientos. Se observó que en el conjunto de temáticas, los encuestados sitúan a la tecnología en un segundo lugar de interés con

un 68% de menciones de interés, y a la ciencia en cuarto lugar con un 58,1% de menciones de interés. Pero a la vez se declaran poco informados en las temáticas.

Gráfico 3: Me gustaría que me dijera hasta qué punto se siente informado sobre una serie de temas que voy a leer, resultados en porcentaje.

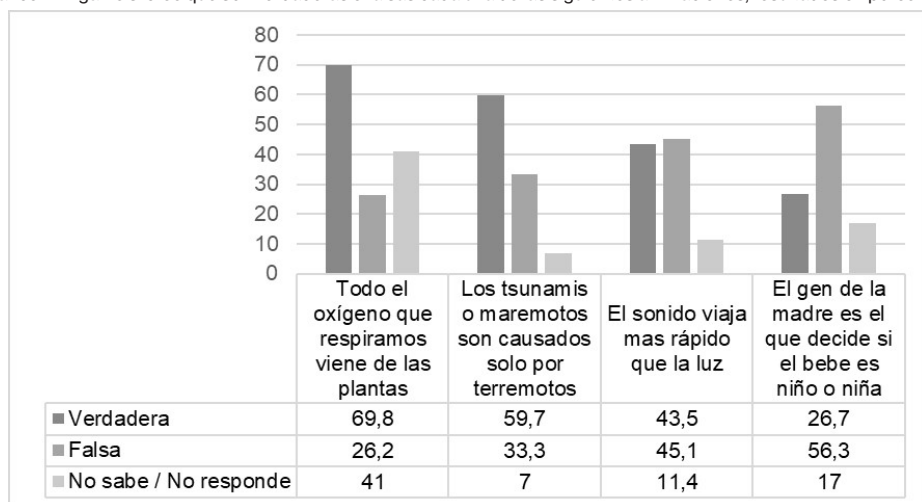


Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Las creencias de los encuestados fueron evaluadas, utilizando una serie de frases en que los encuestados señalaron creer o no creer. Por ejemplo, el 65,2% declaró creer en la frase “Los milagros existen”, en contra posición el 60,8% declaró no creer que “El tarot, el horóscopo y las cartas predicen el futuro”.

Por otra parte, dentro de la dimensión *práctica-operacional*, es importante observar cómo los conocimientos derivados de la ciencia y tecnología son adoptados por el público general.

Gráfico 4: Dígame si cree que son verdaderas o falsas cada una de las siguientes afirmaciones, resultados en porcentaje.



Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

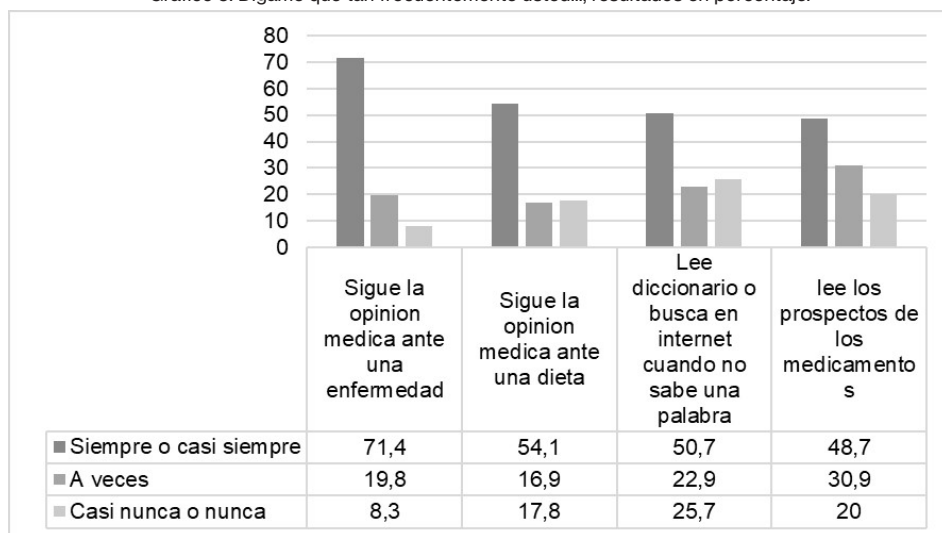
El Gráfico 4 da cuenta de este ejercicio, mostrando que el juicio “todo el oxígeno que respiramos viene de las plantas” es considerada en mayor proporción como verdadera con un 69,8%. Si bien esta afirmación es en parte verdadera, no resulta ser en su totalidad, y se entiende que las personas responden de acuerdo al conocimiento popularmente masificado respecto a que los bosques son los “pulmones” del planeta.

Por otro lado, la frase sobre “el gen de la madre...” es considerada mayormente falsa con un 56,3%, mostrando la apropiación correcta de conocimiento científico. Finalmente, la frase que presentó más dudas fue la de “el sonido...” la cual fue considerada por un 45,1% de los encuestados como falsa y un 43,5% como verdadera, siendo esta no acertada en términos teóricos. Finalmente, la frase de “los tsunamis...”, la cual es falsa, es acertada solo por un tercio de los encuestados (33,3%).

Siguiendo con la apropiación del conocimiento científico, los siguientes gráficos dan cuenta de otras prácticas efectuadas por los encuestados y que se relacionan con la introducción de conocimiento científico en la vida cotidiana.

La práctica que presenta mayor porcentaje de encuestados que declaran siempre o casi siempre realizar es “sigue la opinión médica ante una enfermedad” con un 71,4%, mientras que la práctica de “lee las etiquetas de alimentos” es la que presenta el menor porcentaje de quienes declaran realizarlo siempre o casi siempre, con un 42,5%.

Gráfico 5: Dígame que tan frecuentemente usted..., resultados en porcentaje.



Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Dentro de esta dimensión, es importante conocer la autoevaluación que realiza la población sobre de la formación científica y técnica que ha recibido.

Tabla 1. Pregunta 26. Diría usted que el nivel de la educación científica y técnica que ha recibido es (%) – NSE y Educación Encuestado.

	NSE			Macrozona		
	D-E	C3	C1-C2	Media incompleta o menos	Media completa	Superior incompleta o más
Muy bajo + Bajo	60	51	41	61	54	35
Normal	30	42	44	27	41	46
Alto + Muy Alto	4	5	13	5	3	18
No recibió educación científica	6	2	1	6	2	0

Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Se indagó en las competencias que los encuestados desearían que se inculcaran a los jóvenes en la educación formal. De un listado de siete competencias, dos de ellas podría clasificarse de orden científico: incentivar la curiosidad por desarrollar conocimientos y actitudes, y evaluar más de una solución ante los problemas.

Tabla 2. Pregunta 21. ¿Qué competencias o habilidades le gustaría que los establecimientos educacionales desarrollaran en los más jóvenes? Primera Mención % – NSE y Educación Encuestado.

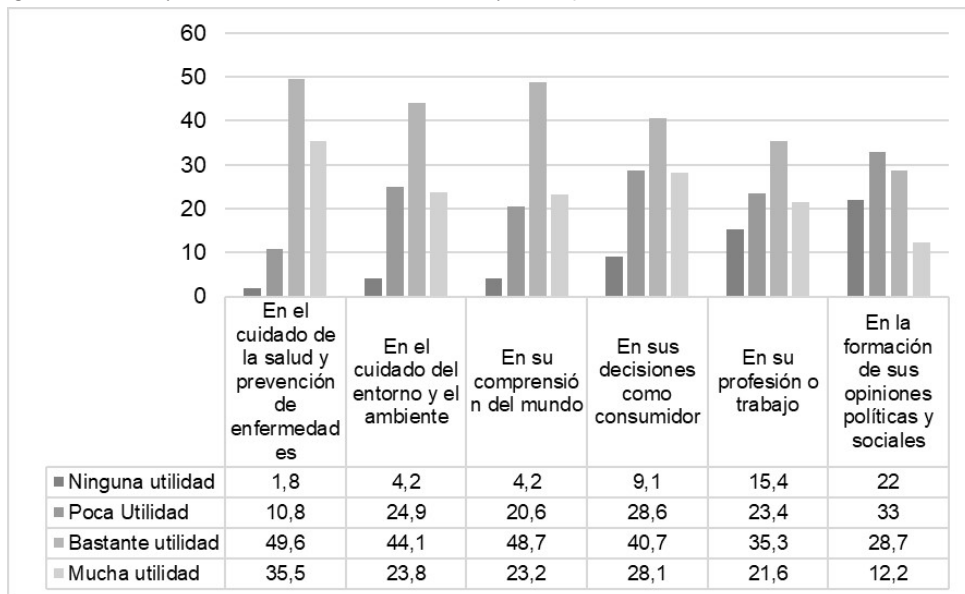
	NSE			Macrozona		
	D-E	C3	C1-C2	Media incompleta o menos	Media completa	Superior incompleta o más
Manejo del idioma inglés	46	49	42	46	48	40
Incentivar la curiosidad por desarrollar conocimientos y actitudes	13	13	17	13	14	18
Solidaridad y preocupación por las otras personas	14	13	16	14	14	14
Domínio de habilidades computacionales	9	8	7	9	7	9
Evaluar más de una solución ante los problemas	6	7	8	7	6	8
Capacidad de buscar y seleccionar información en internet o libros	5	4	3	5	4	4
Habilidad para el trabajo con otros	6	5	5	5	4	6

Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

La dimensión *Evaluativa-Valorativa* aborda una serie de temáticas como la percepción de utilidad del conocimiento científico y tecnológico, y de sus riesgos y beneficios, pasando por el impacto que tiene la ciencia y tecnología en la vida de las personas.

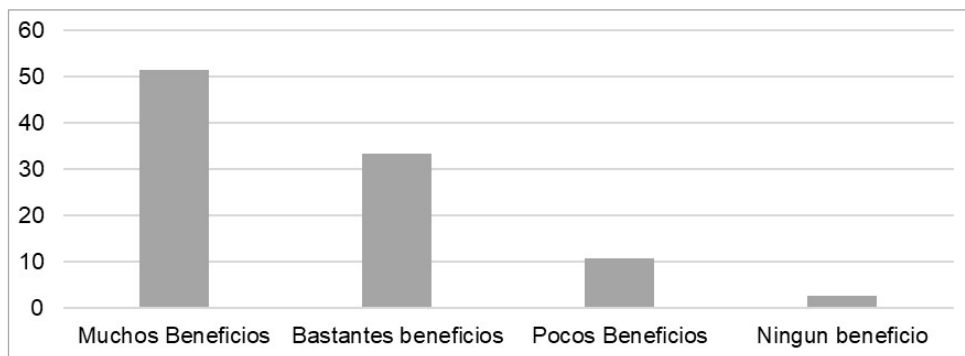
Este punto fue relevante de analizar ya que el 85,1% de los encuestados considera de “muchísima utilidad” o de “bastante utilidad” el conocimiento científico y tecnológicos en el cuidado de la salud y la prevención de las enfermedades.

Gráfico 6: Pregunta 15. ¿Hasta qué punto diría Ud. que el conocimiento científico y tecnológico es útil en los siguientes ámbitos particulares de la vida?, resultados en porcentaje.



Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Gráfico 7: Me gustaría preguntarle lo siguiente: ¿Ud. cree que en los próximos veinte años el desarrollo de la ciencia y la tecnología traerá muchos, bastantes, pocos o ningún beneficio para nuestro mundo? – Total, resultados en porcentaje.

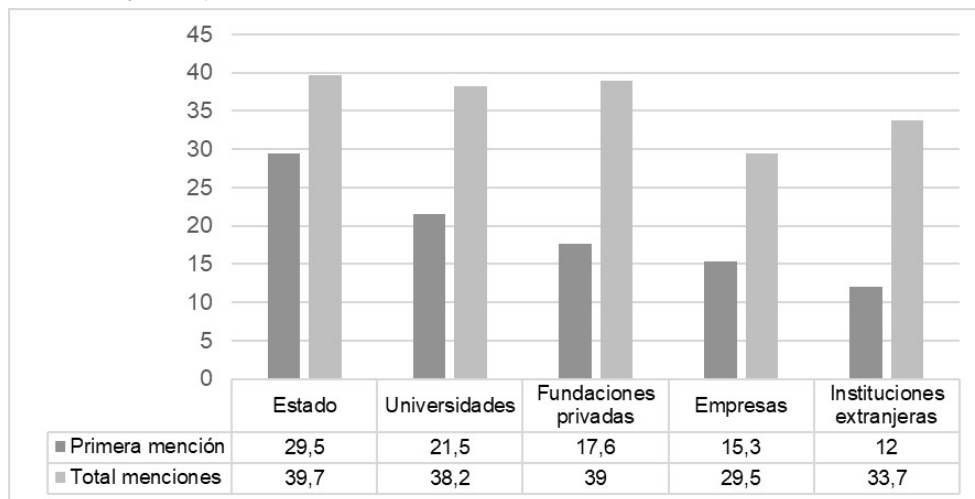


Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Pero en contraposición sólo un 40,9% lo considera muy útil o bastante útil para la formación de sus opiniones políticas y sociales. El siguiente gráfico 8 muestra la percepción general de las personas, sobre los beneficios que tiene el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Por último, la dimensión *Institucional* considera indicadores perceptuales sobre el sistema institucional de CyT, incluyendo valoraciones sobre el desarrollo desplegado en la materia y las políticas públicas.

Gráfico 8: ¿Quién piensa que aporta más dinero para la investigación científica y tecnológica en el país? Totales, resultados en porcentaje.

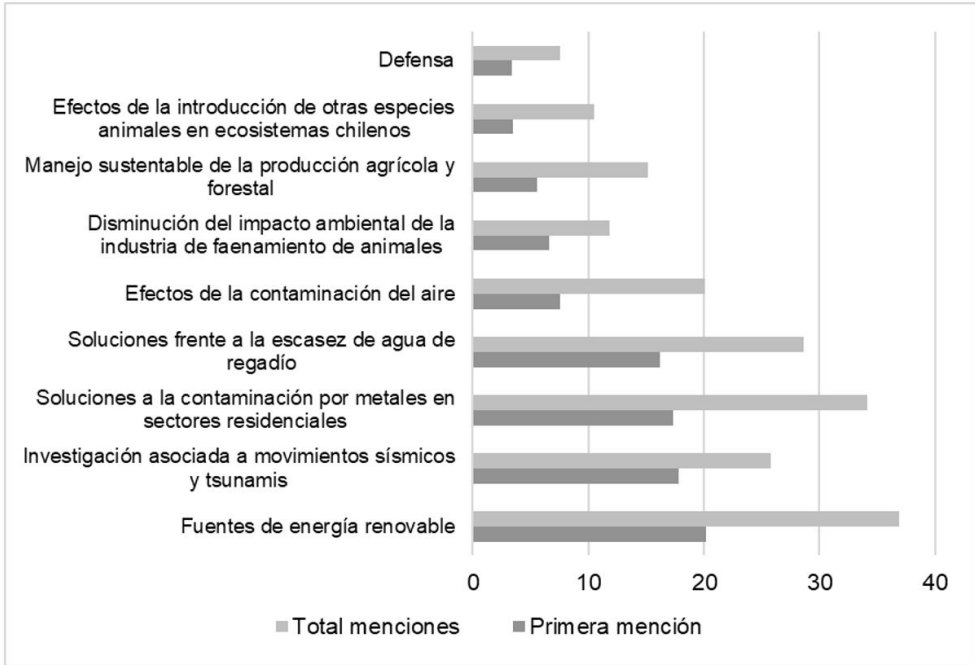


Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

Un primer aspecto relevante es la percepción sobre las prioridades de inversión, el Gráfico 8 nos muestra las menciones de las personas cuando se les pregunta por quién piensa que aporta más dinero para la investigación científica y tecnológica en Chile. Destaca que el 29,5% de las personas señala en primer lugar al Estado, seguido de las universidades con un 21,5% y fundaciones privadas con un 17,6%. Ahora al revisar el total de menciones, el Estado vuelve a tener el protagonismo, pues el 39,7% de las personas lo menciona en alguna oportunidad, mientras que este porcentaje es de 39% para las fundaciones privadas y de un 38,2% para las universidades.

Continuando, el Gráfico 9 muestra las menciones de las personas cuando se les pregunta por los ámbitos en los cuales cree que es prioritario el esfuerzo de investigación en el futuro.

Gráfico 9: ¿En cuál de los siguientes ámbitos específicos es prioritario el esfuerzo de investigación en el futuro? Totales, resultados en porcentaje.



Fuente: DESUC, Informe final EPSC 2016.

En particular, el 25,7% de las personas mencionó en primer lugar a las fuentes de energía renovable como un ámbito con prioridad de investigación, y es mencionado por un 40,9% de las personas en alguna oportunidad. Lo sigue la investigación asociada a movimientos sísmicos y tsunamis, siendo nombrada en primer lugar en un 18,1%, y en un 28,7% en el total de menciones.

Asimismo, se observa que la población conoce poco respecto al desarrollo nacional científico: solo un 17% dice reconocer una institución que se dedique a ciencia y tecnología, mencionando más a las universidades. Pasando a un tema más particular, el 11,4% de las personas conoce el programa Explora de CONICYT. En particular, el 68,5% de ellos cree que Explora realiza la actividad de Semana nacional de ciencia y tecnología, un 67,1% Concursos nacionales de proyectos de valoración y difusión, y un 63,2% el Día nacional de la ciencia y tecnológica.

2 EL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, LAS UNIVERSIDADES Y LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

Chile es el país con menor gasto en Investigación y Desarrollo entre los países de la Organización para la Cooperación y del Desarrollo Económicos (OCDE), un 0,38% del PIB

el año 2016 (MINECON, 2016). A pesar de esto los científicos chilenos poseen una de las productividades más altas a nivel latinoamericano, en el periodo 2003-2012 la producción chilena científica creció un 10,5% al año, superando la media mundial (SCImago, 2014). Al emplear indicadores de productividad calidad e impacto, Chile alcanza niveles levemente inferiores a los de Argentina.

Creado por CONICYT en 1995, el Programa Explora fomenta en la ciudadanía el razonamiento crítico, reflexivo y la comprensión del entorno. El Programa Explora tiene como misión contribuir a la creación de una cultura científica y tecnológica en la comunidad, particularmente en quienes se encuentran en edad escolar, mediante acciones de educación no formal con objeto de desarrollar la capacidad de apropiación de los beneficios de estas áreas.

Entre las iniciativas desarrolladas por Explora, se encuentran los Programas Asociativos Regionales (PAR) en todas las regiones del país; Semana Nacional de Ciencia y la Tecnología; Congreso Nacional y Regional Escolar de Ciencia y Tecnología; Concurso Nacional de Proyectos de Valoración y Divulgación de la Ciencia; Campamentos Chile VA! Estudiantes y Campamento Chile VA! Profes.

El monto de financiamiento de proyectos que impulsen acciones de divulgación y valoración de la ciencia es de M\$ 6.152.119 (aproximadamente 9,8 millones de dólares), los cuales representan apenas un 1,87% del presupuesto año 2017 del CONICYT. (DIPRES, 2017). El indicador de desempeño asociado al Programa Explora, lo desarrolla la Dirección de Presupuestos (DIPRES) del Ministerio de Hacienda. Este se basa en el Porcentaje de regiones que realizan la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología (SNCyT) y Congreso Escolar de Ciencia y Tecnología en el año, con respecto al total de regiones del país.

Tabla 3. Dimensión *Científicos y Sociedad*.

Preguntas	Opciones	N°	%
¿La Universidad o centro de Investigación dispone para Ud. de servicios de Relaciones Públicas (RRPP)?	Sí	78	56,1%
	No	45	32,4%
	No sabe	16	11,5%
¿Participa de actividades de extensión fuera de su centro de investigación?	Colegios	96	41,6%
	Universidades	58	25,1%
	Otros	26	11,3%
	Ninguna	23	10,0%
	Municipalidades	20	8,7%
¿La institución en la que trabaja le ha solicitado que genere divulgación o comunicaciones?	Empresas	8	3,5%
	Sí	80	57,6%
	No	59	42,4%

Preguntas	Opciones	N°	%
¿Tiene relación con organismos del Estado que soliciten información científica de manera periódica?	Sí	49	35,3%
	No	90	64,7%
¿Le han solicitado participar en el diseño de políticas públicas de comunicación de las ciencias y las tecnologías dirigidos a la comunidad?	Sí	13	9,4%
	No	126	90,6%
	No Sabe	0	0,0%
¿Ha realizado evaluaciones de planes estratégicos de comunicación científica implementados por organismos públicos?	Sí	6	4,3%
	No	131	94,2%
	No Sabe	2	1,5%
¿Considera que en Chile existen políticas públicas en comunicación de las ciencias y las tecnologías debidamente implementadas?	Sí	10	7,2%
	No	110	79,1%
	No Sabe	19	13,7%

Fuente: Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile. Salgado, Broitman y Rojas, 2017.

En el estudio “*Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile*” (Tabja, Broitman y Camiña, 2017), se midió la percepción de los científicos en relación con la divulgación de las CyT en Chile. La muestra del estudio se concentra principalmente en científicos que ejercen sus actividades en centros de investigación asociados a universidades chilenas durante el año 2017.

La primera dimensión de la encuesta era *Científicos y Sociedad*. Se consulto por la presencia de servicios de RR.PP. al interior de las universidades o centros de investigación, con 56,1% de respuestas afirmativas. En el 57,6% de los casos la entidad superior les ha solicitado a los investigadores que realicen divulgación y en el 42,4% restante, se declara que los centros superiores no han manifestado interés en prácticas de divulgación fuera del recinto.

Claramente, esta dimensión deja de manifiesto la precaria participación de los investigadores en el mundo no académico. Los investigadores señalan, con amplia mayoría (90,6%), que nunca han participado en el diseño de una política pública en comunicación de las CyT ni tampoco en la evaluación (94,2%) de planes estratégicos en esta misma dirección. En síntesis, cerca del 79,1% considera que no hay políticas públicas en CyT debidamente implementadas, el 7,2% que sí lo hay y el 13,7% no sabe.

Tabla 4. Dimensión *Científicos y Medios de Comunicación*.

Preguntas	Opciones	N°	%
¿Ha sido entrevistado por algún medio de comunicación alguna vez?	Sí	117	84,2%
	No	22	15,8%
	1 a 2 veces	52	37,4%

Perguntas	Opciones	N°	%
¿En el último año móvil, cuántas veces ha aparecido en los medios?	Ninguna	51	36,7%
	3 a 5 veces	28	20,1%
	Más de 6 veces	8	5,8%
¿En TV y/o radio. Cuánto tiempo (en minutos) en promedio ha aparecido en los últimos 12 meses?	Ninguno	84	60,4%
	Más de 10 minutos	24	17,3%
	De 1 a 2 minutos	10	7,2%
	De 3 a 5 minutos	8	5,8%
	Menos de 1 minuto	7	5,0%
¿En los programas en los que ha participado, ha sido por?	De 5 a 10 minutos	6	4,3%
	Entrevistas	71	36,8%
	Reportajes	40	20,7%
	Asesor Técnico	9	4,7%
	Como cuña	28	14,5%
¿Cuál ha sido el horario de su aparición?	Otro	3	1,6%
	Ninguno	42	21,8%
	Ninguno	55	39,6%
	Otro	31	22,3%
	Noticias de la noche	20	14,4%
¿La aparición en los medios ha sido en?	Programas matinales	19	13,7%
	Noticias de la tarde	14	10,1%
	Periódicos	66	25,2%
	Radio	48	18,3%
	TV Abierta	44	16,8%
	Revistas	28	10,7%
	Redes sociales	26	9,9%
	Nunca	24	9,2%
¿Utiliza las redes sociales como apoyo en la divulgación de la ciencia y tecnología? Indicar cuál	TV Cable	23	8,8%
	No sabe	3	1,1%
	Facebook	58	29,1%
	Ninguno	46	23,1%
	Portales web	44	22,1%
	Twitter	28	14,1%
	YouTube	17	8,5%
	Otro	3	1,5%
	Blog	3	1,5%
Instagram	0	0,0%	
Prensa	47	33,8%	

Preguntas	Opciones	N°	%
De su propia investigación ¿En qué medio(s) de comunicación masiva ha tenido difusión?	Ninguno	47	33,8%
	TV	18	12,9%
	Radio	18	12,9%
	Redes Sociales	9	6,5%
	No hay Interés	47	33,8%
¿Cuál cree que sea la razón fundamental de no estar presente en los medios de comunicación?	Sin acercamientos a medios y periodistas	38	27,3%
	No aplica	19	13,7%
	No conoce periodistas CyT	16	11,5%
	No sabe	12	8,6%
	Otros	7	5,0%

Fuente: Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile. Tabja, Broitman y Camiña, 2017.

En la pregunta final de esta dimensión, el 33,8% de los investigadores considera que no hay interés de los medios de comunicación por la divulgación y el 27,3% señala carecer de contactos con medios y periodistas, y otro 11,5% expresa una ausencia de contactos con periodistas especializados del sector de las CyT.

Estos dos últimos antecedentes dan cuenta de una gestión deficitaria de la divulgación que coadyuven a instalar a las CyT como un producto para los medios de comunicación que, valiéndose de su calidad de privados, requieren de una programación o parrilla editorial que sea posible de vender a los potenciales avisadores o anunciantes.

Tabla 5. Dimensión *Ciencia y Tecnología en los medios*.

Preguntas	Opciones	N°	%
¿Considera que los periodistas, en general, utilizan el lenguaje científico y tecnológico de manera?	Insuficiente para lo que el público requiere	112	80,6%
	Adecuado para la programación y el público	25	18,0%
	No sabe	2	1,4%
	Correcta y Clara	0	0,0%
En su opinión ¿quién debería realizar comunicación científica en los distintos medios?	Periodistas especializados	89	64,0%
	Científicos reconocidos	36	25,9%
	Otros	10	7,2%
	Indiferentes	2	1,4%
	No sabe	2	1,4%
	Actores	0	0,0%
	Animadores con trayectoria	0	0,0%
Mala (1,1-3,9)	82	59,0%	

Preguntas	Opciones	N°	%
¿Considera que la difusión o comunicación científica y tecnológica en medios masivos en Chile es?	Regular (4,0 - 4,9)	39	28,1%
	No existe (1,0)	15	10,8%
	Buena (5,0- 5,9)	2	1,4%
	No sabe	1	0,7%
	Muy buena (6,0 - 7,0)	0	0,0%

Fuente: Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile. Tabja, Broitman y Camiña, 2017.

En la última dimensión un hallazgo interesante fue que los científicos consideraron (80,6%) que los periodistas emplean un lenguaje insuficiente para lo que el público requiere. Pese a que la sentencia es ambigua, deja instalada la insatisfacción, dado que la crítica puede estar dirigida a variados ámbitos: conceptualización, empleo de definiciones inapropiadas, falta o ausencia de rigor con la fuente o bien dar por vigente conocimiento extemporáneo o en vías de ser confirmado.

El diagnóstico final de los investigadores es que la divulgación de las CyT en los medios de comunicación chilenos es mala con el 59,0%, regular con el 28,1% e inexistente con el 10,8%. Finalmente, el 1,4% la considera como buena y el 0,7% no sabe.

Para finalizar el estudio realizo un proceso de validación de la información que tomó en consideración la opinión de periodistas y comunicadores de la ciencia y tecnología. Para poder establecer brechas de percepción.

Tabla 6. Periodistas y Comunicadores de las CyTs (n=23).

Preguntas	Opciones	N°	%	% Científicos
¿En relación con los artículos o notas científicas que Ud. publica?	Investiga y Desarrolla	15	65,2%	
	Son enviadas por Univ y centros	4	17,4%	
	Otros	3	13,0%	
	No sabe	1	4,3%	
	Las compran en agencias	0	0,0%	
¿Posee una red profesional de científicos y/o tecnólogos que puedan colaborar y aclarar conceptos para la difusión de una nota periodística realizada por usted?	Sí	23	100,0%	
	No	0	0,0%	
¿Usted considera que los científicos son accesibles cuando requiere de su conocimiento especializado?	En Ocasiones	14	60,9%	
	Sí	9	39,1%	
	No	0	0,0%	

Preguntas	Opciones	N°	%	% Científicos
¿Considera que los periodistas, en general, utilizan el lenguaje científico y tecnológico de manera?	Insuficiente para lo que el público requiere	15	65,2%	80,6%
	Adecuado para la prog. y público	6	26,1%	18,0%
	Correcta y Clara	2	8,7%	0,0%
	No sabe	0	0,0%	1,4%
¿El medio de comunicación en el que usted se desempeña, posee una estrategia editorial en CyT?	Sí	12	52,2%	
	No	8	34,8%	
	A veces	2	8,7%	
	No sabe	1	4,3%	
¿Quién debería realizar la comunicación científica en los distintos medios?	Periodista especializado	17	73,9%	64,0%
	Otros	3	13,0%	7,2%
	Indiferentes	3	13,0%	1,4%
	Científicos reconocidos	0	0,0%	25,9%
	No sabe	0	0,0%	1,4%
	Actores	0	0,0%	0,0%
¿En su calidad de comunicador científico, organismos del Estado le han solicitado participar en el diseño de políticas públicas de comunicación de las C&T dirigido a la comunidad?	No	21	91,3%	90,6%
	Sí	2	8,7%	9,4%
¿Alguna vez ha realizado evaluaciones de planes estratégicos de comunicación científica implementados por organismos públicos?	No	21	91,3%	94,2%
	Sí	2	8,7%	4,3%
	No Sabe	0	0,0%	1,4%
¿Considera que en Chile existen políticas públicas en comunicación de las ciencias y tecnologías debidamente implementadas?	No	18	78,3%	79,1%
	No Sabe	4	17,4%	13,7%
	Sí	1	4,3%	7,2%
¿Considera que la difusión o comunicación científica y tecnológica en medios masivos en Chile es?	Regular (4,0 - 4,9)	12	52,2%	28,1%
	Mala (1,1-3,9)	7	30,4%	59,0%
	Buena (5,0- 5,9)	4	17,4%	1,4%
	No existe (1,0)	0	0,0%	10,8%
	No sabe	0	0,0%	0,7%
	Muy buena (6,0 - 7,0)	0	0,0%	0,0%

Fuente: Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile. Tabja, Broitman y Camiña, 2017.

El diagnóstico final de los comunicadores v/s los investigadores proporciona algunas diferencias en relación con la divulgación de la CyT en Chile. Mientras que los

comunicadores le asignan el 17,4% como buena, los científicos solo lo hacen en el 1,4% de los consultados. La opción de mala es del 30,4% para los comunicadores, en tanto que para los científicos casi dobla esta opción (59, 0%). Sin embargo, las respuestas no atribuyen al periodista la calidad misma de la divulgación, también hay una crítica de ambos grupos consultados hacia los medios de comunicación, dada su falta de interés en la divulgación y la ausencia de un formato simple, entretenido y riguroso.

Entonces, se puede afirmar que los ejes centrales de la consulta a los científicos son coincidentes con las tendencias predominantes de las declaraciones obtenidas de los periodistas. Una baja participación en el diseño de estrategias de divulgación con organismos del Estado, percepción de inconvenientes con la divulgación de las CyT en términos del lenguaje del comunicador y lo que el público requiere y la de una evaluación de mala a regular en relación con la divulgación de las CyT en los Medios Comunicación en Chile.

El informe concluye que se torna fundamental desarrollar una política pública con indicadores, que puedan medir la actividad de divulgación de la CyT en todos los medios de comunicación públicos y privados del país. Por ejemplo:

- Considerar la extensión de las publicaciones.
- Ranking de las disciplinas científicas en los medios y evaluación de la asimetría de aparición.
- Desarrollar indicadores de trazabilidad en cuanto al origen de la divulgación, según sean organismos de primera fuente, prensa local, internacional o divulgación ciudadana.
- Registrar cuan reciclada versus original es la información publicada en los medios.
- Presencia de auspiciadores frecuentes y potenciales en radio, televisión, impresos y redes sociales.
- Detección de los espacios de interacción entre científicos, periodistas y comunidad.

3 REFORMA A LA EDUCACIÓN SUPERIOR Y POPULARIZACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Chile no ha tenido una política de ciencia y tecnología que involucre un mayor rol de esta en el desarrollo de la sociedad. El Estado chileno actualmente es solo subsidiario de las iniciativas de investigación desarrolladas principalmente por los investigadores y las universidades a las que pertenecen.

Estas últimas han tenido un régimen jurídico los últimos treinta años de amplia autonomía y sin supervisión directa de una subsecretaría ministerial de educación superior que velase por el cumplimiento de las características de una universidad del tipo *compleja*, es decir que cumplan con desarrollar actividades de investigación y vinculación con el medio. Las Universidades que desean acreditar su calidad y acceder a financiamiento, lo deben realizar ante un organismo de acreditación institucional, las actividades de *investigación y vinculación con el medio* son hoy obligatorias para la acreditación.

Esto es uno de los aspectos fundamentales del proyecto de reforma de la educación superior aprobada en mayo de 2018, en este se establece que todas las universidades deben ser *complejas*, lo que significa que deberán acreditarse en las cinco áreas que contempla el proyecto: a) Gestión institucional, b) Sistema interno de gestión de la calidad, c) Docencia y Formación, d) Investigación, creación e innovación y e) Vinculación con el medio. En los hechos la realidad es que la gran mayoría de las universidades en Chile no desarrollaba esfuerzos en investigación.

Este es un aspecto bastante problemático, el 85% de la productividad científica chilena se realiza en las universidades, e institucionalmente la investigación se concentra en sólo tres de ellas: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción. En estas se generó el 51% de los artículos publicados durante el periodo 2008-2012, un estudio sobre 50 universidades analizadas (SCImago, 2014). Estas mismas universidades se adjudicaron el 52% de los proyectos del Fondo de Desarrollo de Ciencia y Tecnología (Fondecyt) del año 2016 y el 67% de las becas de doctorado nacional entregadas para el año académico 2016 (CONICYT, 2017). Otro fenómeno para considerar es la concentración regional de publicaciones científicas, el 54% del total de estas se concentran la capital, y el 77% de la investigación se realiza en apenas tres regiones del país.

En Chile Se encuentran en implementación la Reforma a la educación superior y la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología; en ambos casos se desarrolla una gobernanza que trata de cubrir los déficits existentes de transparencia, participación y de gobernabilidad de los respectivos sistemas de Educación Superior y el de Ciencia y Tecnología.

Los investigadores durante en la última década, ha expresado recurrentemente la debilidad de la institucionalidad de la ciencia y tecnología en Chile. Planteando que no existe una política que integre todos los esfuerzos en fomento a la investigación, transferencia tecnológica y desarrollo de capital humano. Adicionalmente plantean que existen problemas en la incorporación de investigadores jóvenes; la nula relación entre

empresas y el mundo científico; deficiencias en la infraestructura y equipamiento; y la necesidad de fortalecer a las *universidades de investigación*.

La mirada de algunos economistas sobre el problema de la ciencia en Chile ha calado muy hondo, especialmente en el espacio público y sin un contrapeso real. Una de las nefastas consecuencias ha sido la captura de la política científica por un puñado de nombres que aparecen continuamente en puestos relacionados con la ciencia y la innovación, especialmente en el ámbito económico. Aunque la renovación de ideas no está necesariamente asociada a la renovación de rostros, es importante abrir el paso a nuevas formas de pensamiento, nuevas escuelas, nuevas profesiones, etcétera. A menudo se suele escuchar frases de tipo “sería bueno que el presidente de Conicyt sea un político” o “esperemos que el ministro de Ciencia sea alguien con poder político”. Detrás de estas frases está la idea de que necesitamos que la ciencia cuente con autoridades con experiencia política, capacidad de gestión y negociación, y cercanía con el poder político, con la esperanza de acortar la brecha entre la ciencia y el mundo de la política y, en definitiva, del poder. Pero ¿por qué no pedimos lo opuesto? ¿Acaso no sería bueno contar con un presidente del CNID o un jefe de División de Innovación con formación científica? Una formación que evidencie el análisis de la evidencia disponible de manera sistemática y que permita generar soluciones a los desafíos existentes sobre las bases de dichos análisis, evidentemente será útil en el campo de la política. Pero no lograremos crear conciencia sobre la importancia de la ciencia en el campo de las políticas públicas y de la política en general, si seguimos subyugados a una visión que somete el valor de la investigación científica a criterios de utilidad, y que busque supeditar el apoyo de la ciencia a criterios predominantemente productivos. (Astudillo, 2016, p.182)

La Reforma de la Educación Superior establece dentro de uno de sus principios, la *pertinencia* del Sistema de Educación Superior. Este sistema debe promover, que en su quehacer contribuya permanentemente al desarrollo del país y de sus regiones. Relacionando aspectos misionales de la universidad y su rol en la sociedad.

Pero el aspecto más relevante es la creación de cinco dimensiones de evaluación obligatorias para la acreditación de las instituciones: a) gestión y recursos institucionales, b) aseguramiento interno de la calidad, c) docencia y resultados de formación, d) generación de conocimiento, creación e innovación y e) vinculación con el medio.

En la dimensión d) generación de conocimiento, creación e innovación; se evaluaría la capacidad para realizar creación e investigación básica y aplicada, así como la transferencia de conocimiento. Asimismo, la institución debe demostrar que cuenta con políticas y mecanismo formales para la promoción, registro y valoración de la producción académica. En termino simples se deben hacer cargo de evaluar el impacto de la investigación realizada, y en cierta medida a la equidad en el acceso de esta información. Uno de los aspectos deficitarios no resueltos, se mantienen en la conformación jurídica de la Educación Superior Estatal, en este punto no crea un rol de responsabilidad estatal en la producción de ciencia y apropiación social de esta.

Sobre el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el aspecto más relevante trata sobre la creación de la *“Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo”*. Esta deberá abordar, con un horizonte de largo plazo, los desafíos y oportunidades de desarrollo del país, generando un marco que oriente las políticas públicas y los instrumentos de apoyo a la formación de recursos humanos altamente calificados, la investigación y generación de conocimiento, el desarrollo y transferencia de tecnología, la innovación y el desarrollo de una cultura de ciencia, tecnología e innovación.

Dicha estrategia deberá contener, a lo menos, un diagnóstico de las tendencias globales y de las oportunidades y desafíos para el desarrollo inclusivo y sostenible de Chile en el escenario mundial; propuestas para el desarrollo nacional basadas en el fomento de la ciencia, tecnología e innovación; orientaciones sobre prioridades estratégicas para el gasto público en materias de ciencia, tecnología e innovación; y criterios, metas e indicadores para el seguimiento y evaluación del desempeño y desarrollo del Sistema en el mediano y largo plazo.

4 CONCLUSIONES

La apropiación social de la ciencia en Chile es deficiente, esto se analizó en la sección inicial de esta ponencia. Con el análisis de las cuatro dimensiones presentes en el informe *“Primera Encuesta Nacional de Cultura Científica: Percepción social sobre la Ciencia y Tecnología en Chile”*.

La ciencia en Chile es desarrollada por las universidades y financiadas principalmente por el Estado, eso sí con la inversión más baja entre los países miembros de la OCDE. El presupuesto para divulgación científica se ejecuta a través del programa Explora, y solo representa un 1, 87% del presupuesto 2017 del Conicyt.

En la segunda sección se analizó los resultados del documento *“Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile”*. Donde se conoce la percepción de los científicos y periodistas científicos sobre el ejercicio de la divulgación de la ciencia. Se pudo apreciar el juicio negativo sobre el estado actual de esta en las Instituciones de Educación Superior, y las críticas al nulo interés de los medios de comunicación por estas temáticas. Todo esto bajo la crítica a una gobernanza que solo está estructurada como agencias de fondos concursables y que no da cuenta de las aspiraciones de los grupos de interés de los subsistemas de educación superior y de CyT, hablamos de las universidades, centros de investigación e investigadores.

Una política de ciencia que es criticada por el predominio de los criterios de mercado en la configuración de los fondos concursables y en la gobernabilidad de un sistema que no tiene objetivos misionales, para la divulgación y apropiación social de la ciencia.

La ciencia en Chile se encuentra altamente concentrada en solo tres universidades y en ciertas regiones del país. La gran mayoría de las universidades chilenas recién transita a cumplir los requisitos de *universidad compleja*. Además de gran discusión sobre el chasis institucional de los sistemas de educación superior y el sistema de ciencia y tecnología descritos en la tercera sección de esta ponencia.

En la discusión del proyecto de Ley de Educación Superior, se mantuvieron las indicaciones de obligatoriedad de investigación y vinculación con el medio, para instituciones que se acrediten en el sistema de aseguramiento de calidad, conducente al financiamiento de la gratuidad. De manera de garantizar aspectos misionales en las universidades sobre ciencia y sociedad.

Pero esto no será posible si la inversión en Ciencia y Tecnología sigue en los más bajos índices entre los países miembros de la OCDE. Además de reconocer como insuficiente el modelo de desarrollo basado en la explotación de *comodities*, y que ha llevado a Chile a pactar innumerables acuerdos de libre comercio.

Los modelos de gobernanza de la ciencia y tecnología deben propender a garantizar el acceso a los bienes públicos desarrollados por las universidades, además de la participación de la sociedad civil en la definición de una estrategia de desarrollo basada en ciencia y tecnología. Esto implica el desarrollo de una industria de valor agregado en torno a la explotación de recursos naturales como el Litio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astudillo, P. (2016). *Manifiesto por la ciencia*. Santiago, Chile: Editorial Catalonia.

Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica - CONICYT (2017) Becas Chile: Resumen de fallo Doctorado nacional. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. <https://bit.ly/3EarZpc>

Dirección de Estudios Sociales, Universidad Católica de Chile - DESUC (2016). *Primera Encuesta Nacional de Cultura Científica: Percepción Social sobre la Ciencia y Tecnología en Chile*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT. <https://bit.ly/3twEAhc>

Dirección de Presupuestos - DIPRES (2017) *Antecedentes Presupuestarios 2017 del Ministerio de Educación*. Ministerio de Hacienda. <https://bit.ly/3BViYOC>

Ministerio de Economía, Fomento y Turismo - MINECON (2016). *Quinta Encuesta Nacional Sobre Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo*. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. <https://bit.ly/3hm6pE8>

SCImago Research Group (2014). *Principales Indicadores Científicos de la Actividad Científica Chilena 2012*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT. <https://bit.ly/3z7RrrG>

Tabja, J., Broitman, C., Camiñas, A. (2017) "Percepción de los científicos y periodistas sobre la divulgación de la ciencia y la tecnología en Chile". *Revista Latina de Comunicación Social*, 72, pp. 1.107 a 1.130. <https://bit.ly/3hisnba> (DOI: 10.4185/RLCS-2017-1210)

CAPÍTULO 6

COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA DE CONTROL INTERNO Y EXTERNO MUNICIPAL ENTRE ECUADOR Y ARGENTINA

Data de submissão: 30/09/2021

Data de aceite: 18/10/2021

José Townsend

Doctor en Gestión Económica Global
Docente Investigador en
Administración de Empresas
Sistemas de Información Gerencial y
Diseño de Modelos Educativos
Facultad de Posgrado e Investigación
Universidad Tecnológica Empresarial de
Guayaquil, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-5319-4425>

Verónica Ponce

Magister en Administración de Empresas
Docente Titular Investigadora en
Grado y Postgrado de la
Facultad de Ciencias Administrativas
Universidad Estatal
Península de Santa Elena
Santa Elena, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2038-2654>

Carlos Albert Ferreira

Doctor en Ciencias de la Administración
Profesor Asociado
Dedicación Exclusiva ordinario
Contabilidad Pública y
Administración Pública
Docente Investigador
Categorizado en el Programa de
Incentivos a Docentes Investigadores
Departamento de Ciencias de la
Administración
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-2479-6288>

RESUMEN: El presente artículo tiene por objeto realizar un análisis comparativo de la normativa vigente en Ecuador y Argentina fundamentado en la construcción de un panorama legal que permita identificar los elementos más significativos que se aplican en el control interno de los Municipios. Se utilizó el método comparativo para contrastar las principales características sobre los marcos legales y el uso de información documental de fuentes secundarias. Los resultados se miden en dos enfoques: mejoras en los estándares de control interno que permiten hacer análisis preventivos y correctivos y cambios profundos en la normativa legal vigente, es importante que los gobiernos locales lleven a cabo revisiones de su normativa ajustadas a las entidades de control en su fiel cumplimiento.

PALABRAS CLAVE: Análisis. Normas. Control Interno. Municipios locales.

1 INTRODUCCIÓN

Para algunos países de América Latina la grave crisis financiera, política y hasta moral lleva consigo un problema de fondo, que se profundiza cada vez más por la gestión de cada Gobierno de turno, independientemente a la idea política a la que pertenezca. En muchos casos, parten del principio que, la modificación periódica de la Constitución les permite gobernar en armonía a sus ideologías y principios. Es imposible pensar en un desarrollo económico y el lineamiento de objetivos a partir de diferentes doctrinas políticas que cada vez más limitan la soberanía de los pueblos. El análisis que realizan (Gismano, Ferreira, Aispuro, Scoponi, & Iriarti, 2019) se hace necesaria una legislación con reglas y principios claros que marquen el camino a mejorar los controles en los diferentes ámbitos de la cosa pública, pero se refieren a países denominados como del primer mundo, y continúan “en varios países se ha avanzado en el tema. Así es que, en España, miembro de la Unión Europea, las políticas de Gobierno Abierto, acceso a la información pública, y acciones y herramientas de control (interno y externo) están ya muy desarrolladas”.

Para (The Dialogue, 2016) “El asunto es relevante porque muchas de las reformas políticas que se hacen en América Latina son una especie de frazada de retazos en la cual las partes aparecen anexadas en forma contradictoria y donde todo está pensado para resolver problemas de coyuntura”. Se deben comparar las diferencias en cada una de las experiencias entre Ecuador y Argentina en las regiones donde toma fuerza este análisis jurídico.

Para centrarnos en el estudio, se toman como referencia a los Gobiernos Locales de Argentina y Ecuador, donde se sabe que la legislación reconoce el principio de Autonomía de los mencionados Gobiernos.

En Argentina, de acuerdo con su Constitución Nacional, en el Art. 123. Dice: “Cada provincia dicta tu propia constitución, conforme a lo dispuesto por el Art. 5º, asegurando la autonomía municipal y reglando su alcance y contenido en el orden institucional, político, administrativo, económico y financiero.

Mientras que, en Ecuador, la Constitución Nacional en su Art. 239. Dice: “El régimen de gobiernos autónomos descentralizados se regirá por la ley correspondiente, que establecerá un sistema nacional de competencias de carácter obligatorio y progresivo y definirá las políticas y mecanismos para compensar los desequilibrios territoriales en el proceso de desarrollo. (Estudio Comparativo de las leyes de Régimen Local, 2011).

En el caso de Argentina los elementos determinantes de la competencia municipal es su poder jurídico, representado por el grado de autonomía que establece cada

provincia. Una condición de este poder es el tamaño del gobierno local que posea, y por las constituciones provinciales que, en la mayor parte de los casos, establecen atribuciones y estructuras organizativas diferentes entre sí. Las Constituciones Provinciales consideran distintas categorías y niveles a los municipios. Son consideradas como distintos “niveles” de gobierno local, la cantidad de categorías de municipios y las restantes formas de gobierno local, la diferenciación radica en la población y las formas de gobierno local vigentes en la actualidad.

Las categorías de municipios se constituyen en uno de los factores de diferenciación que define el derecho de ejercer el poder constituyente. Un municipio habilitado o competente para dictarse su carta orgánica o carta municipal es intrínsecamente distinto del municipio que no tiene ese derecho. Una vez cumplidos los requisitos que lo habilitan (cantidad de habitantes mínimos en la mayor parte de los casos) sólo resta la voluntad política de ejercer dicha atribución. El otro factor de diferenciación es el uso concreto de ese derecho, ya que recién allí se ejercita en plenitud la autonomía institucional. (Iturburu, Mónica Silvana, 2004 2º Edición).

El marco normativo varía porque es la Carta Orgánica la norma que regula el funcionamiento municipal, en tanto la Ley Orgánica de las Municipalidades de cada provincia establece el marco regulatorio de los gobiernos locales que no la tienen. Bajo esta perspectiva, son muy escasas las constituciones que conciben una única identidad municipal y aún menos las que prescriben una única forma de gobierno local.

La Constitución de la república del Ecuador menciona en el Art. 215: “El presupuesto de los gobiernos autónomos descentralizados se ajustará a los planes regionales, provinciales, cantonales y parroquiales respectivamente, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo, sin menoscabo de sus competencias y autonomía. Y en su Art. 270. Los gobiernos autónomos descentralizados participarán de las rentas del Estado de conformidad con los principios de subsidiariedad, solidaridad y equidad. (Constitución de la República del Ecuador, 2008). Los Municipios de las ciudades más grandes del Ecuador, Quito, Guayaquil y Cuenca, tienen mayor cantidad de recursos por tener la mayor cantidad de habitantes. Rigen sus actividades por el Código Orgánico de Organización territorial, donde se establece las funciones de todos los municipios, y hace excepción en los municipios grandes de 3 las tres ciudades más grandes, como son Guayaquil, Quito y Cuenca, en cuanto a su presupuesto. (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Del Ecuador, 2010)

2 ORGANISMOS DE CONTROL Y SUS FUNCIONES

2.1 REPÚBLICA DE ECUADOR

Las entidades que administran recursos municipales requieren revisiones y controles periódicos que se desarrollan mediante exámenes de auditoría que, de acuerdo con la naturaleza de la revisión, podrían clasificarse en: auditorías financieras, de control interno, de gestión, exámenes especiales, entre otras. Estas intervenciones se efectúan en las entidades que integran el sector público, organizado por la Constitución de la República del Ecuador de la siguiente manera:

1. Los organismos y dependencias de las funciones ejecutiva, legislativa, judicial, electoral y de transparencia y control social.
2. Las entidades que integran el régimen autónomo descentralizado.
3. Los organismos y entidades creados por la Constitución o la ley para el ejercicio de la potestad estatal, para la prestación de servicios públicos o para desarrollar actividades económicas asumidas por el Estado.
4. Las personas jurídicas creadas por acto normativo de los gobiernos autónomos descentralizados para la prestación de servicios públicos.
(Constitución de la República del Ecuador, 2008)

En Ecuador el control a los recursos públicos se ejecuta mediante auditorías en los diferentes sectores de la administración estatal y en atención a los requerimientos de la entidades y demandas ciudadanas. Los Planes Anuales de Control se formulan y ejecutan en concordancia con los objetivos estratégicos y tácticos del plan estratégico, con sujeción a las disposiciones constitucionales, legales y reglamentarias vigentes.

Se reconoce que toda entidad que administre recursos estatales se encuentra bajo la supervisión del organismo máximo de control, la Contraloría General del Estado, el cual, junto a otras entidades gubernamentales, conforma la sexta función estatal, denominada “control y transparencia social”. La CGE “tiene la dirección del sistema de control, fiscalización y auditoría del Estado, así como también, la función de examinar, verificar y evaluar el cumplimiento de la visión, misión y objetivos de las instituciones del Estado en conformidad con la utilización de recursos y bienes públicos” (Asamblea Nacional Constituyente, 2002, p. 7).

En Ecuador, la Contraloría General del Estado es un organismo técnico encargado del control de la utilización de los recursos estatales, y la consecución de los objetivos de las instituciones. Entre las funciones:

Cuadro 1. Funciones de la Contraloría General del Estado.

1. Dirigir el sistema de control administrativo que se compone de auditoría interna, auditoría externa y del control interno de las entidades del sector público y de las entidades privadas que dispongan de recursos públicos.
2. Determinar responsabilidades administrativas y civiles culposas e indicios de responsabilidad penal.
3. Expedir la normativa para el cumplimiento de sus funciones.
4. Asesorar a los órganos y entidades del Estado cuando se le solicite..

Fuente: Elaboración Propia desde la Constitución del Ecuador Art. 212.

2.2 REPÚBLICA DE ARGENTINA

Un eficiente y eficaz sistema de control interno normativo, financiero, económico y de gestión sobre sus propias operaciones, comprendiendo la práctica del control previo y posterior y de la auditoría interna; son procedimientos adecuados que aseguren la conducción económica y eficiente de las actividades institucionales y la evaluación de los resultados de los programas, proyectos y operaciones de los que es responsable la jurisdicción o entidad.

Según la Ley 24.156 de la Administración Financiera y de los Sistemas de control del Sector Público Nacional y su reglamentación Decreto 1344/2007 en su Artículo 7, se establece que la Sindicatura General de la Nación y la Auditoría General de la Nación serán los órganos rectores de los sistemas de control interno y externo, respectivamente.

“Art. 103. El modelo de control que aplique y coordine la sindicatura deberá ser integral e integrado, abarcar los aspectos presupuestarios, económicos, financieros, patrimoniales, normativos y de gestión, la evaluación de programas, proyectos y operaciones y estar fundado en criterios de economía, eficiencia y eficacia.”

El actual sistema de control del sector público nacional, diseñado por la Ley de Administración Financiera y de los Sistemas de Control del Sector Público Nacional, Ley 24.156 , ha creado como órgano de control interno del Poder Ejecutivo Nacional a la Sindicatura General de la Nación, SIGEN (artículos 96 y 100) –órgano normativo, de supervisión y coordinación - y a las Unidades de Auditoría Interna (UAI), las cuales dependen jerárquicamente de la autoridad superior de cada organismo, y actúan coordinadas técnicamente por la Sindicatura General de la Nación, en su carácter de órgano rector del control interno. (Iturburu, Mónica Silvana, 2004 2º Edición)

Ilustración 2. El Control, según la división política: Diferencias entre Ecuador y Argentina

El control externo, según la división política	Ecuador	Argentina
Nacional	Contraloría General del Estado	Auditoría general de la Nación
Provincial	Contraloría General del Estado	Auditoría General Provincial Tribunal de Cuentas Provincial
Municipal	Contraloría General del Estado	Tribunal de Cuentas (Buenos Aires)
El control interno, según la división política	Ecuador	Argentina
Nacional	Contraloría General del Estado	Sindicatura General de la Nación
<i>Provincial</i>	<i>Contraloría General del Estado</i>	<i>Contaduría General de la Provincia (Provincia de Buenos Aires)</i>
Municipal	Contraloría General del Estado	Contador Municipal (Provincia de Buenos Aires)

Fuente: Elaboración propia, tomada de las Constituciones y Leyes orgánicas de Ecuador y Argentina.

Ilustración 3. El Control, Diferencias y similitudes entre Ecuador y Argentina.

1. Organismos de Control Auditoría de Municipios	
Ecuador	Argentina
<p>El entorno de auditoría del sector público es aquel en el que los gobiernos y otras entidades del sector público ejercen la responsabilidad del uso de los recursos derivados de los impuestos y otras fuentes en la prestación de servicios a los ciudadanos y otros destinatarios.</p> <p>La Contraloría General del Estado, realiza el control externo e interno en todos los Municipios de la República del Ecuador.</p> <p>Si todas las actividades de las instituciones del Estado deben someterse a la ley, es necesario asegurar, mediante un control adecuado, que esto ocurra efectivamente, como única forma de hacer efectivas las responsabilidades a las que se refieren los arts. 20, 21, 22, 120 y 121 de la Constitución del Ecuador. El sistema de Control de legalidad, eficiencia, eficacia, lo realiza la Contraloría General del Estado.</p> <p>Tiene poder sancionatorio. No necesita recurrir a la justicia para sancionar administrativamente, ni de manera civil, pero si emite informes de indicios de responsabilidad penal, para que la Fiscalía General del Estado realice las investigaciones y determine las responsabilidades penales.</p>	<p>La Auditoría General de Nación, órgano de control externo del Sector Público Nacional, ubica su intervención en la etapa ex post de control. El control de la Sindicatura General de la Nación, órgano rector del sistema de control interno del Sector Público Nacional, es previo y posteriori. (Ragazzini, 2017) En la Provincia de Buenos Aires el órgano de control externo está a cargo del Tribunal de Cuentas y su control es aplicable al momento ex post.</p> <p>La Auditoría General de la Nación depende del Congreso Nacional.</p> <p>El Tribunal de Cuentas es un órgano de control administrativo con funciones jurisdiccionales y posee las atribuciones que le confiere la Constitución de la Provincia de Buenos Aires y las que le otorga la ley 10869. (Ley Orgánica del Tribunal de Cuentas de la Provincia de Buenos Aires., 1990)</p> <p>El sistema de control es dual entre la Sindicatura General de la Nación (SIGEN), es el órgano rector del sistema de control interno en el Sector Público Nacional, y la Auditoría General de la Nación y el Tribunal de Cuentas en Buenos Aires se encargan del control externo.</p>

1. Organismos de Control Auditoria de Municipios	
Ecuador	Argentina
La máxima Autoridad del control público es el Contralor General del Estado, quien es elegido por concurso de méritos y oposición.	El Honorable Tribunal de cuentas, posee poder jurisdiccional impropio, porque a partir de lo dispuesto por la Constitución Nacional, el Poder Jurisdiccional corresponde al Poder Judicial, el Tribunal de Cuentas posee poder jurisdiccional impropio porque: a) no puede imponer penas privativas de la libertad y b) sus decisiones son recurribles ante la justicia.
El Contralor y Subcontralor serán electos por un período de cinco años y no podrán ser reelectos para el período subsiguiente. Art. 154 (Constitución de la República del Ecuador, 2008)	

Fuente: Elaboración propia, tomada de la Constitución del Ecuador y las Leyes Orgánicas de Argentina.

En el cuadro anterior podemos ver la estructura del control interno y externo de los dos países, Ecuador por ser un país pequeño, canaliza sus acciones de control del sector público con una sola institución, la Contraloría General del Estado. Argentina posee una mayor estructura en el control interno y externo como se muestra en el cuadro 3. En los Municipios el Contador Municipal es el responsable del control interno y del Control Externo el Tribunal de Cuentas y Consejos Deliberantes.

Integrar cada uno de los procesos objeto de revisión en entidades públicas o privadas permite establecer responsabilidades en cada uno de los niveles de las entidades.

“El control sobre el cumplimiento de las normas y los programas de las reparticiones corresponde, en primer lugar, a los titulares de esos ministerios y organismos descentralizados, pero también a otras oficinas de control que tienen autonomía y son, o deberían ser, independientes de los cuerpos que deben monitorear”. (Clarín, 2007).

La auditoría del sector público ayuda a crear condiciones adecuadas y refuerza la expectativa de que las entidades del sector y los servidores públicos desempeñarán sus funciones de manera efectiva, eficiente, ética y de conformidad con las leyes y regulaciones aplicables.

En general, la auditoría del sector público se puede describir como un proceso sistemático de obtención objetiva y evaluación de evidencia para determinar si la información o las condiciones reales se ajustan a los criterios establecidos (Amershi, 1986)

La auditoría del sector público es esencial ya que proporciona a los órganos legislativos y de supervisión, a los encargados del gobierno y al público en general información y evaluaciones independientes y objetivas sobre la administración y el desempeño de las políticas, programas u operaciones del gobierno. (ISSAI, 2017)

3 RESULTADOS

Se realizó un análisis comparativo entre Ecuador y Argentina, delimitando la provincia de Buenos aires, enfocando el Control en los Municipios, resumida en el siguiente cuadro:

Control Público	Ecuador	Argentina
Constitución	<p>Constitución de la Republica del Ecuador Art. 204.- El pueblo es el mandante y primer fiscalizador del poder público, en ejercicio de su derecho a la participación.</p> <p>El Consejo de Participación Ciudadana y Control Social, la Defensoría del Pueblo, la Contraloría General del Estado y las superintendencias, de acuerdo al Art. 205.- Los representantes de las entidades forman parte de la Función de Transparencia y Control Social ejercerán sus funciones durante un período de cinco años, tendrán fuero de Corte Nacional y estarán sujetos al enjuiciamiento político de la Asamblea Nacional. (Constitución de la República del Ecuador, 2008)</p>	<p>Constitución Nacional República Argentina Art. 5.- Cada provincia dictará para si una Constitución bajo el sistema representativo republicano, de acuerdo con los principios, declaraciones y garantías de la Constitución Nacional. Asegurando la autonomía municipal y reglando su alcance y contenido en el orden institucional, político, administrativo, económico y financiero.</p> <p>Constitución de la Provincia de Buenos Aires Art. 190 – La administración estará a cargo de una municipalidad, compuesta de un departamento ejecutivo unipersonal y un departamento deliberativo, cuyos miembros, que no podrán ser menos de seis ni más de veinticuatro, durarán cuatro años en sus funciones. (Constitución de la Provincia de Buenos Aires, 1994)</p>
Organismos encargados del Control	<p>Contraloría General del Estado Art. 211.- La Contraloría General del Estado es un organismo técnico encargado del control de la utilización de los recursos estatales, y la consecución de los objetivos de las instituciones. Art. 212.- Serán funciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dirigir el sistema de control administrativo que se compone de auditoría interna, auditoría externa y del control interno de las entidades del sector público y de las entidades privadas que dispongan de recursos públicos. 2. Determinar responsabilidades administrativas y civiles culposas e indicios de responsabilidad penal. 3. Expedir la normativa para el cumplimiento de sus funciones. 4. Asesorar a los órganos y entidades del Estado cuando se le solicite. (Contraloría General del Estado, 2014) 	<p>Auditoría General de la Nación El objetivo primario de la Auditoría General de la Nación es contribuir a que se adopten decisiones eficaces, económicas y eficientes en materia de gastos e ingresos públicos. (Ley 24.156, 1992): "Es materia de su competencia el control externo posterior de la gestión presupuestaria, económica, financiera, patrimonial, legal, (...)" (Ley 24.156, 1992)</p> <p>Administración financiera y el sistema de control de la administración general del estado provincial, aplicado a la Provincia de Buenos Aires Art 3.- El sistema de control estará a cargo de la Fiscalía de Estado, la Contaduría General de la Provincia y el Tribunal de Cuentas de la Provincia.</p> <p>Art.103.- La Contaduría General de la Provincia ejercerá el control interno de la gestión económico-financiera del Sector Público Provincial y de los Poderes Legislativo y Judicial.</p> <p>Art. 102 La fiscalía de Estado tiene el control de legalidad de los actos administrativos, conforme a la Constitución de la Provincia de Buenos Aires y su respectiva ley orgánica. (Administración Financiera y el Sistema de Control de la Administración General del estado Provincial, 2007)</p> <p>Ley Orgánica del Honorable Tribunal de Cuentas de la Provincia De Buenos Aires Art. 1.- El Tribunal de Cuentas es un órgano de control administrativo con funciones jurisdiccionales y posee las atribuciones que le confiere la Constitución de la Provincia y las que le otorga esta ley. Corresponde al órgano de Control Externo, derivado, tanto del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, como de los Municipios de toda la provincia. Dado que en el Régimen Municipal, el órgano de control interno es el Contador Municipal. (Ley Orgánica del Honorable Tribunal de Cuentas de la Provincia De Buenos Aires, 10869, 1992)</p>

Control Público	Ecuador	Argentina
<p>Responsables del control Interno Municipal</p>	<p>Ley Orgánica de Contraloría General del estado. Art. 12 Tiempos de control Tiempos de control.- El ejercicio del control interno se aplicará en forma previa, continua y posterior.</p> <p>La Ley no define quien es el responsable de los controles internos y de medir la eficiencia, economía y eficiencia de los municipios. (Contraloría General del Estado, 2014) Menciona que todos los servidores de las entidades son responsables del control interno. (Contraloría General del Estado, 2014)</p> <p>Es fundamentalmente la consecuencia de la actitud asumida por la alta dirección y por el resto de las servidoras y servidores, con relación a la importancia del control interno y su incidencia sobre las actividades y resultados. (Contraloría General del Estado, 2014)</p> <p>La norma define que todos los servidores de la entidad municipal son responsables del control interno, pero no establece quien es el responsable del control interno institucional.</p>	<p>Ley orgánica de las Municipalidades Art. 180.- Los cargos de contador, tesorero y jefe de compras son incompatibles con cualquier otra función municipal y recíprocamente. Art. 183.- El Intendente podrá autorizar a extender órdenes de compras y de pagos que no excedan del monto establecido. Art. 186.- El contador municipal, deberá observar las transgresiones señalando los defectos de la resolución que ordene el gasto, pero si el Departamento Ejecutivo insistiera en ella por escrito, le dará cumplimiento quedando exento de responsabilidad. (Reforma de la Administración Financiera en el Ambito Municipal, decreto 2980., 2000)</p> <p>Reforma Administración Financiera en el Ámbito Municipal Art. 39.- El Contador General será personal y funcionalmente responsable por la exactitud y claridad de los estados contables que elabore la Contaduría General del Municipio en el marco de lo dispuesto por la Ley Orgánica de las Municipalidades y las presentes disposiciones. (Reforma de la Administración Financiera en el Ámbito Municipal, 2000)</p> <p>El cargo de Contador Municipal forma parte del financiamiento del personal en el Presupuesto Municipal, en cuanto al Tribunal de Cuentas de la Provincia de Buenos Aires (control externo) tiene asignación presupuestaria en la Ley de Presupuesto anual de la Provincia de Buenos Aires.</p>
<p>Control Externo</p>	<p>Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado Art. 12.- La Contraloría General del Estado será la responsable del control posterior a través de las unidades de auditoría interna y externa, se aplicará a las actividades institucionales, con posterioridad a su ejecución. La Contraloría General del Estado, cuando así lo determinen podrá efectuar la auditoría gubernamental, mediante la contratación de compañías privadas de auditoría externa e independiente.</p>	<p>Auditoría General de la Nación Organismo de asistencia técnica del Congreso, con autonomía funcional, asiste técnicamente al Congreso de la Nación Argentina en el control del estado de las cuentas del sector público. No controla a Municipios (Ley 24.156, 1992)</p> <p>Ley Orgánica del Honorable Tribunal de Cuentas. Provincia De Buenos Aires Art. 45.- El Tribunal de cuentas de la Provincia de Buenos Aires queda facultado para actuar como Auditor Externo de Organismos Financieros Nacionales o Internacionales en las operaciones de crédito que los mismos realicen en jurisdicción territorial de la Provincia. Controla Municipios.</p>
<p>Encargados del Control Interno dentro de los Municipios</p>	<p>Normas de Control Interno de la Contraloría General del Estado Art. 6.- Componentes del Sistema. La ejecución del sistema de control, fiscalización y auditoría del Estado se realizará por medio de: 1.- El control interno, que es de responsabilidad administrativa de cada una de las instituciones del Estado a las que se refiere el artículo 2 de esta Ley; y, 2.- El control externo que comprende: a. El que compete a la Contraloría General del Estado; y, b. El que ejerzan otras instituciones de control del Estado en el ámbito de sus competencias. (Contraloría General del Estado, 2014)</p> <p>El cargo de auditor interno formó parte del presupuesto anual hasta el año 2018 de la Contraloría General del Estado.</p>	<p>Reforma Administración Financiera en el Ámbito Municipal Art. 39.- El Contador General será personal y funcionalmente responsable por la exactitud y claridad de los estados contables que elabore la Contaduría General del Municipio en el marco de lo dispuesto por la Ley Orgánica de las Municipalidades y las presentes disposiciones. (Reforma de la Administración Financiera en el Ámbito Municipal, 2000)</p> <p>El cargo de Contador Municipal forma parte del financiamiento del personal en el Presupuesto Municipal, en cuanto al Tribunal de Cuentas de la Provincia de Buenos Aires (control externo) tiene asignación presupuestaria en la Ley de Presupuesto anual de la Provincia de Buenos Aires.</p>

Control Público	Ecuador	Argentina
<p>Situación de servidores a cargo de los controles clave</p>	<p>Ley Orgánica de los Servidores Públicos Art.- 65. De libre remoción, la máxima autoridad tiene la potestad de prescindir de sus servicios. Director Financiero, contador, Director o Jefe de Compras.</p>	<p>Ley orgánica de las Municipalidades Art. 213.- El personal estable de los organismos descentralizados será designado y removido por el Departamento Ejecutivo de la Municipalidad a propuesta de la Dirección de aquéllos. El contador es el responsable del control interno en los Municipios y es un funcionario de carrera.</p>
<p>Funciones con respecto al control de Auditoría Interna</p>	<p>Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado Art. 14.- Las instituciones del Estado, contarán con una Unidad de Auditoría Interna, cuando se justifique, que dependerá técnica y administrativamente de la Contraloría General del Estado. El personal auditor, será nombrado, removido o trasladado por el Contralor General del Estado y las remuneraciones que corresponden a las máximas autoridades de las Unidades de Auditoría Interna de los Gobiernos Autónomos Descentralizados serán cubiertas por la Contraloría General del Estado.</p> <p>Evalúa el control interno efectuado (posterior) no tienen injerencia alguna en procedimientos internos.</p> <p>Art. 15.- Independencia. Los auditores de esta unidad actuarán individual o colectivamente, con criterio independiente respecto a la operación o actividad auditada y no intervendrán en la autorización o aprobación de los procesos financieros, administrativos, operativos y ambientales.</p> <p>Art. 16.- Coordinación de labores. La Contraloría General del Estado prestará su asesoría y asistencia técnica a las unidades de auditoría interna de gestión y orientará y coordinará la preparación de su Plan Anual de Trabajo, presentado a la Contraloría General del Estado hasta el 30 de septiembre de cada año.</p> <p>Art. 9.- Concepto y elementos del Control Interno. El control interno constituye un proceso aplicado por la máxima autoridad, la dirección y el personal de cada institución que proporciona seguridad razonable de que se protegen los recursos públicos y se alcanzan los objetivos institucionales.</p> <p>Constituyen elementos del control interno: el entorno de control, la organización, la idoneidad del personal; y, la corrección oportuna de las deficiencias de control. El control interno será responsabilidad de cada institución del Estado, y tendrá como finalidad primordial crear las condiciones para el ejercicio del control externo a cargo de la Contraloría General del Estado.</p>	<p>Ley Orgánica de las Municipalidades de la Provincia de Buenos Aires Art. 186.- El contador municipal no dará curso a resoluciones que ordenen gastos infringiendo disposiciones constitucionales, legales de ordenanzas o reglamentarias. Deberá observar las transgresiones señalando los defectos de la resolución que ordene el gasto, pero si el Departamento Ejecutivo insistiera en ella por escrito, le dará cumplimiento quedando exento de responsabilidad. Esta se imputará a la persona del Intendente.</p> <p>Art. 188.- El contador municipal no podrá ser separado de su cargo, sin acuerdo del Concejo Deliberante.</p> <p>Art. 187: Esta ley asegura al contador el amparo de sus derechos de funcionario en tanto actúe de conformidad con las. En caso contrario, el Tribunal de Cuentas podrá declarar personal o solidariamente responsable de los daños, perjuicios y otras consecuencias emergentes de sus actos de incumplimiento e inhabilitarlo por el tiempo que la sentencia fije. (Ley Orgánica de las Municipalidades de la Provincia de Buenos Aires, 1958)</p> <p>Art. 9.- La contaduría responsable del control interno tiene dentro de sus funciones Intervenir en la preparación del proyecto de presupuesto de gastos y cálculo de recursos.</p> <p>b) Llevar actualizada la contabilidad del movimiento de fondos, patrimonial y de presupuesto y practicar balances en tiempo oportuno para su publicación.</p> <p>c) Intervenir en todos los expedientes de crédito suplementario, ampliaciones y deducciones del presupuesto de gastos dictaminando acerca del carácter legal de tales operaciones y de las posibilidades financieras de las mismas.</p> <p>d) Intervenir previamente todo ingreso o egreso de fondos, pudiendo en el primer caso adoptar los medios técnicos necesarios para tal fin.</p> <p>e) Practicar arqueos mensuales de Tesorería, conciliar los saldos bancarios con los municipales y denunciar inmediatamente toda falla al D.E. El acta de arqueo practicado al cierre del ejercicio se transcribirá en el libro Caja a continuación del último asiento registrado en el mismo, firmando para constancia los funcionarios. (Reglamento de Contabilidad de Municipios de Buenos Aires, 2004)</p>

Control Público	Ecuador	Argentina
Máxima Autoridad	<p>Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado Art. 32.- El Contralor General del Estado es la máxima autoridad de control gubernamental y auditoría de la gestión pública. Designa al auditor interno de un municipio y remueve de ser necesario existiendo o no, una falta del servidor.</p>	<p>Reglamento de Contabilidad de Municipios de Buenos Aires Art. 6.- Las máximas autoridades de los Municipios son asesorados por el contador Municipal quien es el responsable de control interno y su cargo es incompatible con el desempeño de cualquier otra función en la Municipalidad, no puede ser separado sin acuerdo del Consejo deliberante, con petición fundamentada, pudiendo el Contador tener derecho a la defensa, pudiendo requerirse dictamen del Tribunal de Cuentas. Art. 8° - El Contador deberá observar por escrito, en el mismo documento toda orden, decreto, resolución, disposición o comunicación, cuyo cumplimiento fuese violatorio de las disposiciones legales o reglamentarias concernientes a la materia que le compete. Su observación interrumpirá el curso de aquellos, pero el Contador deberá cumplirlos y quedará exento de responsabilidad cuando el Departamento Ejecutivo formule insistencia por escrito. (Reglamento de Contabilidad de Municipios de Buenos Aires, 2004)</p>

Fuente: Elaboración propia, tomada de las Constituciones y Leyes orgánicas de Ecuador y Argentina.

Argentina mediante decreto No.72/2018, modifica el artículo 102 que dice: “que los Auditores Internos Titulares del Sector Público Nacional, tal como se encuentra definido en el artículo 8 de la citada Ley N° 24.156 –y su reglamentario del Decreto N° 1344/2007- serán designados por la SINDICATURA GENERAL DE LA NACIÓN, la cual, establece requisitos necesarios para el desempeño del cargo”. (Boletín Oficial de la República de Argentina, 2018). Esta misma Ley aprobó el perfil y responsabilidades del Auditor Interno Titular, descriptos en el Anexo I de la presente (IF-2018-23202675-APN-SIGEN), de todas las Unidades de Auditoría Interna que integran el Sector Público Nacional con el alcance establecido en el artículo 8° de la Ley N° 24.156 y su reglamentario del Decreto N° 1344/2007.

En Ecuador para el cargo de auditores internos rige la Ley Orgánica de la Contraloría General del estado donde menciona que Art. 14.- Auditoría Interna. (Reformado por el Art. 2 de la Ley s/n, R.O. 1S, 11VIII2009). Las instituciones del Estado, contarán con una Unidad de Auditoría Interna, cuando se justifique,

que dependerá técnica y administrativamente de la Contraloría General del Estado, el auditor, será nombrado, removido o trasladado por el Contralor general del Estado y las remuneraciones y gastos para el funcionamiento que corresponden a las máximas autoridades de las Unidades de Auditoría Interna de los Gobiernos Autónomos Descentralizados serán cubiertas por la Contraloría General del Estado. (Contraloría General del Estado, 2014).

Las actividades del auditor no detienen ningún acto administrativo, ya que su independencia de los procesos municipales se enfoca en realizar exámenes especiales

que la Contraloría General del Estado lo disponga por medio de una orden de trabajo y una planificación anual. Hasta octubre de 2018, los Auditores Generales, Directores de las Unidades de Auditoría Interna que se encontraban en el presupuesto de la Contraloría, cesaron en sus funciones a través de acción de personal dispuesto por el Contralor en los Municipios, basado en los artículos 31, número 23, y 35 de 'expedir y mantener actualizado el reglamento orgánico funcional, que contendrá la estructura administrativa y las funciones de las respectivas unidades para el cumplimiento de los fines y objetivos de la entidad de control'; (Contraloría General del Estado, 2014). Los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen la obligación de estructurar su sistema de Control interno basados en medición de sus funciones a través de indicadores que pueda reflejar la situación actual de las administraciones.

A pesar del ajuste presupuestario de la Contraloría no se observaron ajustes a la estructura de los Municipios del Ecuador con respecto a las Unidades de Auditorías Internas, con respecto a las funciones de auditoría interna, plasmados en las leyes, y demás orgánicos estructurales y funcionales.

4 CONCLUSIONES

- Las Constituciones de los dos países, establecen los organismos de control y sus competencias hacia los Municipios, sin embargo, en las funciones del control interno en Ecuador no se establece quien tiene la responsabilidad del mismo.
- En los Municipios de Ecuador los Auditores Internos son designados por el Contralor General del Estado, sus remuneraciones son canceladas por la Contraloría General del Estado, y su estado laboral es de libre remoción, dependiendo técnica y administrativamente del ente de control. En Argentina son los contadores funcionarios de carrera que necesitan la aprobación de un consejo deliberante para cesar de sus funciones.
- A partir de los resultados obtenidos en el estudio, es posible afirmar que, en los municipios de ambos países, las actividades y procedimientos dirigidos hacia el control interno se definen en marcos legales de aplicación obligatoria, presentados a través de normas internas, reglamentos, manuales, disposiciones, entre otros, cuya inobservancia acarrea una responsabilidad administrativas, civiles y penales.
- En Ecuador La norma define que todos los servidores de la entidad municipal son responsables del control interno, pero no establece quien es el

responsable del control interno institucional. En Argentina el Contador es el responsable de control interno, y es servidor de carrera.

- En Ecuador, el control se basa en la utilización de los recursos estatales, y la consecución de los objetivos de las instituciones. Argentina directamente mantiene un sistema de control interno normativo, financiero, económico y de gestión sobre sus propias operaciones, comprendiendo la práctica del control previo y posterior.
- El control interno y el control externo en Ecuador son realizados por una única institución, en Argentina, los controles internos y externos, además de la diferenciación de las provincias, son realizados por diferentes entidades de la estructura del control público, lo que podría ser una fortaleza para minimizar los riesgos en la administración pública, especialmente en municipios.
- Es necesario que Ecuador dé importancia a la responsabilidad del control interno con enfoque legal, ya que, es clave para el éxito de la administración municipal, la misma que genera confianza en el accionar y minimiza el riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

Administración Financiera y el Sistema de Control de la Administración General del estado Provincial. (2007). *Art.103 El Sistema de Control*. Buenos Aires.

Amershi. (20 de Abril de 1986). Discussion of "A model of standard setting in auditing. En Amin, & A. Amershi, *Discussion of "A model of standard setting in auditing* (pág. pag. 48). Canadá: Contemporary Accounting Research.

Boletín Oficial de la República de Argentina. (16 de 05 de 2018). *Argentina Presidencia*. Obtenido de Sindicatura General de la Nación: <https://www.boletinoficial.gob.ar>

Clarín. (21 de 08 de 2007). Modelo de evaluación de Control Interno en la Administración Pública Estatal. *Editorial Clarín*, págs. https://www.clarin.com/opinion/importancia-controles_0_BkAzell1CYx.html.

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Del Ecuador. (2010). *AUTONOMÍA*. QUITO.

Constitución de la Provincia de Buenos Aires. (13 de Septiembre de 1994). *REGIMEN MUNICIPAL*. Obtenido de Constitución de la Provincia de Buenos Aires: <https://www.htc.gba.gov.ar/images/legislacion/ConstitucionBsAs.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (20 de Octubre de 2008). *Constitución del Ecuador*. Obtenido de Defensoría del Pueblo: <https://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/2726>

Contraloría General del Estado. (2014). *Norma 200 Ambiente de Control*.

Contraloría General del Estado. (2014). *Ley Organica de la Contraloria General del Estado*. Ecuador.

Contraloría General del Estado. (2014). *Normas de Control Interno*. Quito.

Estudio Comparativo de las leyes de Régimen Local. (2011). Comisión de Desarrollo Municipal Senado de la República. *Parlatino*, 1-64.

Gismano, Y., Ferreira, C., Aispuro, G., Scoponi, L., & Iriarti, F. (2019). Control y transparencia en el sector público argentino. *CEA Vol 3 No2*, 12.

ISSAI. (2017). *La Auditoría en el sector público*. Colombia.

Iturburo, M. S. (2004). *MUNICIPIOS ARGENTINOS, Potestades y Restricciones constitucionales para un nuevo modeo de Gestión Local*. Buenos Aires : INAP.

Iturburu, Mónica Silvana. (2004 2° Edición). Municipios Argentinos, Potestades y Restricciones Constitucionales. *INSTITUTO NACIONAL DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA, Dirección Nacional de Estudios y Documentación, Dirección de Estudios e Investigaciones*, 155. Obtenido de http://municipios.unq.edu.ar/modules/mislibros/archivos/municipios_argentinos.pdf

Ley 24.156. (1992). *Administración financiera y de los sistemas de control del sector público nacional*. Buenos Aires.

Ley de Administración Financiera y de los Sistemas de Control del Sector Público Nacional. (Ley 24.156 B.O. 29/10/1992.).

Ley Orgánica de las Municipalidades de la Provincia de Buenos Aires. (1958). *Decreto 6769*. Buenos Aires.

Ley Orgánica del Honorable Tribunal de Cuentas de la Provincia De Buenos Aires, 10869. (1992). *Tribunal de Cuentas*. Buenos Aires.

Ley Orgánica del Tribunal de Cuentas de la Provincia de Buenos Aires. (1990). *Artículo 1.- Tribunal de Cuentas* . Buenos Aires.

Oszlak, O. (2013). *Gobierno Abierto hacia un nuevo paradigma*. Red de Gobierno electrónico America Latina y el Caribe RED GEALC.

Ragazzini, P. (2017). *El Sistema de Control Público de la Comuna de Alcorta*. Rosario.

Reforma de la Administración Financiera en el Ámbito Municipal. (2000). *Artículo 39*. Buenos Aires.

Reforma de la Administración Financiera en el Ambito Municipal, decreto 2980. (2000). *Capítulo III*. Buenos Aires.

Reglamento de Contabilidad de Municipios de Buenos Aires. (2004). *La Contaduría*. Buenos Aires.

The Dialogue. (7 de julio de 2016). Obtenido de Cinco reflexiones sobre las reformas políticas en América Latina: <https://www.thedialogue.org/blogs/2016/07/cinco-reflexiones-sobre-las-reformas-politicas-en-america-latina/?lang=es>

CAPÍTULO 7

EL USO DE LA BIOMASA DEL HONGO *Aspergillus niger* PARA LA ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS CONTAMINADAS

Data de submissão: 24/09/2021

Data de aceite: 12/10/2021

Ismael Acosta Rodríguez

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

Nancy Pacheco Castillo

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P. México. C.P. 78320

Adriana Rodríguez Pérez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Unidad Académica Multidisciplinaria
Zona Media
Carretera Río Verde san Ciró Km 4.5
Colonia Puente del Carmen, C.P. 79617
Río Verde, San Luis Potosí, México

Juan Fernando Cárdenas González

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Unidad Académica Multidisciplinaria
Zona Media
Carretera Río Verde san Ciró Km 4.5
Colonia Puente del Carmen, C.P. 79617
Río Verde, 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

Francisco Navarro Castillo

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P. México. C.P. 78320

Erika Enríquez Domínguez

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P. México. C.P. 78320

Juana Tovar Oviedo

Laboratorio de Microbiología
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P. México. C.P. 78320

RESUMEN: Se analizó la capacidad de remoción de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II) en solución acuosa por la biomasa del hongo *Aspergillus flavus*. Se

evaluó la bioadsorción a diferentes valores de pH (3.0-8.0) a diferentes tiempos. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C-45°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de los metales pesados en un rango de 100 a 1000 mg/L. La mayor bioadsorción (100 mg/L del metal y 1 g de biomasa) fue a las 24 h y 165 minutos [únicamente para zinc (II)], en un rango de pH de 4.0-5.5 y 28°C. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción fue a los 28°C, a las 24 h, para zinc (II), mercurio (II) y plomo (II), respectivamente, y para cobalto (II) fue a 37°C y 45°C, y a mayores concentraciones de biomasa, la remoción fue más eficiente, por lo que esta biomasa, se puede utilizar para eliminar metales pesados de aguas residuales.

PALABRAS CLAVE: *Aspergillus niger*. Biomasa. Metales pesados. Remoción.

THE USE OF THE BIOMASS OF THE FUNGUS *Aspergillus niger* FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS FROM POLLUTED WATERS

ABSTRACT: Lead (II), mercury (II), cobalt (II) and zinc (II) removal capacity in aqueous solution by the *Aspergillus niger* fungal biomass was analyzed. Biosorption was evaluated at different pH (3.0-8.0), at different times. In addition, the effect of temperature in the range of 28°C to 45°C and removal at different initial concentrations of heavy metals from 100 to 1000 mg/L were also studied. The highest biosorption (with 100 mg/L of the metal, and 1 g of biomass) was 24 h and 165 minutes [only for zinc (II)] at pH range between 4.0-5.5, and 28°C. About temperature, the highest removal was to 28°C at 24 h, for zinc (II), mercury (II), and lead (II), respectively, while 37°C and 45°C were for cobalt (II), and at higher biomass concentrations, the removal was most efficient, so this biomass, it can be used to remove heavy metals of wastewater.

KEYWORDS: *Aspergillus niger*. Biomass. Heavy metals. Removal.

1 INTRODUCCIÓN

Los iones metálicos son muy importantes para la fisiología humana, ya que algunos son esenciales para la vida, mientras que otros, dependiendo de la dosis, pueden ser tóxicos (aunque en dosis altas todos son tóxicos), y la ingestión a largo plazo de pequeñas cantidades de algunos metales pesados produce síntomas crónicos, ya que algunos de éstos, una vez absorbidos, se eliminan parcialmente, y otros se acumulan en el cuerpo humano, depositándose en diferentes órganos, por ejemplo: plomo en los huesos y cadmio principalmente en los riñones e hígado (ALBERT, 2015). Los metales pesados que pueden tener una función toxicológica muy importante están en orden de mayor a menor toxicidad: plomo, cadmio, arsénico, mercurio, cromo, talio, níquel, zinc, hierro, cobre, cobalto, manganeso, molibdeno y bismuto (GONZÁLEZ y RAMÍREZ, 2000). Por otro lado, las posibilidades de intoxicación de los seres vivos con metales pesados, se deben principalmente a la presencia natural de éstos en la naturaleza, en los lugares donde se originan, cerca de minas o ríos, donde son ingeridos por los animales, a través

de los alimentos, y debido a la estrecha relación entre la industria y la agricultura, aumenta el riesgo de contaminación humana. Por ejemplo: a concentraciones muy bajas, el plomo, cadmio y mercurio tienen efectos nocivos. El plomo, cuando se libera al medio ambiente por emisiones industriales y vehículos motorizados, se adhiere a la superficie de las plantas, que pueden ser consumidas por humanos y animales, causando neumonía, pérdida de movilidad muscular, y en niños puede causar una disminución en el coeficiente intelectual, así como alteraciones en el comportamiento (CALDERÓN y MALDONADO, 2008), el mercurio se encuentra principalmente en los mariscos y puede causar excitabilidad, insomnio, problemas de audición, parestesias y ataxia (BELL et al., 2014), mientras que el cobalto puede causar hipotensión, derrame pericárdico, policitemia, vómitos y sordera (ABBAS et al., 2014) y el zinc vómitos, diarrea y dolor abdominal (NASIR et al., 2017).

En México, principalmente en algunos estados como Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero y Sonora), hay reportes de la presencia de metales pesados en una gran variedad de lugares que provienen de todas las fuentes de agua, áreas urbanas, minería y ecosistemas marinos. (COVARRUVIAS y PEÑA, 2017), y se ha reportado que en nuestro país, podría haber millones de toneladas de residuos mineros a nivel nacional, de los cuales aún se desconocen las condiciones y su potencial de afectación al medio ambiente (ALBERT, 2015), siendo el ejemplo más común la contaminación del suelo, que ocurre durante la extracción de metales preciosos (oro y plata), comúnmente hecha por amalgamación con mercurio y cianuración, debido a que nunca hay una recuperación total de los compuestos o elementos agregados, por lo que es común encontrarlos en los residuos del proceso (lodos mineros) en forma soluble (ALBERT, 2015; COVARRUVIAS y PEÑA, 2017), de modo que los lodos mineros contienen una gran cantidad de metales residuales que se derivan de un proceso de extracción que no es 100% eficiente. Y debido a esto, se exceden los límites máximos permisibles de estos metales para suelos y aguas en México, establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT 2007) y NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT 2003) respectivamente, a pesar de la legislación vigente sobre eliminación y gestión de residuos.

Por otra parte, en la literatura, hay reportes de la magnitud real del problema, así como para tratar de establecer estrategias para la solución del problema, principalmente con el uso de microorganismos como biosorbentes de diferentes contaminantes (FERNANDEZ et. al., 2018). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la remoción de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II) en solución acuosa por una cepa de *Aspergillus niger*, resistente a algunos metales pesados.

2 METODOLOGÍA

2.1 BIOADSORBENTE UTILIZADO Y OBTENCIÓN DE LA BIOMASA FUNGICA

La cepa de *A. niger* utilizada en este trabajo, fue aislada de muestras ambientales de una zona alejada a la Facultad de Ciencias Químicas, de la UASLP (San Luis Potosí, S.L.P., México) (SANTOS et. al., 2017), y se creció en medio mínimo de Lee (MML) (0.25% KH_2PO_4 , 0.20% MgSO_4 , 0.50% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.50% NaCl , 0.25% glucosa y 2% agar), suplementado con 500 mg/L de K_2CrO_4 . El pH del medio se ajustó a 5.3 con regulador de citratos (100 mMol/L). Las cajas de Petri se incubaron a 28°C durante 7 días. Para la obtención de la biomasa, el hongo se creció a 28°C en medio de caldo tioglicolato (8 g/L p/v), con agitación constante (100 rpm). Después de 7 días de incubación, la biomasa se recuperó por filtración, y se lavó 3 veces con agua tridesionizada, y se secó en una estufa bacteriológica (80°C, 24 h).

2.2 ESTUDIOS DE REMOCIÓN DE LOS DIFERENTES METALES PESADOS

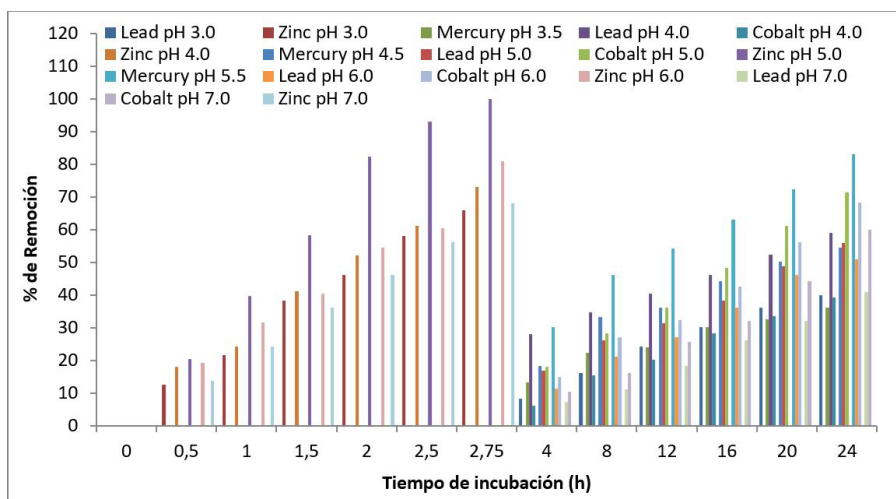
A partir de una solución patrón de cada metal (1 g/L), se prepararon soluciones de trabajo de plomo (II), mercurio (II), cobalto (II) y zinc (II), con un rango de concentración de 100-1000 mg/L, ajustando el pH de las soluciones con H_2SO_4 1 M. La bioadsorción de los metales pesados por la biomasa fúngica, se determinó a diferentes concentraciones a un volumen de 100 mL de solución con 1 g de biomasa fungica a 28°C y 100 rpm. Posteriormente, se filtro la muestra para eliminar residuos de la biomasa, y en el filtrado se analizó la concentración de metales pesados a diferentes tiempos de incubación. Para la determinación del efecto del pH y temperatura, se utilizaron diferentes soluciones (pH 3-8), temperaturas (28, 37 y 45°C), concentraciones de metales pesados (100-1000 mg/L) y biomasa fungica (1-5 g/100 mL). La concentración de plomo (II) y zinc (II), se determinó por el método de la Ditzona (GREENBERG et. al., 2002), mercurio (II) por Espectrofotometría de Absorción Atómica por generación de hidruros (SSA, 1994), y cobalto (II) por el método de la metilisobutilcetona ((CHARLOT, 1964).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra el efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de 100 mg/L de zinc (II), plomo (II), mercurio (II) y cobalto (II) por la biomasa del hongo *A. niger*, observándose que la mayor bioadsorción ocurre a las 24 h de incubación, a un pH de 4.0 para plomo (II), de 5.0 para cobalto (II) y zinc (II), y de 5.5 para mercurio (II). Al respecto, se ha reportado un tiempo de dos semanas y un pH 7.0, para *Macrophomina phaseolina* y *Rizophus stolonifer* para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y zinc del

suelo (FAWAZY et al., 2017), 10 días para la eliminación de plomo, cadmio y cromo, en cultivo líquido con *Pleurotus ostreatus* HAAS (YANG 2017), 48 horas para la eliminación de aluminio y níquel en medio líquido con *Rhodotorula mucilaginosa* y *Escherichia coli* (GRUJIC, 2017), la eliminación de cadmio (2.11%), zinc (II) (4.99%) y níquel (II) (29.25%) por células planctónicas de *R. mucilaginosa* después de 48 horas de incubación (GRUJIC et al., 2018), 30 minutos y un pH de 5.0 para la eliminación de plomo en medio líquido con *Alcaligenes* sp. BAPb.1 (JIN, 2017), 5 horas y un pH de 5.0 para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y níquel, con *A. niger* (KAPOOR et al., 1999), cuatro días para la eliminación del 97.5% de cobre, 88.2% de cadmio, 26% de plomo y 14.5% de zinc en residuos secos del suelo con *A. niger* durante el proceso de biolixiviación (YANG et al., 2009), 30 minutos y un pH 5.5, para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (TSEKOVA et al., 2010), 120 minutos y pH 2.0, para la eliminación del 90% de cromo (VI) por la biomasa de *A. niger* pretratada con NaOH. Además, la absorción de metales pesados por la biomasa de *A. niger* viva aumenta con el aumento del pH en el rango 3-4 para cadmio (II) y pH 3-6 para zinc (II) a las 6 horas (LIU et al., 2006). La biosorción de metales pesados por hongos ocurre como resultado de la interacción iónica y la formación compleja entre iones metálicos y el grupo funcional presente en la superficie de la célula fúngica (KAPOOR et al., 1999). Estos grupos funcionales que pueden estar involucrados en la biosorción de metales pesados incluyen grupos fosfato, carboxilo, amino y amido (AKHTAR et al., 1996).

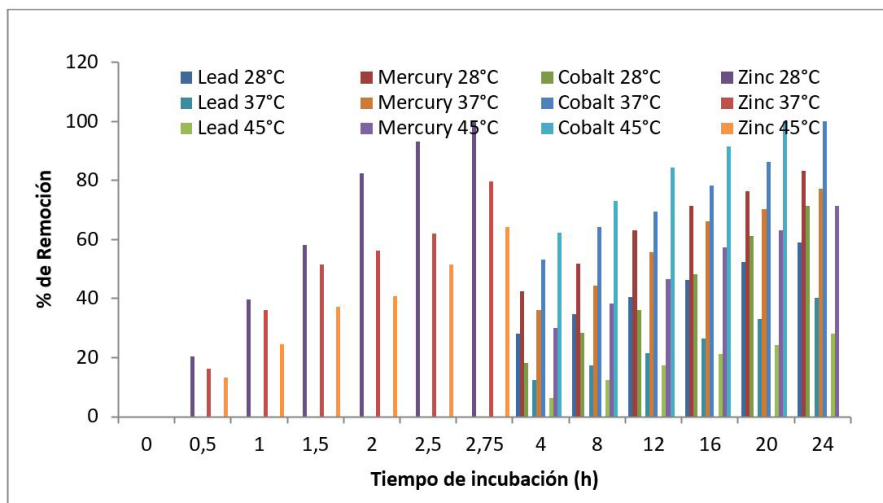
Figura 1.- Efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 mg/L of metales pesados, 100 rpm, 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.



En la Figura 2 se observa el efecto de la temperatura sobre la remoción de los metales pesados, encontrando que la mayor capacidad de remoción se observó a los 28°C,

con porcentajes de remoción de 100%, 83% y 59%, para zinc (II), mercurio (II) y plomo, respectivamente, y con respecto al cobalto se observó un 100% de remoción a 37°C y 45°C. Estos resultados son similares a los reportados con *M. phaseolina* y *R. stolonifer* para la eliminación de plomo, cadmio, cobre y zinc del suelo a temperatura ambiente (FAWZY et al., 2017), 30°C para la eliminación de cobre, cadmio, plomo y zinc en residuos de suelo seco con *A. niger* durante el proceso de biolixiviación (YANG et al., 2009), 25°C para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (TSEKOVA et al., 2010), 30°C para la lixiviación de metales de un catalizador utilizado por *Alternaria alternata* (ROJAS et al., 2017), 28°C para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa fúngica modificada de *A. niger* (SANTOS et al., 2017) y 28°C para la bioremoción de arsénico (V) de soluciones acuosas por biomasa modificada químicamente de los hongos: *Aspergillus flavus* III, IV y V, *Aspergillus fumigatus* I – II, *Paecilomyces* sp., *Cladosporium* sp. y *Mucor* sp-1 y 2 (CÁRDENAS et al., 2017). La temperatura del medio de adsorción podría ser importante para los mecanismos dependientes de la energía en la biosorción de metales por microorganismos. Los mecanismos independientes de la energía tienen menos probabilidades de verse afectados por la temperatura, ya que el proceso responsable de la biosorción es en gran parte de naturaleza fisicoquímica (POKHEL y VIRARAGHAVAN, 2006).

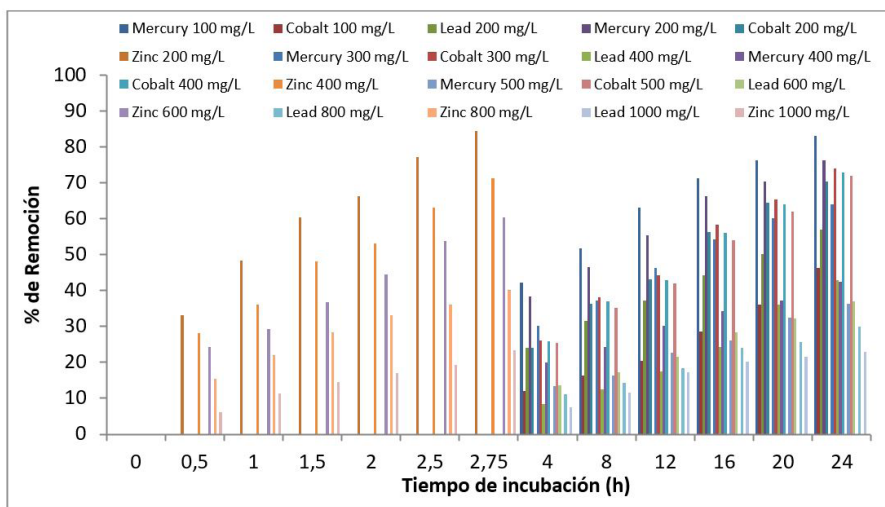
Figura 2.- Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 mg/L of metales pesados, 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), pH 5.5 para mercurio (II) y 1.0 g de biomasa fúngica.



Además, la concentración inicial de los metales pesados influye en su remoción, pues a bajas concentraciones la remoción es más eficiente observando que a los 165

minutos y 24 h con 200 ppm del metal, los porcentajes de remoción son de 84.5%, 76.3%, 70.4%, y 57.0%, para zinc (II), mercurio (II), cobalto (II), y plomo (II), respectivamente (Figure 3), y el porcentaje de remoción disminuye cuando se aumentan las concentraciones de los metales analizados. Al respecto, se ha reportado que la eliminación óptima de arsénico (V) y arsénico (III) de las aguas residuales por la biomasa de *A. niger* recubierta con óxido de hierro se puede lograr con una concentración más baja de arsénico en solución (POKHEL y VIRARAGHAVAN, 2006), para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa fúngica modificada de *A. niger* (SANTOS et al., 2017), con *R. mucilaginosa* para la eliminación de cobre (GRUJIC et al., 2017), la eliminación de cromo (VI) por *A. niger* aislado del aire contaminado cerca de la Facultad de Ciencias Químicas, UASLP (San Luis Potosí, México) (ACOSTA et al., 2017), y cepas de *Yarrowia* aisladas de sedimentos de agua de estuarios contaminada con mercurio (SALVADORI et al., 2014). Por otro lado, la cantidad adsorbida de iones de cadmio (II) y zinc (II) aumenta al aumentar las concentraciones iniciales de iones metálicos en el rango de 25-250 mg/L, para la biosorción de metales pesados por *A. niger* in vivo (LIU et al., 2006), que puede deberse a la sorción a bajas concentraciones, pero a concentraciones más altas, posiblemente cuando las posiciones positivas estaban saturadas, se produce precipitación (que es un proceso más lento) (LEYVA, 2010).

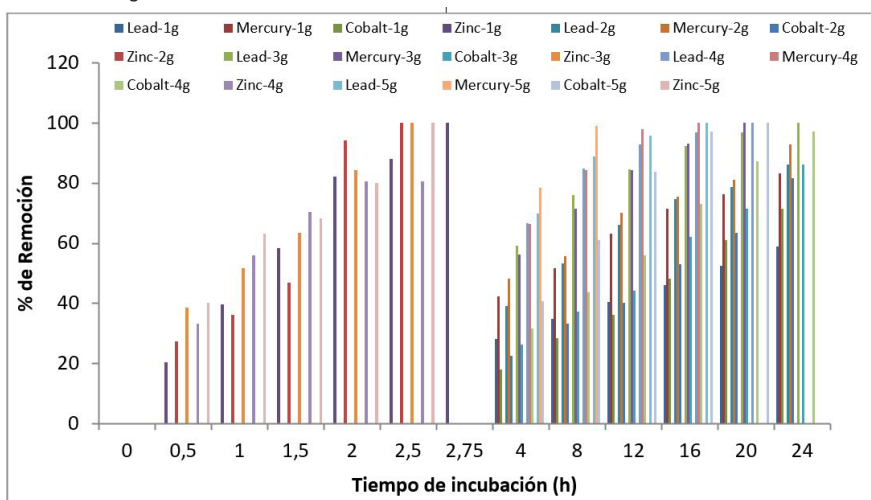
Figura 3.- Efecto de la concentración inicial de los metales sobre la remoción de los mismos por *A. niger*. 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), y pH 5.5 para mercurio (II), 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.



Por otro lado, 1 g de biomasa fúngica remueve 100%, 83.2%, 71.4% y 59%, de zinc (II), mercurio (II), cobalto (II), y plomo (II), a los 165 minutos y 24 h de incubación, respectivamente, mientras que con 5 g de biomasa el tiempo de remoción es menor para los cuatro metales analizados (Figure 4). Estas observaciones pueden explicarse porque

la cantidad de bioadsorbente agregado determina la cantidad de sitios disponibles para la biosorción de los iones o cualquier contaminante metálico (KRATOCHVIL y VOLESKY, 1998). Se han reportado resultados similares para la eliminación de plomo en medio líquido con *Alcaligenes* sp. BAPb.1, en el cual el porcentaje de biosorción aumentó rápidamente de 28 a 90% con una concentración de biosorbente que aumentó de 0.5 a 2.0 g/L (JIN et al., 2017), para la eliminación de cromo (VI) por *A. niger* aislado del aire contaminado (ACOSTA et al., 2017), para la eliminación de cobre (II) y cadmio (II) en sistemas discontinuos por células inmovilizadas de *A. niger* (TSEKOVA et al., 2010). Como tendencia general, se observó un aumento del porcentaje de eliminación al aumentar la concentración del adsorbente de 0.1 a 0.3 g/L (TSEKOVA et al., 2010), para la biosorción de arsénico (III) en solución acuosa en 1, 2, 3, 4 y 5 g de biomasa fúngica modificada de *A. niger* (SANTOS et al., 2017), en la biosorción de cobalto (II) de soluciones acuosas con paja de arroz, cuando la dosis de adsorbente varió de 0.1 a 1.0 g (SWELAM et al., 2017), con hidrogeles de quitosano puro y modificado de la cáscara de camarón en la adsorción de cobre en solución ácida con concentraciones crecientes de biosorbente (1, 2, 3, 4, 4.5 y 5 g) (SÁNCHEZ et al., 2017). Sin embargo, la capacidad de absorción de cromo (VI) por biomásas fúngicas pretratadas con NaOH disminuye con el aumento de la concentración de biomasa (KUMAR 2008). También, el porcentaje de eliminación de zinc de la levadura *Pichia kudriavzevii* A16, no mejoró significativamente cuando la concentración inicial de biomasa se elevó de 0.05 a 1 g/L (LI et al., 2016), y para *S. cerevisiae* (BCRC23331), cuya capacidad de biosorción de níquel (II) disminuye con el aumento de la dosis de adsorbente (NGUYEN y RUEY-SHIN, 2015).

Figura 4.- Efecto de la concentración inicial de la biomasa fungica sobre la remoción de diferentes metales pesados por *A. niger*. 100 rpm, pH 4.0 para plomo (II), pH 5.0 para zinc (II) y cobalto (II), y pH 5.5 para mercurio (II), 28°C y 1.0 g de biomasa fúngica.



4 CONCLUSIONES

La biomasa analizada mostró una gran capacidad de biosorción de 100 mg/L de zinc (II), plomo (II), mercurio (II) y cobalto (II) en solución a las 24 h de incubación, a 28°C, 100 rpm con 1 g de biomasa. Estos resultados sugieren su potencial aplicabilidad para la remediación de algunos metales pesados de agua y suelos contaminados. Además, en el proceso de eliminación de estos metales, es necesario trabajar para determinar la distribución y diversidad de las comunidades microbianas en presencia de éstos con el fin de emplearlos para la biorremediación de estos contaminantes tóxicos, solos o en combinación para una mayor eficiencia. Además, algunos hongos biosorbentes de metales pesados también eliminan otros metales como el cromo (VI) y arsénico (III y V) (ACOSTA-RODRÍGUEZ et. al., 2017; Santos et. al., 2017), lo que confirma la capacidad de esta biomasa para ser utilizada en la biorremediación de metales pesados.

REFERENCIAS

ABBAS, S.H.; ISMAIL, I.M.; Mostafa, T.M.; SULAYMON, A.H. Biosorption of heavy metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*. 3(4): 74-102. 2014.

ACOSTA-RODRÍGUEZ, I.; CÁRDENAS-GONZÁLEZ, J.F.; MOCTEZUMA ZÁRATE, M.G.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, A.; Martínez-Juárez. V.M. Hexavalent Chromium (VI) Removal by *Aspergillus niger*. In: "Metal-microbe interactions and bioremediation: Principles and applications for toxic metals". Editor: Surajis Das. CRS Press Book. Taylor Francis. Chapter 42, pp. 673-688. ISBN: 9781498762434 (ebook). 2017.

ALBERT, L. Gestión de los productos químicos. En: México Tóxico. Lilia A. Albert y Marisa Jacott, eds. 1ª. Ed. XXI Siglo veintiuno editores. México. Cap. 1. pp. 21-37. 2015.

AKTHAR, M.N.; SASTRY, K.S.; MOHAN, P.M. Mechanism of metal ion biosorption by fungal biomass. *Biometals*. 9: 21-28. 1996.

BELL, L.; DIGANGI, J.; WEINGERG, J. Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de Minamata sobre mercurio para las ONG. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN). 23-35. 2014.

CALDERÓN SALINAS, V.; MALDONADO VEGA, M. Contaminación e intoxicación por plomo. 1ª. Ed. Cap. 2. pp. 13-17. 2008.

CÁRDENAS-GONZÁLEZ, J.F.; ACOSTA-RODRÍGUEZ, I.; TERÁN-FIGUEROA, Y.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, A.S. Bioremoval of arsenic (V) from aqueous solutions by chemically modified biomass. 3 *Biotech*. 7(226), 1-6. 2017.

CHARLOT, G. Colorimetric Determination of Elements. (trad. de 12.ª ed. francesa) Elsevier Publishing Company - Amsterdam - London - New York, pp. 449. 1964.

COVARRUBIAS, S.A.; Peña Cabriales, J.J. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33:7-21. 2017.

- FAWZY, E.M.; ABDEL-MOTAAL, F.F.; SOAD A.; EL-ZAYAT, S.A. Biosorption of Heavy Metals onto Different Eco-Friendly Substrates. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. 8(3): 1-7. 2017.
- FERNÁNDEZ, P.M.; VINARTA, S. C.; BERNAL, A.R.; CRUZ, E.L.; FIGUEROA, L.I.C. Bioremediation strategies for chromium removal: Current research, scale-up approach and future perspectives. *Chemosphere*, 208: 139-148. 2018.
- GONZÁLEZ AGUILAR, D.; RAMÍREZ ÁLVAREZ, A. Metales Tóxicos. En: *Genética, ambiente y Salud*. Carlos Álvarez Moya, ed. 2ª. Ed. Universidad de Guadalajara, México. Cap. 8, pp.151-159. 2001.
- GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; Eaton, A.D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC, pp. 3.58–3.60, 3-83, 3-119, 1-49. 1992.
- GRUJIC, S.; VASIC, S.; RADOVEVIC, I.; COMIC, L.; OSTOJIC, A. Comparison of the *Rhodotorula mucilaginosa* biofilm and planktonic culture on heavy metal susceptibility and removal potential. *Water Air Soil Pollution*. 228(73): 1-8. 2017.
- GRUJIC, S.M.; RADOJEVIC, I.D.; SAVA, M.; VASIC, S.M.; ČOMIC, L.R. ALEKSANDER, M.; OSTOJIX, A.M. Heavy metal tolerance and removal efficiency of the *Rhodotorula mucilaginosa* and *Saccharomyces boulardii* planktonic cells and biofilms. *Kragujevac Journal of Sciences*. 40: 217-226. 2018.
- JIN, Y.; YU, S.; TENG, CH.; SONG, T.; DONG, L.; LIANG, J.; BAI, X.; XU, X.; QU, J. Biosorption characteristic of *Alcaligenes* sp. BAPb.1 for removal of lead (II) from aqueous solution. *3 Biotech*. 7(123): 1-12. 2017.
- KAPOOR, A.; VIRARAGHAVAN, T.; CULLIMORE, D.R. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*. 70: 95-104. 1999.
- KRATOCHVIL, D.; VOLESKY, B. Advances in the biosorption of heavy metals. *Review Tibtech*: 16: 291-300. 1988.
- KUMRA, R.; BISHNOI, N.; GARIMA, R.; BISHNOI, K. Biosorption of Chromium (VI) From Aqueous Solution and Electroplating Wastewater Using Fungal Biomass. *Chemical Engineering Journal*. 135: 202-208. 2008.
- LEYVA-RAMOS, R. Fundamentos de adsorción en sistemas líquido-sólido. Situación del arsénico en la Región Ibérica e Iberoamericana. Posibles acciones articuladas e integradas para el abatimiento del arsénico en zonas aisladas. CYTED, Argentina. Chapter 3, pp. 43. 2010.
- LI, X.; ZHANGA, D.; SHENG, F.; QUINGA, H. Adsorption characteristics of Copper (II), Zinc (II) and Mercury (II) by four kinds of immobilized fungi residues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147: 357-366. 2018.
- LIU, Y.G.; FAN, T.; ZENG, G.M.; LI, X.; TONG, Q.; YE, F.; ZHOU, M.; XU, W.H.; HUNG, Y.E. Removal of Cadmium and Zinc Ions from Aqueous Solution by Living *Aspergillus niger*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 16:681-686. 2006.
- NASIR, M.; ANSARI, T.M.; YASIN, G.; SHOAIB, M., MUDASSIR, M.A.; KHAN, A.A. Bioaccumulation of zinc in *Rana tigrina* in different aquatic habitats. *African Journal of Biotechnology*. 16 (17): 921-927. 2017.
- NGUYEN, M.L.; RUEY-SHIN, J. Modification of cross linked chitosan beads with histidine and *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced Ni(II) biosorption. *Journal Taiwan Institute of Chemical Engineering*. 56: 96-102. 2015.

POKHEL, D.; VIRARAGHAVAN, T. Arsenic removal from an aqueous solution by a modified fungal biomass. *Water Research*. 40: 549-552. 2006.

ROJAS-AVELIZAPA, N.G.; OTAMENDI-VALDEZ, J.; GÓMEZ-RAMÍREZ, M. Metal leaching from a spent catalyst by *Alternaria alternata*. *Mexican Journal of Biotechnology*. 2(2): 221-231. 2017.

SALVADORI, M.R.; OLLER DO NASCIMENTO, R.A.; BENEDITO, C.A.; Correa, B. Intracellular biosynthesis and removal of copper nanoparticles by dead biomass of yeast isolated from the wastewater of a mine in the Brazilian Amazonia. *PLOS ONE*: 9: 1-9. 2014.

SÁNCHEZ-DUARTE, R.G.; MARTÍNEZ-MACÍAS, M.R.; CORREA-MURRIETA, M.A.; SALDIVAR-CABRALES, J., SÁNCHEZ-MACHADO, D.I.; LÓPEZ-CERVANTES, J. Síntesis de hidrogeles de quitosano a partir de cáscara de camarón para ensayos de bioadsorción de cobre. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33: 93-98. 2017.

SANTOS DOMÍNGUEZ, E.E.; CÁRDENAS J.F.; TORRE, M.E., MARTÍNEZ, V.M.; RODRÍGUEZ, A.; ACOSTA, I. Bioadsorción de Arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus niger*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 8(2). 1-10. 2017.

SEMARNAT. NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-001-SEMARNAT 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 23 abril 2003.

SEMARNAT. NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM- 147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 2 de marzo de 2007.

SWELAM, A.A.; AWAAD, M.B.; SALEM, A.M.A.; EI-FEKY, A.S. Biosorption of Cobalt(II) Ions from Aqueous Solution using Rice Straw and its Modification. *Journal of Science Engineering Research*. 4(1): 121-129. 2017.

TSEKOVA, K.; TODOROVA, D.; GANEVA, S. Removal of heavy metals from industrial wastewater by free and immobilized cells of *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 64: 447-451. 2010.

YANG, S.; SUN, X.; SHEN, Y.; CHANG, CH.; GUO, E.; LA, G.; ZHAO, Y.; LI, X. Tolerance and removal mechanisms of heavy metals by the fungus *Pleurotus ostreatus* HAAS. *Water Air Soil Pollution*. 228(130): 1-9. 2017.

CAPÍTULO 8

INFLUENCIA DE LA ENVOLVENTE CON BAJOS NIVELES DE TRANSMITANCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN CLIMAS CÁLIDOS

Data de submissão: 24/09/2021

Data de aceite: 16/10/2021

María Victoria Mercado

Instituto de Ambiente
Hábitat y Energía, INAHE-CONICET
Facultad de Ingeniería
Carrera de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Cuyo
Mendoza, Argentina
mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

Celina Filippín

CONICET, CC302
Santa Rosa, 6300
La Pampa, Argentina

Gustavo Barea

Instituto de Ambiente
Hábitat y Energía, INAHE-CONICET

RESUMEN: Las acciones o estrategias bioclimáticas y sustentables en el diseño de edificios se ha transformado en una necesidad urgente para bajar los niveles de consumo energético del sector. La envolvente de los edificios es la interfaz entre el ambiente interior y el exterior que afectan la ganancia y pérdida de calor interior alterando de manera directa el requerimiento de energía para calefaccionar o enfriar los espacios. La

aislación térmica de la envolvente juega un papel predominante en el descenso de los valores de transmitancia para evitar pérdidas o ganancias. El objetivo principal de este trabajo es analizar la incidencia de la aislación térmica en muros y techos en la respuesta energética de viviendas unifamiliares de diferentes formas y materialidades en el período de enfriamiento para cuatro zonas bioambientales de la República Argentina. Se ha trabajado con la metodología de simulación paramétrica por medio de J-eplus, que permitió alcanzar la combinación de diferentes variables como: cuatro niveles de U para muros y techos, cuatro relaciones de relación muro opaco y vidrio (WWR), dos sistemas constructivos y tres tipologías formales diferentes; alcanzando un número de 3456 simulaciones. Los resultados muestran que en climas muy cálidos, cálidos y templados cálidos el consumo energético disminuye para valores de U más altos en muros, mientras que la incidencia de valores menores de U en techos refleja un consumo menor.

PALABRAS CLAVES: Aislación térmica. Consumo energético. Climas cálidos.

THERMAL INSULATION'S INFLUENCE IN THE ENERGY CONSUMPTION OF HOUSING IN THE SUMMER

ABSTRACT: Bioclimatic and sustainable actions or strategies in building design have become an urgent need to lower energy consumption levels in the sector. The envelopment of buildings is the interface

between the indoor and outdoor environment, energy and heat loss. Thermal insulation of the envelope plays a predominant role in lowering transmission values to prevent gains or gains. The main objective of this work is to analyze the incidence of thermal insulation in walls and ceilings in the energy response of single-family homes of different shapes and materiality in the cooling period for four bioenvironmental areas of the Argentine Republic. We have worked with the parametric simulation methodology through J-eplus, which has improved the combination of different variables such as: four levels of U for walls and ceilings, four WWR relationships, two construction systems and three different formal typologies; reaching a number of 3456 simulations. The results show that in very hot, warm and temperate climates, the highest consumption levels in walls, while the incidence of the values of minors in the future. Therefore, it is concluded that in single-family homes, to achieve low energy consumption for cooling, the media, the media, the media, the media, the media. Protect overheating by very isolated packages.

KEYWORDS: Thermal insulation. Energy consumption. Warm climates.

1 INTRODUCCIÓN

Las diversas variables de diseño arquitectónico ambientalmente consciente como la forma, la orientación, la relación de envolvente opaca y envolvente transparente, los sistemas de climatización natural, la conservación de energía (por nombrar algunas), son una prioridad clave en la toma de decisiones para el logro de edificios energéticamente eficientes (Gratia y De Herde, 2003; Stevanovic, 2013, Negendhal y Nielsen, 2015, Mercado y Barea, 2018). La creciente demanda energética contrastada a la restricción energética, sea por costo o demanda, es una emergencia que se ha visto reflejada en numerosas directivas e incentivos para el logro de edificios con requerimientos energéticos mínimos.

De las variables mencionadas, la envolvente tiene un gran impacto en la calefacción y refrigeración de los espacios y en la conservación de energía de los edificios residenciales. (Zhaosong Fang et al, 2014; Ballarini Corrado, 2012). La envolvente de los edificios es la interfaz entre el ambiente interior y el exterior que afectan la ganancia de calor y la pérdida de calor interior.

La aislación térmica efectiva en la evolvente del edificio desempeña un papel importante hacia la reducción del consumo de energía (Yu et al, 2011). Numerosos trabajos demuestran que la aplicación de aislación térmica en los elementos de la envolvente permite disminuir entre un 40% y 60% el consumo anual de energía. Algunos estudios señalan esta estrategia como la más efectiva para disminuir el consumo energético, por estar estrechamente relacionada con la influencia de la envolvente y los intercambios de calor del edificio. (Esteves y Mercado, 2005; EURIMA, 2007; Ballarini y Corrado, 2012; Aditya et all, 2017). En estos estudios es central el uso de la aislación térmica en los balances anuales, debido a que contribuyen con la reducción de energía utilizada para calentar los espacios en invierno y enfriarlos en verano. Supone además una disminución en la emisión

de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y su consecuencia directa en el aumento de la temperatura media global. (IPCC, 2017; IPCC, 2017).

Esta componente dentro de la envolvente opaca ha sido estudiada desde diversos ángulos, considerándola un ítem de influencia directa en el consumo energético del edificio y su impacto en el aspecto económico y medio ambiental. Se trata de un material o materiales compuestos que poseen características de alta resistencia térmica con capacidad de disminuir la transferencia de calor. Aditya et al (2017), han analizado y clasificado los materiales desde la perspectiva energética y de ciclo de vida separándolos en cuatro grupos: convencionales, innovadores, reciclados y naturales. En esta línea, en otro estudio, se destaca que el poliestireno expandido es el material de aislamiento más económico entre cinco (poliestireno expandido, el poliestireno extruido, el poliuretano espumado, la perlita y el cloruro de polivinilo espumado) debido al mayor ahorro en el ciclo de vida y al período de recuperación más bajo (Yu et al, 2009).

En cuanto a la ubicación de la componente de aislación dentro del muro, se ha comprobado que la aislación en las capas exteriores de muros funciona energéticamente mejor en construcciones pesadas o másicas con un alto valor de capacidad calorífica volumétrica, debido a las características de retraso y el factor de disipación del calor. En el mismo trabajo se muestran que la capa de aislación tiene un efecto significativo en las cargas de transmisión totales instantáneas y diarias y que debe analizarse en conjunto con el tipo de actividad del edificio (Al-Sanea y Zedan, 2011). Otros estudios se enfocan en la aislación asimétrica, aplicando la estrategia de manera selectiva y diferenciando el espesor y nivel de aislación de acuerdo a la fachada con más demandas en relación a su orientación. Esto supone un mayor nivel de eficiencia (Yu et al, 2008; D'Agostino et al, 2019; Al-Sanea y Zedan, 2011).

La literatura presenta también, una importante revisión sobre la temática del espesor óptimo advirtiendo varios enfoques: el costo y su ciclo de vida (Yildiz et al, 2008; Yu et al, 2009), la respuesta térmico-energética (Ucar et al, 2010); D'Agostino et al, 2019), el impacto ambiental (Comakli y Yüksel, 2004; Yildiz et al, 2008) y el análisis de lo que establecen diferentes normativas (Esteves y Mercado, 2005; Melo et al, 2015). De estos trabajos se advierten dos fuertes conclusiones unánimes: *a-un espesor demasiado alto de material aislante, incluso si cumple con requisitos legislativos, puede ser desventajoso con referencia a los requisitos de energía, impacto y análisis económico* y *b-mientras el costo del material de aislamiento aumenta linealmente, la disminución del costo del consumo de energía se produce a un nivel más débil a partir de cierto espesor de aislación.*

Las mayoría de las investigaciones sobre el aspecto del espesor de la aislación se han realizado utilizando criterios de la estación de invierno. D'Agostino et al (2019),

advierte que el grosor de la aislación se vuelve perjudicial para los climas cálidos por causar un requerimiento energético mayor asociado al uso de aire acondicionado en verano. Esto pone en evidencia una problemática poco estudiada: el comportamiento de aislación térmica desde el aspecto de consumo energético en época estival de climas templados, climas cálidos y climas muy cálidos. Melo et al (2014), advierten que los bajos valores de transmitancia por medio del uso de aislación térmica dificultan la disipación de calor en las épocas de verano.

A partir de lo expuesto hasta aquí, el presente trabajo plantea como objetivo principal analizar la incidencia de la aislación térmica de muros y techos en la respuesta energética de viviendas unifamiliares de diferentes formas y materialidad en el período de enfriamiento para cuatro zonas bioambientales de la República Argentina.

2 ESTADO DEL ARTE DEL PROBLEMA

Aunque el tema central de todos los estudios citados es el uso de aislamiento térmico para reducir el consumo de energía, la aplicación adecuada de este para mejorar el rendimiento energético de los edificios en verano solo se ha analizado en algunos estudios. Los trabajos realizados por Yu et al (2008) y D'Agostino et al (2019), presentan el ahorro de energía diferenciado entre época de invierno y época de verano, por lo tanto es posible advertir que el ahorro en la estación de verano disminuye entre un 40 y 50% en relación del ahorro que se obtiene para la estación de invierno. Con esta apreciación, se hace entendible el ahorro energético que se observa cuando se realizan evaluaciones con balances anuales, ya que predomina la situación invernal.

Xu et al (2007), muestran que durante las estaciones intermedias y cálidas, la aislación en la envolvente aumenta el consumo de energía. Situación que se repite en edificios con gran cantidad de cargas internas, sin embargo para edificios residenciales hay escasos estudios en la literatura. Ballarini Y Corrado (2012), exponen que la transferencia de energía a través de la envolvente representa una contribución fundamental a la demanda de energía para enfriamiento, pero la influencia de la envoltura opaca en la necesidad de refrigeración es limitada. En esta línea Melo et al (2014), advierten la misma situación y afirman que una superficie aislada restringe la disipación de la ganancia interna al ambiente exterior para los climas de Florianópolis, Curitiba y São Luís, siendo climas que se pueden relacionar como cálidos y muy cálidos considerando sus semejanzas a la división bioambiental de Argentina.

En este sentido, y para la situación de la República Argentina, no se han encontrado estudios del uso de aislación térmica en períodos estivales de climas templados, cálidos y muy cálidos y su influencia directa sobre la demanda energética para enfriamiento. Este

trabajo aborda esta temática desde la simulación paramétrica, metodología que permite evaluar numerosas variables a la vez.

3 METODOLOGÍA

El estudio se realizó con el uso del software EnergyPlus en conjunto con el software J-eplus, que otorga la posibilidad de parametrizar las simulaciones y combinar numerosos rangos de los diferentes items. El avance en programas de simulación computacional permite la evaluación simultánea de numerosas variables y la interrelación entre ellas, que anteriormente suponían trabajos extensos y difíciles de realizar. La metodología paramétrica es un método exhaustivo que otorga la posibilidad de crear pautas de diseño bioclimático considerando varias estrategias a la vez (Mercado y Barea, 2018).

Se trabajó en tres fases, 1- *Establecer los rangos de las variables de acuerdo al objetivo del trabajo*; 2- *Ejecutar las simulaciones paramétricas para cada clima considerado, lo que alcanzó a 3456 simulaciones* y 3- *Identificar la forma adecuada y específica de representar los resultados*.

3.1 TIPOLOGÍAS, VARIABLES Y RANGOS

3.1.1 Zonas bioambientales

La Norma IRAM 11603 *Clasificación bioambiental de la República Argentina*, establece seis zonas climáticas y sub-zonas. Se trabajó con las zonas: Ia - Muy cálido seco-, IIa -Cálido seco-, IIIa -Templado cálido seco- y IV -Templado frío. Para estas zonas se consideraron las siguientes ciudades: Formosa ciudad; Chamental, La Rioja; Nueve de Julio, Buenos Aires y Mendoza ciudad respectivamente. Se utilizaron los archivos climáticos Typical Meteorological Year (TMY) (Climate One Building, 2019). Los termostatos se fijaron en 20°C para calefacción y 24°C para enfriamiento.

Tabla 1. Ciudades, zonas climáticas según IRAM 11603 Y ASHRAE, Temperaturas mínima y máxima de diseño.

Ciudad	Clima según Zonificación Bioambiental Norma IRAM 11603	Equivalencia climática según Zonificación ASRAHE	TDMIN [°C]	TDMX [°C]
Formosa, Formosa	I Muy Cálido	2B Hot Dry	0,9	40
Chamental, La Rioja	II Cálido	3B Warm Dry	-3,1	41
9 de Julio, Buenos Aires	III Templado Cálido	4B Mixed Dry	-3,8	37,4
Mendoza, Mendoza	IV Templado Frío		-3,9	36,1

Fuente: elaboración propia.

El método de balance energético utilizado por Energy Plus permite contabilizar la energía consumida para un año completo de acuerdo a la necesidad de calefacción y

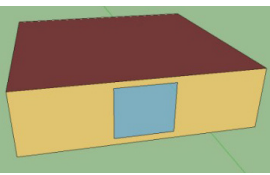
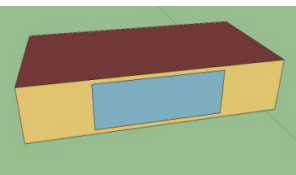
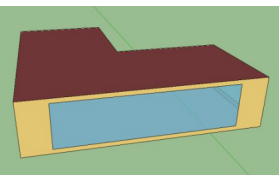
enfriamiento. Para el presente trabajo se utilizan los datos de energía que necesitaría la vivienda para mantenerse por debajo del termostato de enfriamiento.

Se presenta también, la equivalencia climática de acuerdo a la zonificación determinada por la ASRAHE con el propósito de poder extrapolar a otras localidades del mundo el presente estudio. La ASHRAE clasifica y agrupa con niveles numéricos del 1 al 8 los posibles climas genéricos del mundo. En los número del 1 al 3 se albergan los climas muy cálidos a cálidos, en el 4 los climas templados (denominados como Mixto) y del 5 al 8 los climas fríos, muy fríos y ártico (haciendo referencia a los climas de los polos Norte y Sur).

3.1.2 Definición de Tipologías y orientación.

Se consideraron tres tipologías que responden a esquemas formales diferentes cubriendo una superficie de 80m², desde una resolución compacta a una más abierta. La tipología 1, compacta, se opta por un edificio cuadrado con una relación ancho-largo de 1 a 1. Tipología 2, una composición rectangular con una relación de 1 a 2 (6.4m x 12.8m). Tipología 3, abierta, en forma de L con una relación de 1 a 1/2 (ext: 10.5m x 10.5m, int: 5.5m x 5.5m). Todas las tipologías constan de una sola zona térmica. Figura 1. Las tipologías 2 y 3 se orientaron con su lado más extenso hacia el norte.

Figura 1. Representación 3D de Tipologías, índice de compacidad (IC) y factor de forma (FAEP).

Tipología			
IC	88.6%	82.6%	75.5%
FAEP	2.17	2.25	2.37

Fuente: elaboración propia.

3.1.3 Relación envolvente opaca-envolvente transparente

El tamaño de las aberturas transparentes se representaron por medio de la relación de envolvente opaca y envolvente transparente (WWR%), se resolvió trabajar con 4 proporciones diferentes siendo, 20, 40, 60 y 80. En cuanto a la orientación se ha expuesto la fachada de mayor longitud hacia el Norte, para contemplar la ganancia solar. Todas las localidades de estudio se encuentran por debajo de la línea del Ecuador. Para este trabajo no se han considerado protecciones solares en las aberturas expuestas.

3.1.4 Transmitancias

La normativa Argentina, específicamente la Norma IRAM 11605, propone rangos de transmitancia máximos en tres niveles diferenciados para invierno y verano y por zonas bioambientales del país de acuerdo a la Norma IRAM 11603.

La primera diferenciación que se expone (invierno y verano) es útil para el cálculo de los consumos energéticos y trata de evitar la exageración de aislación para épocas no necesarias. La bibliografía presenta estudios sobre la aislación adaptativa (cambios de espesores para invierno y verano), con tecnologías innovadoras que permiten elevar o disminuir los valores de transmitancia de acuerdo a la estación del año, favoreciendo la reducción del uso de energía de los edificios y evitando efectos no deseados con la incorporación de la aislación (Favoino et al, 2017; Jin et al, 2017; Berge et al, 2015; Kimber et al, 2013). Sin embargo, en el contexto de la República Argentina y la disponibilidad tecnológica del mercado, cuando un edificio se construye considerando aislación térmica, se resuelve de forma homogénea sin la posibilidad de cambiar el U de los elementos por estación.

En cuanto a la diferenciación por zona bioclimática establece dos grupos, por un lado climas muy fríos, fríos y templado frío y por otro lado climas templados cálidos, cálidos y muy cálidos, donde la exigencia de transmitancia de la envolvente es menor. Considerando esta categorización de climas más fríos y más cálidos se tuvo en cuenta los valores de transmitancia, para los primeros los valores estipulados para invierno y en el caso del grupo de climas más cálidos los valores para verano.

Se trabaja con los tres niveles de la Norma IRAM 11605 (A, B y C) y un cuarto nivel que se va a denominar *Recomendado (R)* de acuerdo a un trabajo previo (Esteves y Mercado, 2005), diferenciandos según los dos grupos mencionados anteriormente. Por lo tanto, para los climas templados se trabajó con los valores estipulados para la estación de invierno y para los climas cálido y muy cálido se utilizaron los valores de la época estival (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de transmitancia [U] máxima para los tres niveles propuestos por Norma IRAM 11605 y valor teórico recomendado. Equivalencia de acuerdo a la clasificación climática propuesta por la ASHRAE y valores transmitancia [U] para los elementos arquitectónicos referenciados según norma ASHRAE 90.2.

Clima según Zonificación Bioambiental Norma IRAM 11603	Factor U- Muro				Factor U- Techo				Equivalencia climática según Zonificación ASRAHE	Factor U- Muro	Factor U- Techo
	A	B	C	R	A	B	C	R			
Muy Cálido I (TMD=7.7) seco	0,45	1,10	1,80	0,81	0,38	1,00	1,85	0,77	2B Hot Dry	0,94	0,17
Cálido II (TMD= 1.5) seco	0,45	1,10	1,80	0,81	0,38	1,00	1,85	0,77	3B Warm Dry	0,56	0,17
Templado Cálido III (TMD= 0.1) sec	0,38	1,00	1,85	0,78	0,32	0,83	1,00	0,64	4B Mixed Dry	0,56	0,15
Templado Frío IV (TMD= -0.3)	0,38	1,00	1,85	0,78	0,32	0,83	1,00	0,64			

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1, se puede advertir que el nivel de transmitancia para muros establecidos por la ASHRAE para climas muy cálidos es un 47.8% mayor que el nivel más estricto de la normativa Argentina. En cambio la situación de las exigencias para techos, la ASHRAE propone niveles entre 55.2% y 53.1% menor que su par Argentino.

3.1.5 Capacidad calorífica de los elementos verticales y horizontales

Se tuvieron en cuenta dos tipos de sistemas constructivos considerando que implican diferentes niveles de capacidad calorífica volumétrica, consecuentes al uso de materiales de construcción pesada o másica y liviana (Tabla 2); denominadas construcción másica y construcción liviana.

Construcción másica (se utiliza el sistema constructivo tradicional, muy utilizado en el país):

Muros: revoque exterior (0.025m) + aislación de poliestireno expandido (valor x m) + ladrillo macizo (0.17m) + revoque interior (0.025m),

Techos: losa maciza de hormigón armado (0.12m) + aislación (valor x m) + capa de compresión alivianado (0.075m) + membrana asfáltica (0.012m).

Construcción liviana (se utiliza un sistema que posee gran ahuje en la construcción nueva prefabricada):

Muros: revoque exterior (0.025m) + alma de muro = aislación de poliestireno expandido (valor x m) + revoque interior (0.025m),

Techos: Cielorraso de madera (1") + aislación de poliestireno expandido (valor x m) + Alivianado de hormigón (0.075m) + membrana asfáltica.

Tabla 3. Valores de capacidad calorífica volumétrica para los diferentes paquetes utilizados.

	Paquete	Capacidad calorífica [KJ/m ²]
MASICO	Muro	425.6
	Techo	423.0
LIVIANO	Muro	95.0
	Techo	170.0

Fuente: elaboración propia.

4 DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados se diferencian en muros y techos en relación a lo que establece la Norma IRAM 11605 para el total de las simulaciones. Son mostrados en diagramas de caja donde se puede observar los valores máximos, medios, cuartiles y mínimo, para

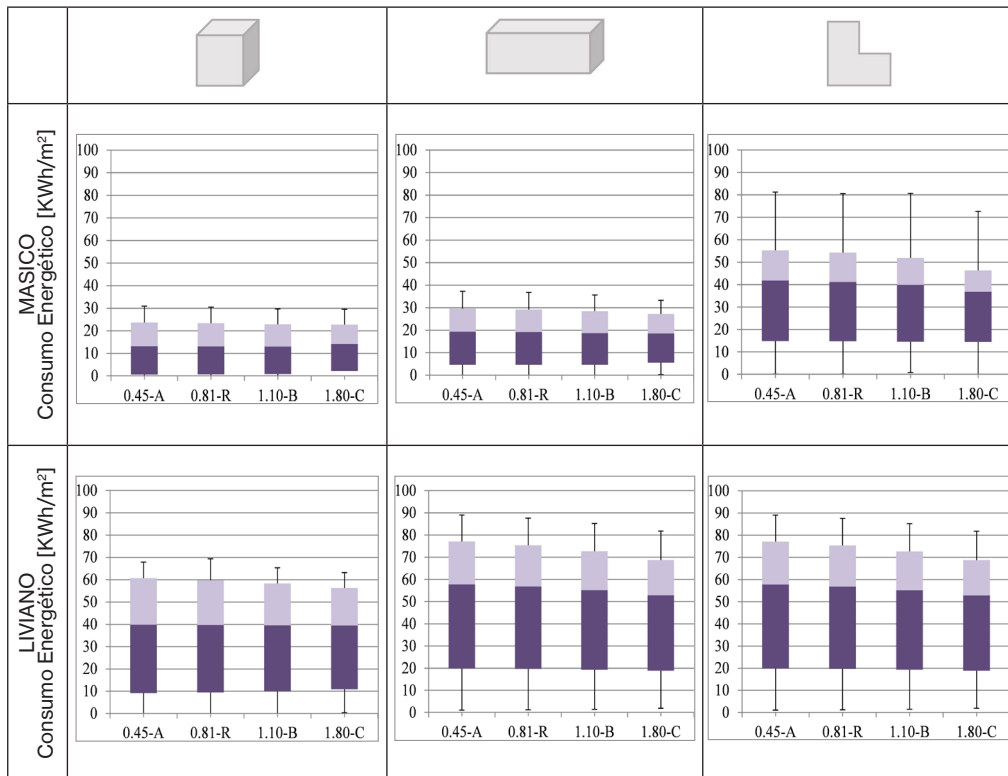
cada zona bioclimática combinando todos los parámetros estudiados de acuerdo a su capacidad calorífica volumétrica (Másico y Liviano), tipologías (cuadrado, rectancuglar y L) y relación WWR.

4.1 CONSUMOS ENERGÉTICOS PARA TRANSMITANCIA DE MUROS EN RELACIÓN A LA FORMA Y CAPACIDAD CALORÍFICA

En el caso del clima muy cálido (Formosa) los dos tipos de construcciones muestran una disminución constante del consumo de energía a medida que el U aumenta, para paquetes livianos en un rango del 6 al 10% y para paquetes másicos en un rango del 11 al 17%. Esta disminución es menor en la forma compacta cuadrada de construcción másica, donde se observa una disminución radical del consumo en el valor mínimo de U, con una diferencia entre máximo y mínimo del 55%. Para los demás valores de U, la disminución se vuelve constante en un rango del 5%. Para la zona II de clima Cálido (Chamical) el comportamiento es similar a lo que se observó en la zona I *Muy cálido*. Se observa un aumento sostenido del consumo energético en relación a valores de U menores. Se puede observar una constante de aumento del orden del 15% para construcciones livianas y del 17% para construcciones másicas de configuración más abiertas. En la forma cuadrada este porcentaje asciende al 28.7%. Figuras 2 y 3.

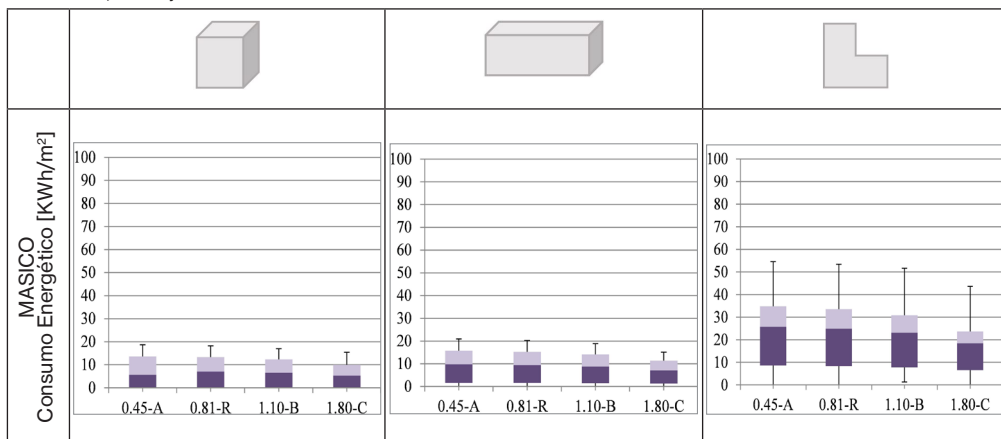
La ciudad de 9 de Julio (clima Templado cálido), la tendencia de consumo con muros aislados o no, es menor para la composición másica que para los paquetes livianos. Sin embargo presenta una diferencia que radica en que para U mayores el consumo disminuye. Esta disminución es sustancial entre el nivel A (de menor valor U) y el nivel C (mayor valor U) alcanzando un descenso del 23.4% para la forma cuadrada y de 41.8% en las formas rectangulares y abiertas. En el clima Templado Frío, se advierte la misma situación que para la localidad de 9 de Julio, donde el aumento se invierte y se observa un descenso a medida que el U crece. Este descenso alcanza un valor de hasta el 41% para la construcción másica en las formas cuadrada y rectangular y la forma L baja a un 18%. Por otro lado en la construcción liviana estos valores cambian a 40% para las formas rectangular y L, mientras que la forma cuadrada no supera el 25.8%. En este caso se evidencia una fuerte influencia en la relación construcción-forma, ya que se aprecia mayor descenso de consumo en formas cuadradas y rectangulares, cuando la construcción es másica, mientras que en la forma L el mayor descenso de consumo se observa para la forma más abierta L. Figura 4 y 5.

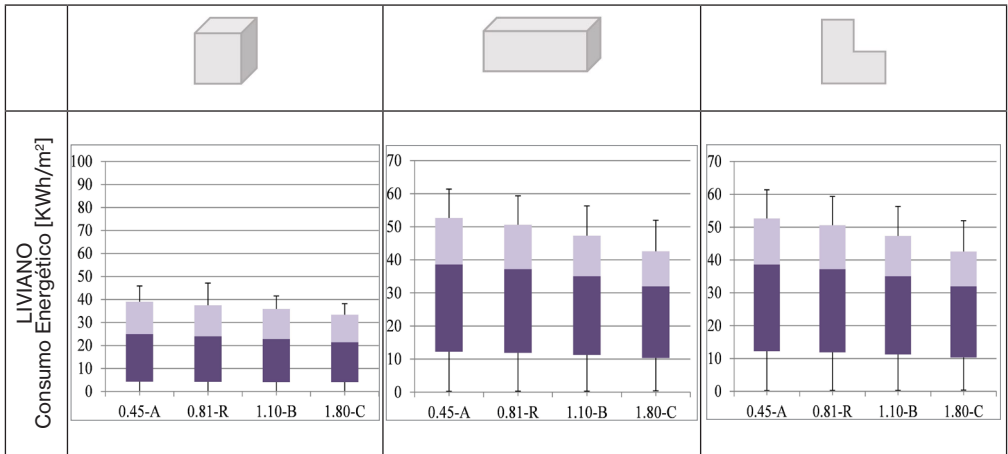
Figura 2. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona I *Muy cálido* –Formosa ciudad-.



Fuente: elaboración propia.

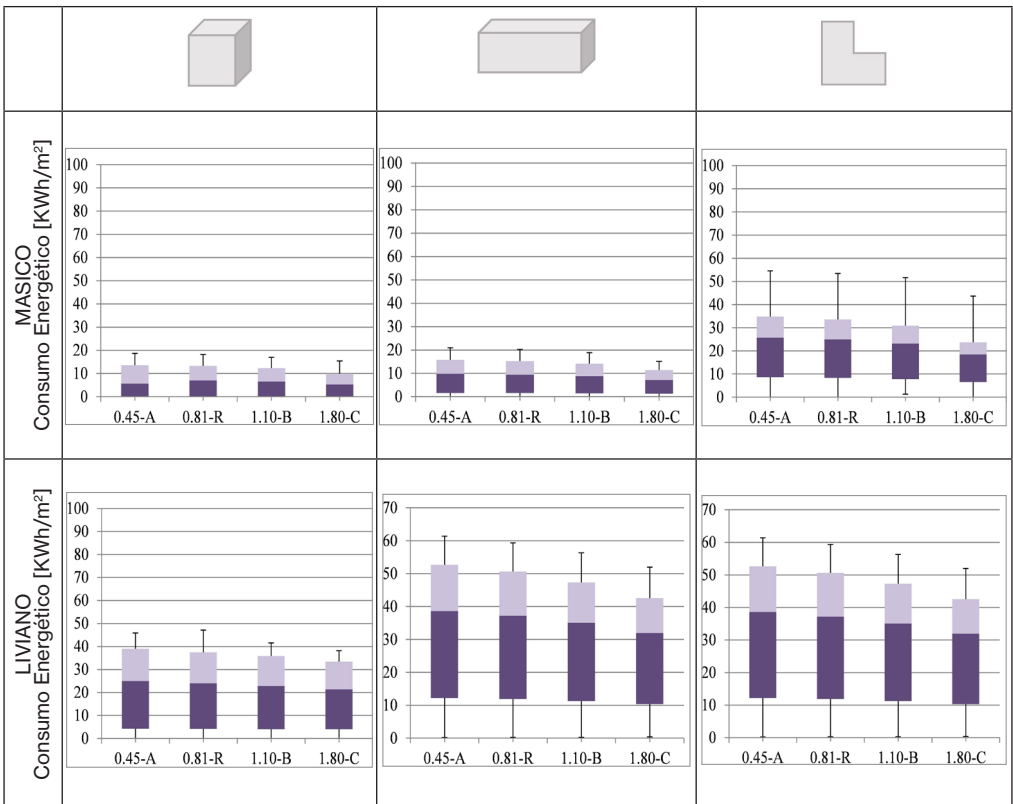
Figura 3. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona II *Cálido* –Chemical, La Rioja-.





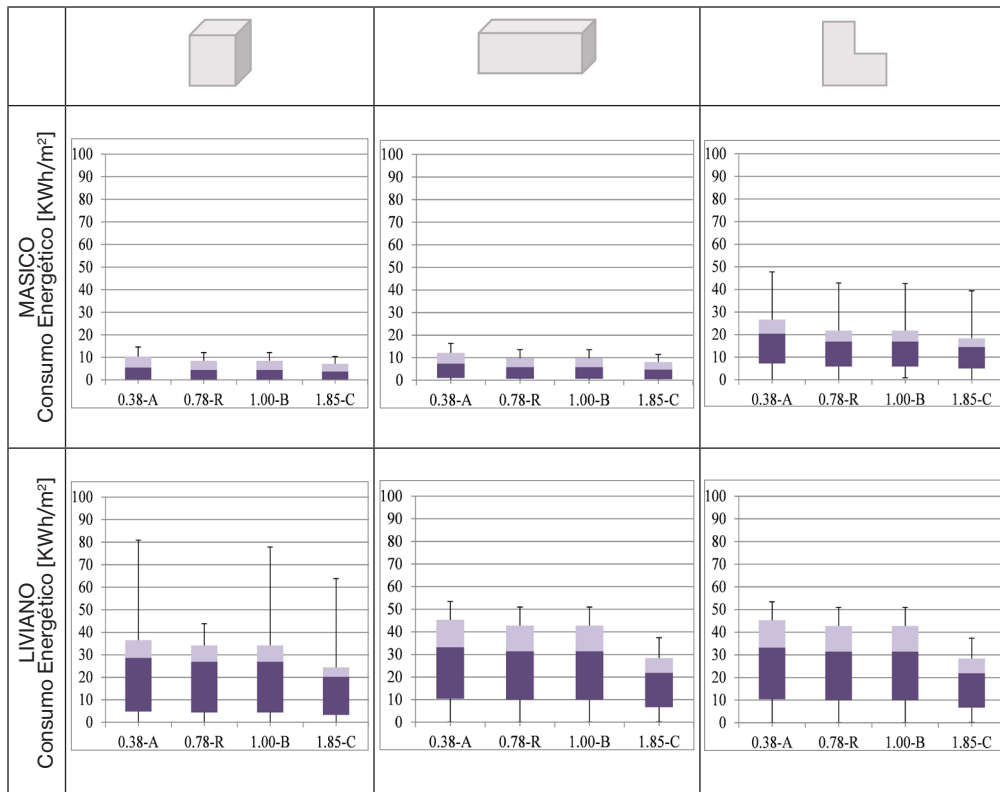
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona III Templado cálido -9 de julio, Buenos Aires-



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona IV Templado frío –Mendoza, ciudad-.



Fuente: elaboración propia.

4.2 CONSUMOS ENERGÉTICOS PARA TRANSMITANCIA DE *TECHOS* EN RELACIÓN A LA FORMA Y CAPACIDAD CALORÍFICA

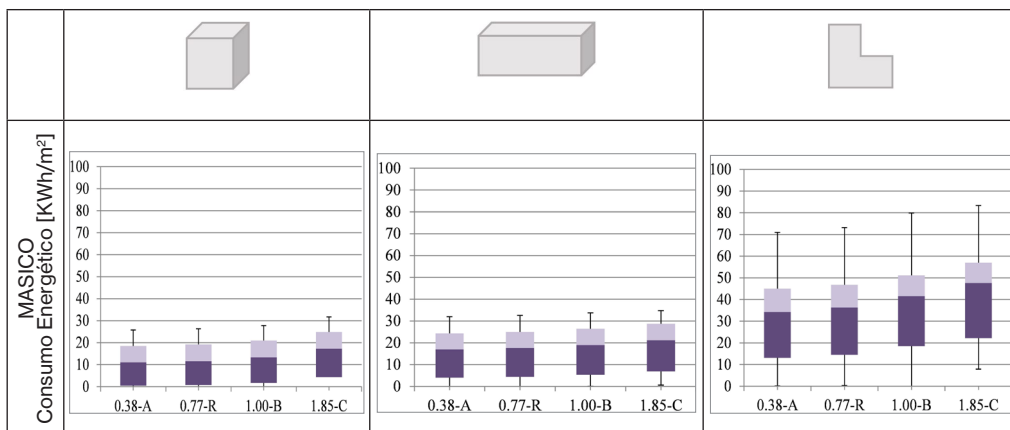
En el caso de clima Muy cálido y construcción másica, se observa un pequeño aumento en el consumo a medida que el U aumenta. Existe una semejanza en los valores de consumo para los niveles A, B y R en las formas más compactas, mientras que el consumo del nivel C se percibe mayor. La forma abierta evidencia un aumento sostenido del consumo desde el valor menor (A) al valor mayor de U (C). En las tres formas el valor U más alto presenta un aumento significativo del consumo en relación a paquetes con niveles A, B y R. En formas compactas (cuadrado y rectangular) el consumo se dispersa entre un 32% y 33% más para la misma relación WWR cuando la envolvente es liviana. Esta dispersión en envolvente másica alcanza un máximo de 9%. El peor comportamiento lo presenta el paquete liviano con valor U más alto para la forma más compacta. Se considera que esto es efecto de que la forma y la envolvente establecen demasiado intercambio y/o dispersión de energía entre exterior e interior. Figura 6.

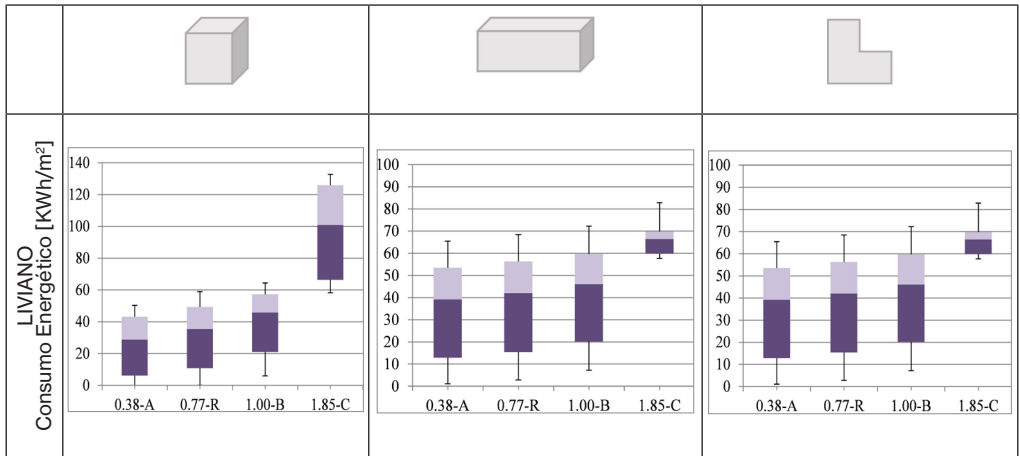
En el clima Cálido, las situaciones para los paquetes másicos, en las tres formas, responden de una manera bastante similar al cambio y aumento del valor de transmitancia térmica del paquete. El consumo energético presenta un aumento en un rango entre el 4 y 10% para las formas cuadrada y rectangular mientras que para la forma más abierta marca un aumento del 18%. El paquete liviano presenta un aumento sostenido del orden del 12.5% entre los niveles A, R y B, mientras el nivel C alcanza un 41.5% en relación al nivel A, en las formas más abiertas (rectangular y L). En la forma cuadrada alcanza un 68% para U muy conservativos. Figura 7.

Para la localidad 9 de julio (clima Templado cálido), el consumo de la construcción másica presenta un aumento paulatino a medida que este es mayor, un aumento que oscila en un rango de 9 y 35% entre los niveles de U más bajo (A) y de U más alto (C). Sin embargo se manifiesta en consumos por debajo de 17 KW/hm²año, por lo que al tratarse de consumos bajos, el aumento es imperceptible. En su contraposición a la situación masica, el sistema liviano muestra un mayor consumo de hasta 1/3 más en las tres formas y con un aumento más homogéneo entre niveles que no supera el 6% para la forma cuadrada y el 4.7% en las formas rectangular y L. Figura 8.

La situación de construcción másica para la ciudad de Mendoza (clima Templado frío) muestra aumentos de consumo a medida que el U aumenta. Para las formas cuadrada y rectangular se observa un consumo un 50% menor que la forma abierta (L). En la situación de construcción liviana, las tres formas presentan un comportamiento similar, es decir un aumento paulatino marcando una diferencia de 35% promedio entre el valor mínimo (A) y el máximo (C) de consumo energético. En todos los casos el nivel C se desprende del aumento paulatino que mantienen entre los niveles A, R y B (aumento en un rango del 1.7% al 2.6%). El nivel C eleva su consumo llegando a plasmar una diferencia del 7%. Figura 9.

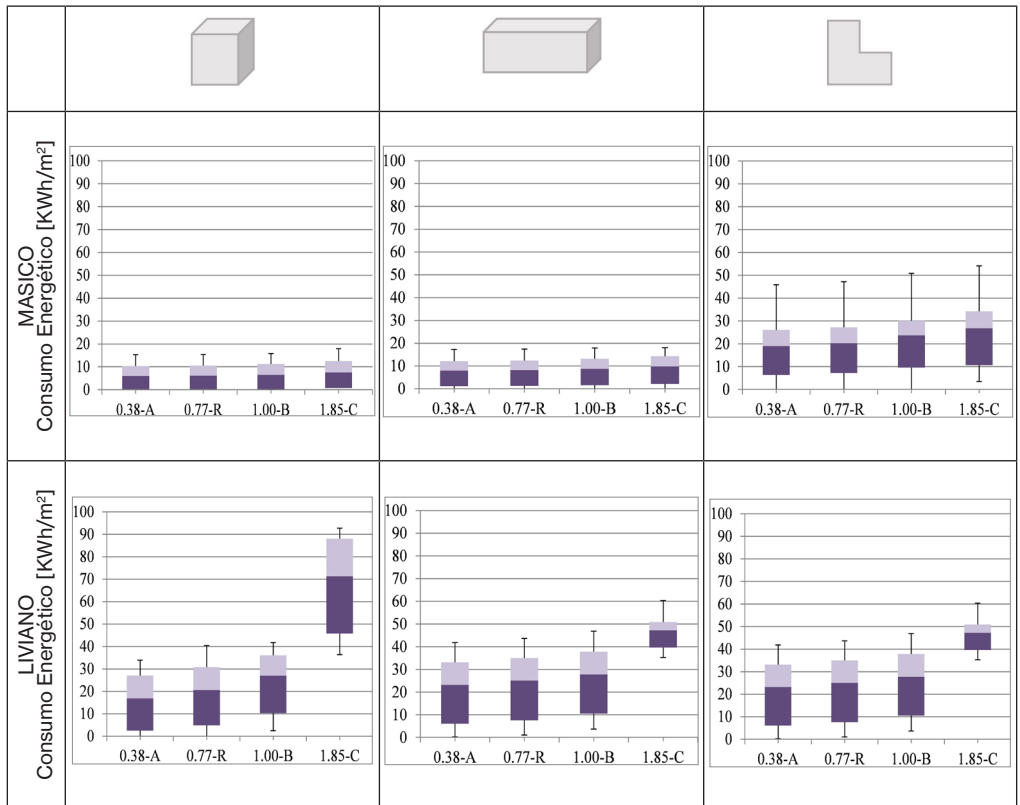
Figura 6. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U* Techos, para Zona I Muy cálido –Formosa ciudad-.





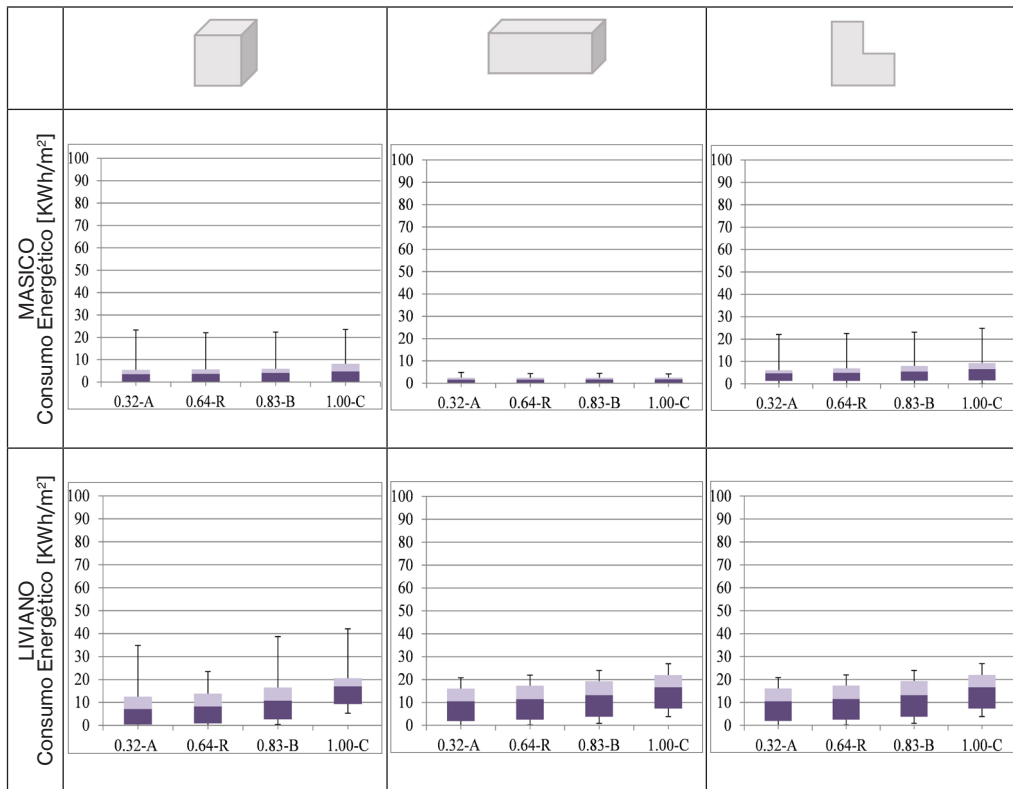
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U* Techos, para Zona II Cálido-Chemical, La Rioja-.



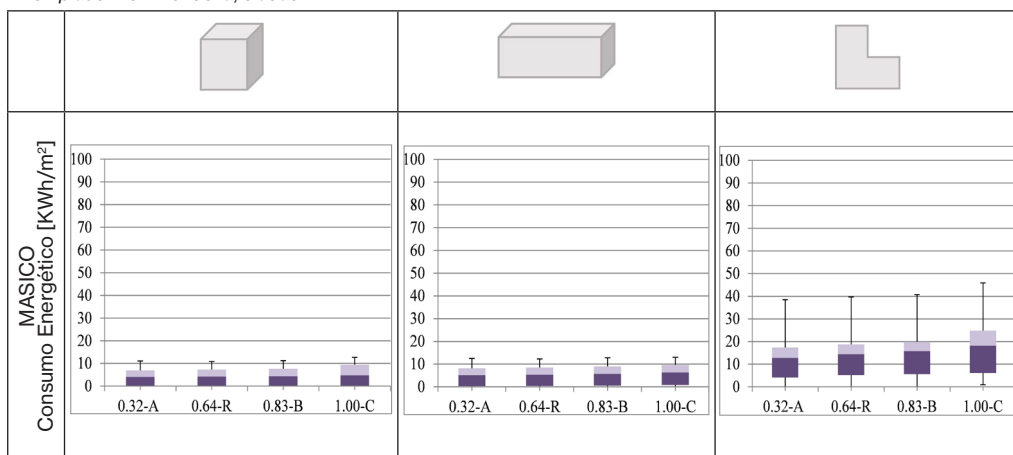
Fuente: elaboración propia.

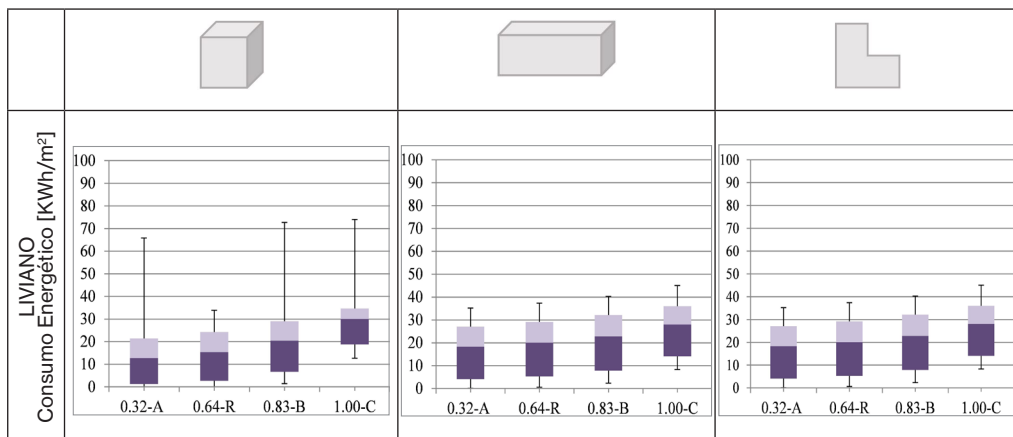
Figura 8. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U Techos*, para Zona III *Templado cálido* –9 de julio, Buenos Aires-.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U Techos*, para Zona IV *Templado frío* –Mendoza, ciudad-.





Fuente: elaboración propia.

4.3 CONSUMOS ENERGÉTICOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN RELACIÓN CON LA FORMA Y EL COEFICIENTE WWR

Este análisis presenta mayor dispersión de los datos que en las relaciones analizadas en los puntos 4.1 y 4.2. Sin embargo es posible advertir que se produce una clara diferenciación de dos grupos en los comportamientos del consumo energético, por un lado los climas cálidos (VI y V) y por otro lado los climas templados (IV y III).

Tabla 4. Consumos energéticos máximos y mínimos por Forma, WWR para construcción mäsica y construcción liviana.

		MASA				LIVIANO			
		20	40	60	80	20	40	60	80
CUADRADO									
Zona I Muy cälido	MAX	8.2	15.7	21.9	30.7	116.4	128.5	68.0	68.4
	MIN	0.0	0.4	14.3	23.2	0.0	7.8	29.9	42.4
Zona II Cälido	MAX	1.1	4.1	12.9	19.1	79.0	88.2	47.8	48.5
	MIN	0.0	0.0	6.4	11.8	0.0	3.3	17.2	25.5
Zona III Templado Cälido	MAX	0.0	0.1	24.7	5.1	36.6	42.4	24.7	25.7
	MIN	0.0	0.0	6.7	2.2	0.0	0.5	6.7	11.0
Zona IV Templado Frío	MAX	0.1	2.2	9.5	14.6	67.4	76.1	41.2	41.3
	MIN	0.0	0.0	3.3	7.2	0.0	1.7	12.7	19.3
RECTANGULAR									
Zona I Muy cälido	MAX	5.2	12.2	23.3	33.0	59.9	66.8	70.3	69.9
	MIN	0.0	5.1	15.9	25.9	1.0	16.2	33.6	46.6
Zona II Cälido	MAX	0.9	5.6	13.1	19.7	40.7	46.4	49.4	49.3
	MIN	0.0	1.4	6.9	12.7	0.2	7.9	18.8	27.3
Zona III Templado Cälido	MAX	0.0	0.5	2.6	5.8	19.8	23.7	26.3	27.0
	MIN	0.0	0.0	0.9	2.7	0.0	2.5	7.9	12.5
Zona IV Templado Frío	MAX	0.2	3.8	10.0	15.4	35.4	40.6	43.1	42.6
	MIN	0.0	0.4	3.9	8.2	0.1	5.5	14.3	21.2
L									
Zona I Muy cälido	MAX	9.1	66.8	38.6	45.5	59.9	66.8	70.3	69.9
	MIN	0.1	16.2	24.7	32.3	1.0	16.2	33.6	46.6
Zona II Cälido	MAX	2.6	46.4	23.7	29.0	40.7	46.4	49.4	49.3
	MIN	0.0	7.9	12.2	17.1	0.2	7.9	18.8	27.3
Zona III Templado Cälido	MAX	0.0	23.7	5.0	7.8	19.8	23.7	26.3	27.0
	MIN	0.0	2.5	1.8	3.4	0.0	2.5	7.9	12.5
Zona IV Templado Frío	MAX	1.2	40.6	16.9	21.1	35.4	40.6	43.1	42.6
	MIN	0.0	5.5	6.8	10.5	0.1	5.5	14.3	21.2

Fuente: elaboración propia.

En el primer grupo mencionado, los climas cálidos y muy cálidos, existe una mayor variabilidad en las combinaciones donde se encuentran los datos de mayor y menor consumos (MAX y MIN) respectivamente. Esta situación conlleva una dificultad metodológica para establecer un patrón de comportamiento. En el clima muy cálido, los casos de formas compactas de construcciones másicas, muestran que los valores máximos de consumo prevalecen en las relaciones menores, 20 y 40 para una combinación de muros y techos sin aislar. Para las mismas formas en construcciones livianas los niveles de mayor consumo rondan las relaciones de WWR más altas (60 y 80) con muros de U mínimos y techos sin aislar. En el clima cálido, los resultados se muestran más homogéneos, dado que los valores máximos se encuentran para todas las formas para la combinación del U más bajo de muros y techos sin aislar para todas las relaciones de WWR y las formas constructivas.

En el caso de los climas templados, presentan un comportamiento igual para todos los casos. Los máximos consumos energéticos se presentan con los niveles mínimos de transmitancia para muros y techos. Mientras que los mínimos de consumo se presentan con los niveles más altos de transmitancia en muros, es decir sin aislación e importantes espesores de aislación en techos. Esto indica que la relación WWR no influye el menor o mayor consumo energético frente al cambio de las transmitancias de muros y techos.

En cuanto a las relaciones de WWR y las formas se observa que en formas compactas y un sistema constructivo másico aumentan los consumos frente a porcentajes más altos. Mientras que en la forma más abierta y un sistema constructivo liviano, sin masa, la incidencia del aumento de aventanamiento se reduce a un 15% entre valores mínimos y máximos.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la influencia en el consumo energético para refrigeración de los valores de transmitancia (U) que recomienda la Norma IRAM 11605 en sus tres niveles (A, B y C) y un cuarto nivel recomendado (R) en un trabajo anterior, en climas templados y cálidos de la República Argentina para edificios residenciales unifamiliares de formas, sistemas constructivos y relación WWR diferentes.

La metodología de simulación paramétrica se considera óptima para este tipo de estudios debido a la posibilidad de trabajar con infinitas variables y poder observar su influencia en conjunto. Sin embargo el procesamiento de datos se debe realizar cuidadosamente.

En base a los resultados es posible alcanzar las siguientes conclusiones:

- Para climas muy cálidos y cálidos las cargas energéticas para refrigeración se elevan entre un 28% y 55% con valores de transmitancia muy bajos o conservativos.
- En climas templados este valor es menor, sin embargo trabajos anteriores muestran una disminución en el consumo energético para balances anuales, lo que supone que para la estación de invierno valores bajos de U proporcionan ventajas. De esto se deduce que, en la estación de verano, la aislación asimétrica de muros sería conveniente, permitiendo la disipación del calor en orientaciones menos comprometidas.
- La Norma IRAM 11603 recomienda para climas Muy cálidos y cálidos “*gran aislación térmica en techos y en muros orientadas al este y al oeste*”. En este trabajo se demuestra que esta recomendación no es absoluta, ya que supondrá un mayor consumo energético con gran aislación en muros.
- La utilización de los altos valores de U en muros, relacionados a los niveles de la Norma IRAM 11605, evidencia un aumento en el consumo energético destinado a enfriamiento.
- La tendencia en techos es inversa, en todos los climas se presenta un aumento a medida que las transmitancias suben. Esta situación toma importante relevancia al evidenciar que el elemento de mayor incidencia solar en la época estival, influencia de manera directa en el consumo energético para enfriamiento. Por lo tanto mientras en muros es beneficioso la disipación del calor por medio de elementos poco aislados o sin aislar, los techos se deben proteger del sobrecalentamiento mediante paquetes muy aislados.

El estudio realizado posee una importante prospectiva de trabajo e investigaciones futuras como el análisis de los casos considerando la carga interna de uso, la protección solar de las aberturas y la descarga térmica de los muros mediante ventilación cuando la temperatura exterior lo permita.

REFERENCIAS

Al-Sanea S. A., Zedan M.F. 2011. Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass. *Applied Energy*, Vol. 88, Pp. 3113-3124. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.036>.

Ballarini I. y Corrado V. 2012. Analysis of the building energy balance to investigate the effect of thermal insulation in summer conditions. *Energy and Buildings* 52 pp. 168–180.

Berge A., Hagentoft Carl-E., Wahlgren P., Adl-Zarrabi B. 2015. Effect from a Variable U-Value in Adaptive Building Components with Controlled Internal Air Pressure, *Energy Procedia*. Vol. 78, pp 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.677>.

Climate One Building Org. Disponible en:<http://climate.onebuilding.org/sources/default.html>

Çomakli, K., Yüksel, B. 2004. Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings. *Applied Thermal Engineering*, 24 (5-6), pp. 933-940. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2003.10.020

Mercado M. Victoria, Esteves A. 2004. Arquitectura sustentable, estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 15; pp. 45 – 52.

Esteves A., Esteves M. J., Mercado M. V., Barea G. y Gelardi D. 2018. Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs. *Architecture Research*, 8(4) pp. 111-122.

EURIMA. Ecofys VII - U-values for Better Energy Performance of Buildings. European Insulation Manufacturers Association; 2007.

Fang Z., Li N., Li B., Luo G., Huang Y. 2014. The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer, *Energy and Buildings*, Vol. 77, 2014. Pp. 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.030>.

Favoino F., Jin Q., Overend M. 2017. Design and control optimisation of adaptive insulation systems for office buildings. Part 1: Adaptive technologies and simulation framework, *Energy*, Volume 127, pp Pages 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.083>.

Gratia E., De Herde A. 2003. Design of low energy office buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 35, Pp 473-491, ISSN 0378-7788, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00160-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00160-3).

Intergovernmental Panel on Climate Change I. Climate Change 2007: Technical Summary.

Intergovernmental Panel on Climate Change I. 2017. Expert Meeting on Mitigation, Sustainability and Climate Stabilization Scenarios.

IRAM 11603. 2011. Acondicionamiento térmico de edificio. Clasificación Bioambiental de la República de Argentina.

IRAM 11604. 2001. Aislamiento térmico de edificios.

Jin Q., Favoino F., Overend M. 2017. Design and control optimisation of adaptive insulation systems for office buildings. Part 2: A parametric study for a temperate climate. *Energy*. Volume 127, pp 634-649. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.096>.

Mark Kimber, William W. Clark, Laura Schaefer, Conceptual analysis and design of a partitioned multifunctional smart insulation, *Applied Energy*, Volume 114, 2014, Pages 310-319, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.067>.

Mascaró, J. L. Variación de los Costos de los Edificios Con las Decisiones Arquitectónicas. La Plata: UNLP, FAU, 1983.

Melo A. P., LAMBERTS R., DE SOUZA VERSAGE R., ZHANG Y. 2015. Is thermal insulation always beneficial in hot climate? Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India.

Melo A.P., Sorgato M.J., Lamberts R. 2014. Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. *Energy and Buildings*. Vol. 70. Pp 372-383, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.080>.

Negendahl K., Nielsen T. R. 2015. Building energy optimization in the early design stages: A simplified method. *Energy and Buildings*. Vol. 105, Pp 88-99.

Olivieri F., Cocci Grifoni R., Redondas R., Sánchez-Reséndiz J.A., Tascini S. 2017. An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall, *Energy and Buildings*. Vol. 150. Pp 132-148. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.068>.

Stevanović S. 2013. Optimization of passive solar design strategies: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 25, Pp 177-196.

Ucar, Aynur & Balo, Figen, 2010. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior Elsevier, vol. 35(1), pages 88-94

Yildiz, A., Gürlek, G., Erkek, M., Özbalta, N. 2008. Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Journal of Thermal Science and Technology*, 28 (2), pp. 25-34.

Yu J., Yang C., Tian L. 2008. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, *Energy and Buildings*, Volume 40, pp 1536-1546, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.020>.

Yu J., Yang C., Tian L., Liao D. 2009. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, *Applied Energy*, Vol. 86, pp 2520-2529. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.010>.

CAPÍTULO 9

ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA CUPRITA SINTETIZADA POR RUTA QUÍMICA

Data de submissão: 10/09/2021

Data de aceite: 29/09/2021

Orfelinda Avalo Cortez

Universidad Nacional de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Metalúrgica
Lima, Rímac, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-6619-7227>

David Pedro Martínez Aguilar

Universidad Nacional de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Metalúrgica
Lima, Rímac, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-6942-8273>

RESUMEN: Con el auge de la nanotecnología se han desarrollado nanomateriales inorgánicos, que presentan un marcado efecto microbicida sobre una amplia variedad de microorganismos, tales como virus, bacterias y hongos. En el presente trabajo se realizó la síntesis, caracterización y estudio de la actividad antimicrobiana del óxido de cobre (I), cuprita, Cu_2O , obtenida por ruta química. Para la obtención de la cuprita se utilizó como precursor el sulfato de cobre pentahidratado y como reductor orgánico a la glucosa. La caracterización se realizó por Difracción de Rayos-X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). También se

determinó la actividad antimicrobiana in vitro de las partículas de cuprita sobre la bacteria *Staphylococcus aureus*, determinándose la concentración inhibitoria mínima (CIM). Los resultados del análisis por Difracción de Rayos X, confirmaron que a partir de la síntesis empleando glucosa como reductor dio como resultado la obtención de 100% Cuprita (Cu_2O) con morfología variable, se observaron esferas, cubos y tetraedros muy dependiente de la concentración de NaOH empleada en cada síntesis, con tamaños de partícula en los rangos nanométrico y micrométrico, es decir se obtuvo nanopartículas y nanoestructuras de Cu_2O . De acuerdo con los resultados de la actividad antimicrobiana se puede concluir que el óxido de cobre Cu_2O tiene efecto antimicrobiano sobre la bacteria *Staphylococcus aureus*, siendo la Concentración Mínima Inhibitoria, CIM, 16 mg/mL.

PALABRAS CLAVE: Cuprita. Antimicrobiana. *Staphylococcus aureus*.

STUDY OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THE CUPRITE SYNTHESIZED BY CHEMICAL ROUTE

ABSTRACT: With the rise of nanotechnology inorganic nanomaterials have been developed, which have a clear microbicidal effect on a wide variety of microorganisms, such as viruses, bacteria and fungi. In the present work, the synthesis, characterization and study of the antimicrobial activity of copper

oxide (I), cuprite, Cu_2O , obtained by chemical route, was carried out. To obtain cuprite copper sulfate pentahydrate was used as precursor, and glucose was used as an organic reducer. The characterization was carried out by X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The in vitro antimicrobial activity of the cuprite particles was also determined on the *Staphylococcus aureus* bacteria, determining the minimum inhibitory concentration (MIC). The results of the analysis by X-ray Diffraction, confirmed that from the synthesis using glucose as a reducing agent resulted in obtaining 100% Cuprite (Cu_2O) with variable morphology, spheres, cubes and tetrahedra were observed and depended on the concentration of NaOH used in each synthesis, with particle sizes in the nanometric and micrometric, ergo, nanoparticles and nanostructures of Cu_2O were obtained. According to the results of antimicrobial activity, it can be concluded that copper oxide Cu_2O has an antimicrobial effect on *Staphylococcus aureus* bacteria, with the Minimum Inhibitory Concentration, MIC, 16 mg/mL.

KEYWORDS: Cuprite. Antimicrobial. *Staphylococcus aureus*.

1 INTRODUCCIÓN

El *Staphylococcus aureus* es una bacteria gram positiva que se encuentra ampliamente diseminado en el ambiente ya que posee características particulares de virulencia y resistencia contra antibióticos, lo cual representa un grave problema de salud, además esta bacteria tiene características genéticas que le han permitido convertirse en una de las bacterias más importantes en los hospitales y en las enfermedades transmitidas por alimentos (Zendejas-Manzo GS, Avalos-Flores H, Soto-Padilla MY, 2014). De acuerdo con la literatura se sabe que el cobre y los óxidos de cobre son utilizados en diversos equipos sanitarios y médicos por sus propiedades bactericidas y antimicrobianas (Araya, M., Olivares, M., Pizarro, F., Figueroa, G., & Lagos, G., 2009). El mecanismo que explica la actividad antibacteriana es la capacidad del cobre para ceder y aceptar electrones en forma continua. Los iones de cobre se desprenden de superficies de cobre penetrando en la célula bacteriana produciendo la ruptura de la membrana citoplasmática que favorece la entrada de iones cobre, lo que conduce a una disfunción de la membrana y a un aumento del estrés oxidativo. A nivel citoplasmático hay una alteración de la síntesis proteica y daño funcional de enzimas esenciales produciéndose la muerte celular y degradación del ADN bacteriano (López-Fernández MJ, Llanos-Méndez A, Romero-Tabares A, Gómez RI., 2016). Si bien, el cobre ocasiona que la bacteria pierda su capacidad de replicarse al alterar su estructura molecular, se sabe que no genera mutaciones en el ADN. Cualquiera de estos mecanismos afecta la supervivencia de las bacterias, pero dependerá de la concentración del metal para ver el efecto bacteriostático o bactericida. La Concentración inhibitoria mínima (CIM), en microbiología, es la concentración más baja de un antimicrobiano que inhibe el crecimiento de un microorganismo después de su incubación. La concentración

inhibitoria mínima es importante en diagnósticos de laboratorio para confirmar la resistencia de microorganismos a un agente antimicrobiano y además para monitorizar la actividad de los nuevos agentes antimicrobianos (Flórez Palacios LM, 2017).

En la literatura existen diversos trabajos sobre síntesis de cobre, CuO y Cu_2O , empleando reductores orgánicos y surfactantes cuyos resultados muestran que la síntesis por esta ruta química es sencilla y lo más importante permite el control del tamaño y forma de las partículas sintetizadas (Saikova SV, Vorob'ev SA., et al 2010; Obratsova II, Simenyuk GY, and Eremenko NK., 2010; Wang YJ, Zhou KG., 2012; Khan MA, Ullah M, Iqbal T, Mahmood H et al 2015; Ismat Zerín L, Lutfun Naher H. et al 2015; Téllez Juárez MC, Rodríguez Gattorno G, Reguera Ruiz E., 2009). Existen también publicaciones respecto a la actividad antimicrobiana del cobre y de los óxidos de cobre sobre diversas bacterias tanto gram positivas como gram negativas, que en general sugieren que las nanopartículas de Cu , CuO y Cu_2O pueden ser considerados como nuevos agentes efectivos de bacterias resistentes a múltiples fármacos (Flórez Palacios LM, 2017; Sunita Jadhav, Suresh Gaikwad, et al 2011; Maqusood Ahamed, Hisham A. Alhadlaq et al 2014; Yi-Huang Hsueh, Ping-Han Tsai and Kuen-Song Lin, 2017; Lalit Yadav, Ravi Mani Tripathi et al 2017; Cheng Ling S, Yuan Fang L., 2009; Ahmed M. A, Mahmoud M. H, Ashraf M. ES and Marwa R. H., 2016; Bui Duy Du, Dang Van Phu, et al 2017). El presente trabajo de investigación tiene como objetivo sintetizar la cuprita, Cu_2O , a partir de la sal precursora $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y empleando como reductores orgánicos el ácido ascórbico, la glucosa y la hidracina, aprovechando la ventaja de que el empleo de reductores orgánicos requiere bajas temperaturas durante el proceso de síntesis. Realizar la caracterización microestructural de las partículas sintetizadas a través de Análisis por Difracción de rayos-X (DRX) y Microscopia electrónica de Barrido (MEB) y finalmente estudiar la actividad microbicida de la cuprita sobre la bacteria *Staphylococcus aureus* a fin de determinar la concentración inhibitoria mínima (CIM).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

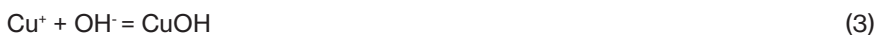
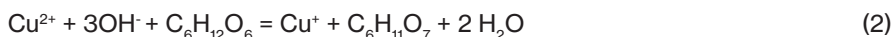
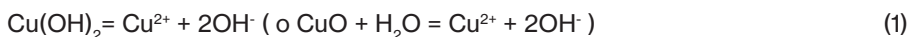
Para la síntesis del óxido cobre se partió del precursor en forma de sulfato de cobre pentahidratado, ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), el cual fue reducido con glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) en medio básico. Se pesó 5.71g de sulfato de cobre pentahidratado y se enrasó a 50mL en un vaso de precipitado con agua destilada. Se pesaron 2.13g de glucosa y 3.78g de hidróxido de sodio, enrasándose cada uno a 25mL en sus respectivos vasos de precipitado. Inicialmente se agregó el hidróxido de sodio al vaso que contenía la glucosa. Se observó la formación de una solución de un tono ligeramente amarillento. A esta solución amarillenta le agregamos poco a poco el sulfato de cobre pentahidratado que estaba colocado en una bureta. A medida que se adicionaba el $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ este cambiaba de una tonalidad azul a verde

oscuro. Se fue agitando constantemente la solución durante todo el proceso y se anotaba el cambio de pH en cada adición de sulfato de cobre de la bureta. Conforme aumentaba el pH, se observaba que la solución se volvía más oscura, hasta que al llegar a un pH de 12.3 se observó un precipitado rojizo. Finalizada la titulación, se procedió a calentar el vaso que contenía al precipitado en una plancha de calentamiento a 60°C durante 30 minutos. Luego se procedió a decantar para desechar la solución sobrenadante y luego se procede a lavar el precipitado 5 veces con agua destilada y una última lavada con alcohol. Finalmente se procedió a secar el precipitado a menos de 50°C. Una vez seca la muestra se procedió a determinar el peso final que fue de 1.47g. Las muestras finales fueron enviadas a los laboratorios externos para su análisis por Difracción de Rayos-X (DRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS DE LOS DIFRACTOGRAMAS DRX DE LA MUESTRA SINTETIZADA EMPLEANDO GLUCOSA COMO REDUCTOR EN MEDIO BÁSICO

En trabajos anteriores empleando glucosa e hidracina como reductores, se encontró que, dependiendo del rango de pH empleado en la síntesis, es posible obtener una mezcla de metal/óxido, es decir Cu/Cu₂O, tanto en el caso del uso de glucosa como reductor y también de la hidracina (Granata G, Yamaoka T, Pagnanelli F y Fuwa A., 2016). Al comparar los difractogramas de la muestra experimental con los patrones de difracción del cobre y de la cuprita, se puede observar que la muestra obtenida empleando glucosa como reductor a pH=12.3 presenta picos de cobre y cuprita, tal como se observa en la **Figura 1**. Haciendo el análisis cuantitativo se determinó que la muestra final contenía 93.5% de cuprita y 6.5% de cobre con un tamaño de cristalito de 83.23 nm. Algunos investigadores establecieron que los iones Cu²⁺ se reducen primero a Cu⁺ por la glucosa y luego el Cu⁺ reacciona con el OH⁻ para formar Cu₂O, de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Wang YJ, Zhou KG, 2012):



De acuerdo con los resultados anteriores, se pudo deducir que la síntesis empleando a la glucosa como reductor, podría conducirnos a obtener 100% cuprita y por eso se llevó a cabo pruebas experimentales **modificando el pH**, es decir variando la cantidad de NaOH empleada durante el proceso de síntesis de la muestra. Al hacer el análisis comparativo

de los difractogramas experimental y el de la cuprita se observa que en este caso solo aparecen los picos de la cuprita, por tanto, se obtuvo 100% cuprita, **Figura 2**.

Figura 1: Análisis comparativo de los difractogramas patrón del cobre y cuprita con el difractograma de la muestra experimental obtenida de la reducción del sulfato de cobre con glucosa a pH=12.3.

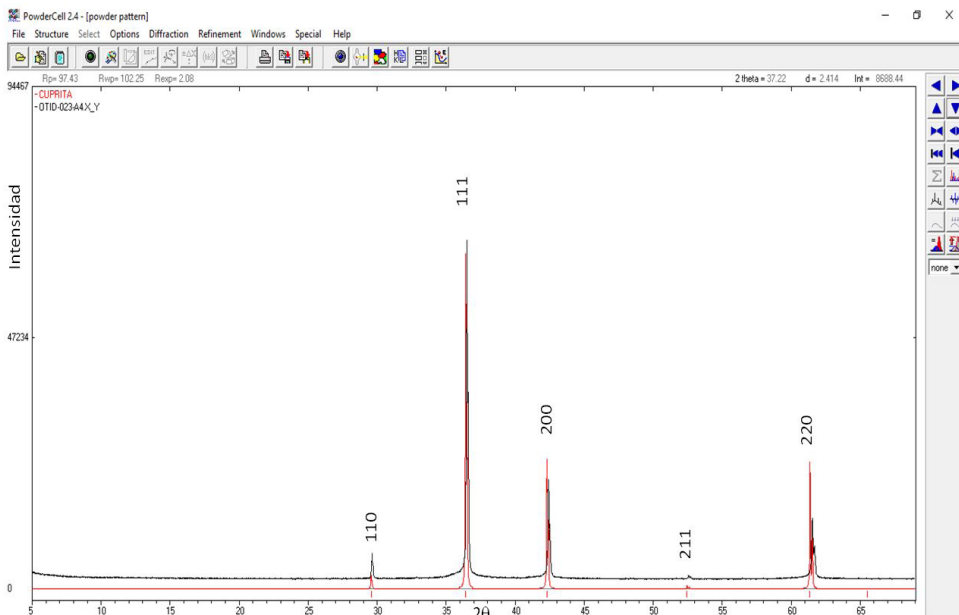
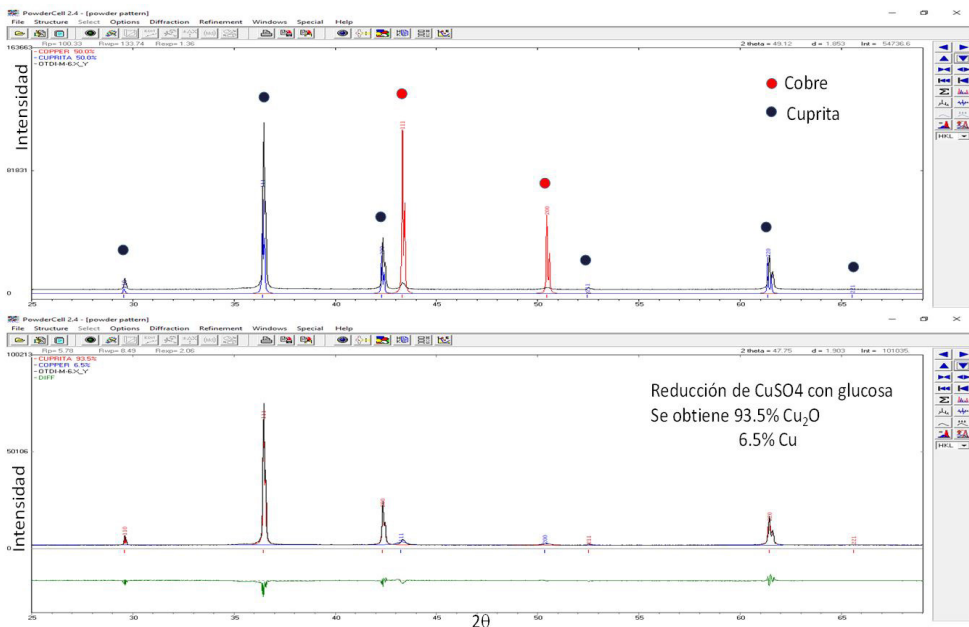
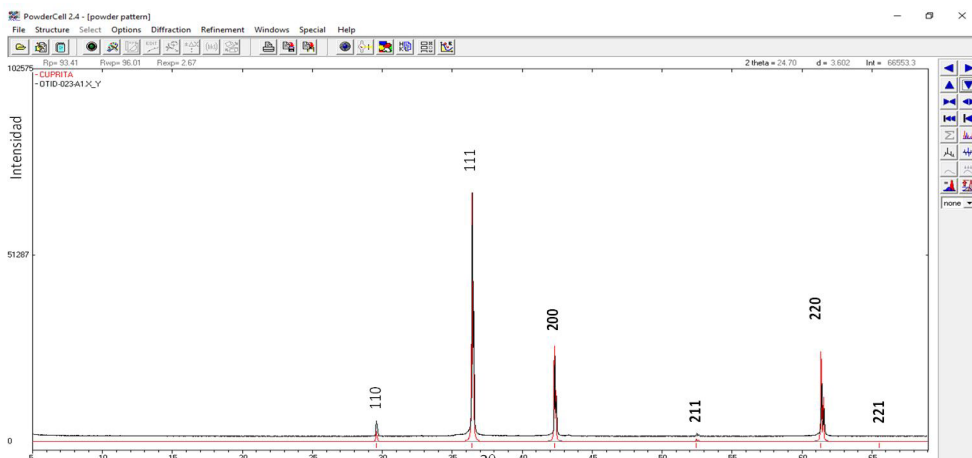


Figura 2: Análisis comparativo del difractograma patrón de la cuprita y el difractograma de la muestra experimental obtenida de la reducción del sulfato de cobre con glucosa a pH=12.



Otra modificación que se realizó durante el proceso de síntesis empleando la glucosa como reductor fue la de realizar la síntesis de la cuprita en frío, es decir sin calentamiento. Al realizar el análisis comparativo del difractograma experimental con el difractograma patrón de la cuprita, se puede observar que se obtuvo 100% cuprita, tal como se puede observar en la **Figura 3**.

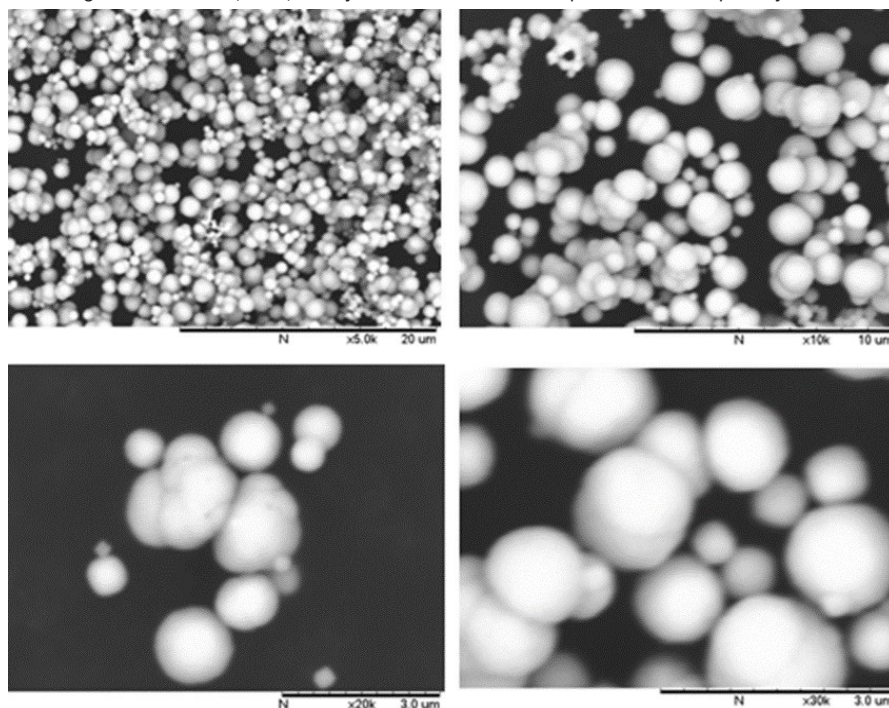
Figura 3: Análisis comparativo del difractograma patrón de la cuprita y el difractograma de la muestra experimental obtenida de la reducción del sulfato de cobre con glucosa a pH=12.3, síntesis en frío.



3.2 ANÁLISIS DE LAS MICROGRAFÍAS MEB DE LA CUPRITA SINTETIZADA CON GLUCOSA A PH=12 Y CON CALENTAMIENTO

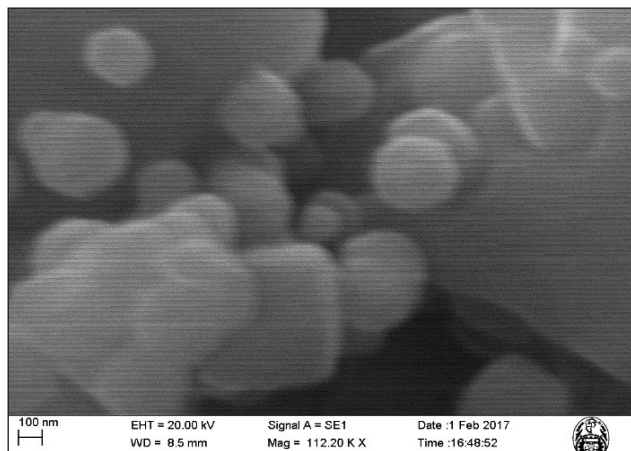
En la **Figura 4** se presenta la micrografía MEB de la muestra de cuprita sintetizada con glucosa a pH igual a 12 y con calentamiento. Se puede observar que la morfología de las partículas es esférica y con una distribución de tamaños heterogéneos. Estas micrografías MEB fueron obtenidas en el Microscopio Electrónico de Barrido tipo Tapletop de la PUC-Rio.

Figura 4: Micrografías MEB a 5KX, 10KX, 20KX y 30 KX de la muestra de cuprita sintetizada a pH=12 y con calentamiento.



Esta misma muestra fue analizada en el Microscopio Electrónico de Barrido de la Facultad de Ciencias de la UNI con la finalidad de tener micrografías con mayor magnificación. En la **Figura 5** se puede observar que a una magnificación de 112.20 KX se logra observar que se logran sintetizar partículas de cuprita de tamaño nanométrico, es decir nanopartículas. Lamentablemente no se tuvo acceso a un Microscopio Electrónico de Transmisión, MET para lograr mayor magnificación y tener más detalle de las muestras.

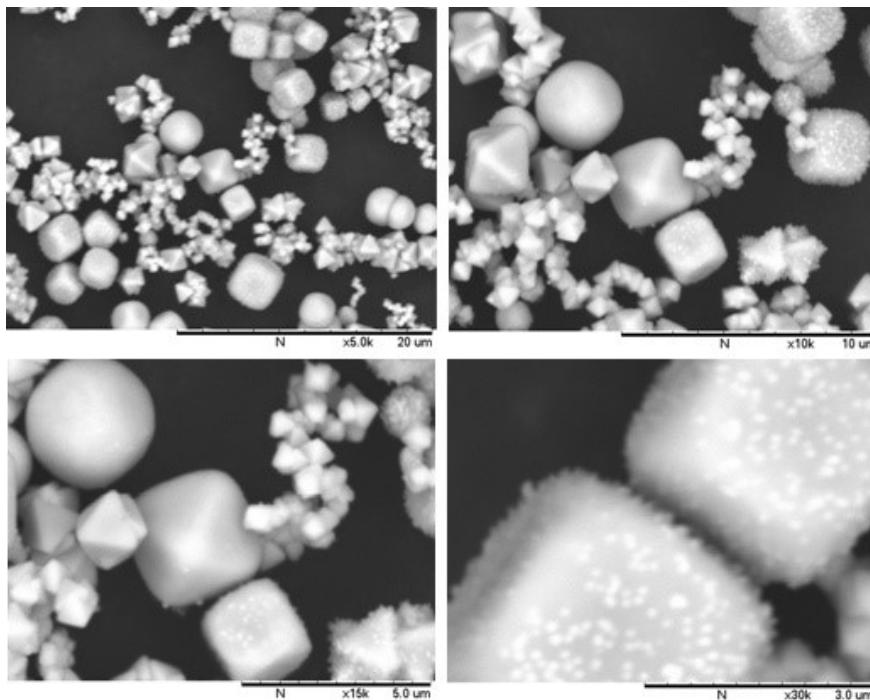
Figura 5: Micrografía MEB a 112.20 KX de la muestra de cuprita sintetizada a pH=12 y con calentamiento.



3.3 ANÁLISIS DE LAS MICROGRAFÍAS MEB DE LA CUPRITA SINTETIZADA CON GLUCOSA A PH=12.3 Y CON CALENTAMIENTO

En la **Figura 6** se presenta las micrografías MEB a 5KX, 10KX, 20KX y 30KX de la muestra de cuprita sintetizada con glucosa a pH igual a 12.3 y con calentamiento. Se puede observar que la morfología de las partículas es una mistura de cuasi-esféricas, cúbicas y tetraédricas con una distribución de tamaños heterogéneos. Las partículas con morfología tetraédrica son las más pequeñas con tamaño menor a 1µm, las partículas cuasi-esféricas, cúbicas y algunas tetraédricas tiene un tamaño promedio de 3µm. Se puede observar en las partículas cúbicas de la micrografía a 30KX que la partícula está constituida de pequeños cristalitas. Además, se puede observar que las partículas cúbicas migran a cuasi-esferas y luego éstas a tetraedros.

Figura 6: Micrografías MEB a 5KX, 10KX, 20KX y 30 KX de la muestra de cuprita sintetizada a pH=12.3 y con calentamiento.



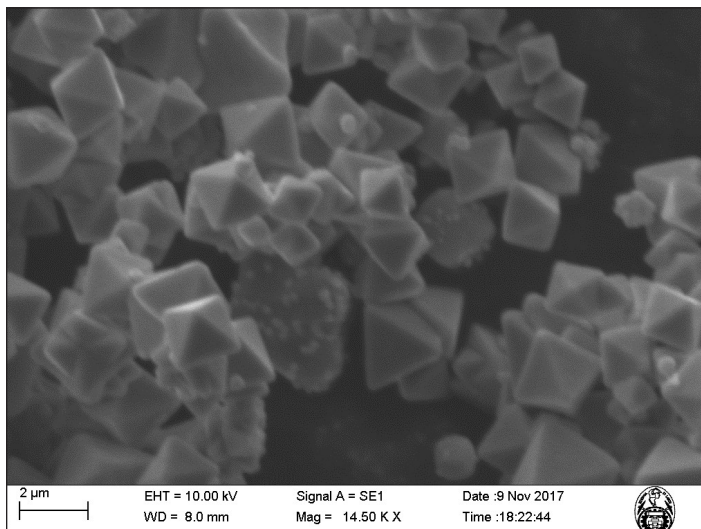
3.4 ANÁLISIS DE LAS MICROGRAFÍAS MEB DE LA CUPRITA SINTETIZADA CON GLUCOSA A PH=12.3 Y SIN CALENTAMIENTO

En la **figura 7** se presenta la micrografía MEB a 14.50KX de la muestra de cuprita sintetizada con glucosa a pH igual a 12.3 y sin calentamiento, es decir sintetizada en frío.

Se puede observar que la morfología de las partículas es tetraédrica con una distribución de tamaño bastante homogéneo.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que se pueden sintetizar cuprita de diferentes morfologías reduciendo Cu(II) con glucosa a 60°C o en frío y en medio alcalino. Se encontró que la forma de las partículas de Cu₂O cambia con el cambio de concentración de NaOH, es decir con la variación del pH. Las diferentes formas de las partículas de Cu₂O se deben a la absorción de iones OH⁻ en las partículas de Cu₂O, que surgen en la variedad del modo de crecimiento de Cu₂O, y que luego influyen en la morfología final de las partículas de Cu₂O.

Figura 7: Micrografías MEB a 14.50 KX de la muestra de cuprita sintetizada a pH=12.3 y sin calentamiento.



3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN INHIBITORIA MÍNIMA, CIM

En los ensayos de Concentración Inhibitoria Mínima (CIM), se usó una cepa ATCC 43300 Staphylococcus aureus resistente a metilicina. El medio de cultivo utilizado para el crecimiento de la cepa como para la realización de la CIM fue Muller Hinton, Las partículas de cuprita fueron disueltas en este medio y la lectura del CIM se realizó por medio de espectrofotometría a una longitud de onda de 600nm. La concentración inicial de la cepa siguió la equivalencia de 0.5 de Mac Farland. En este ensayo se tomaron las concentraciones de 144, 48, 16, 5.3, 1.7 y 0.56 mg/mL de la muestra de cuprita. La **Tabla 1** muestra el volumen en µL usado en la preparación de las concentraciones de cuprita. El control negativo corresponde a la concentración de 16 mg/mL.

Tabla 1. Volumen en μL usado en la preparación de las concentraciones de Cuprita en el rango de concentraciones 144-0.56mg/mL.

	B	C ⁻	C ⁺	Concentración de Cobre (mg/mL)					
				144	48	16	5.3	1.7	0.56
MH	1500	1365	1400	185	995	1265	1355	1385	1395
Cobre		135		1215	405	135	45	15	5
Cepa			100	100	100	100	100	100	100

Los resultados de la absorbancia luego de la medir el OD se muestran en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Resultados de la absorbancia de la muestra de cuprita.

C ⁻	C ⁺	144 mg/ mL (1)	48 mg/ mL (2)	16 mg/mL (3)	5.3 mg/ mL (4)	1.7 mg/ mL (5)	0.56 mg/ mL (6)
1.182	0.65	2.478	2.154	1.025	0.521	0.569	0.554
1.163	0.716	2.318	2.001	1.003	0.524	0.6	0.593
1.082	0.727	2.272	2.021	0.978	0.526	0.654	0.576
1.142	0.698	2.356	2.059	1.002	0.524	0.608	0.574

En la **Figura 8 y Figura 9** se muestran la coloración luego de preparar los viales con la cepa y las concentraciones de las partículas que se mantienen hasta terminar la MIC. En la **Figura 8** se observa la coloración luego de vortexear el medio y en la **Figura 9** se observa que las nanopartículas han sedimentado luego de 20 minutos. Como se observa en el control negativo, la coloración afecta el OD. La diferencia entre el control negativo con su contraparte (vial 3 = 16mg/mL) da un OD de 0.304, por lo cual la CIM de la muestra podría ser 16mg/mL.

Figura 8: Imagen que muestra la coloración de los viales luego de vortexear.

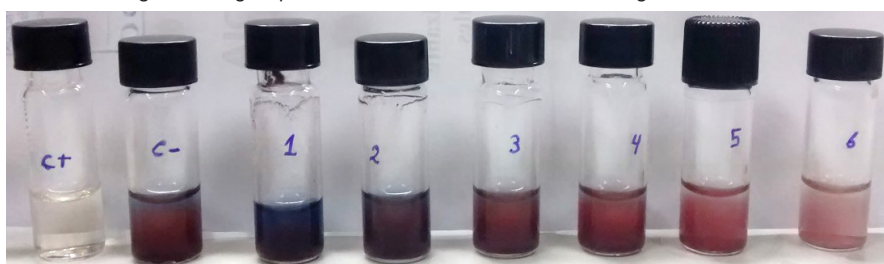
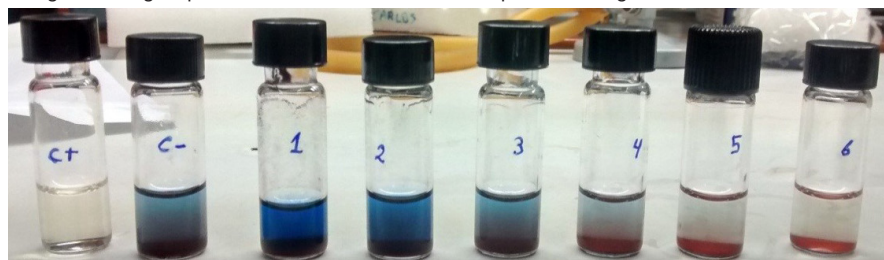


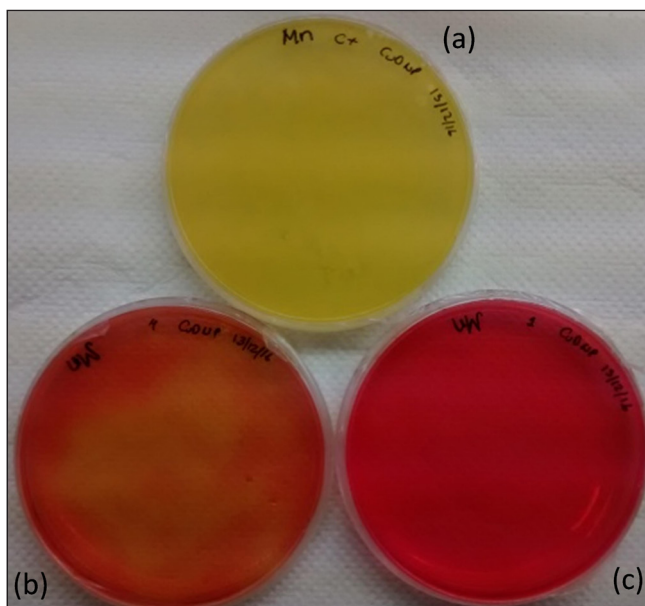
Figura 9: Imagen que muestra la sedimentación de las partículas luego de 20 min del vortexeado.



3.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CRECIMIENTO BACTERIANO

En la **Figura 10** se observa en la placa Petri de la parte superior, crecimiento de la cepa control (*Staphylococcus aureus*) en medio Manitol salado. En la placa Petri de la parte inferior izquierda se observa el crecimiento de la cepa donde la concentración del vial 4 corresponde a 5.3 mg/mL, mientras que en la placa Petri de la parte inferior derecha no se observa crecimiento de la cepa a una concentración de 144mg/mL. Por tanto la Concentración Inhibitoria Mínima, CIM, corresponde a la concentración en la cual la placa que no muestra crecimiento seguida de la placa que si mostró crecimiento y esto sería a una concentración de **16mg/mL**. Por tanto este valor de 16 mg/mL sería la Concentración Inhibitoria Mínima, CIM, de la cuprita, necesaria para evitar el crecimiento de la bacteria *Staphylococcus aureus*, lográndose finalmente alcanzar el objetivo final del presente trabajo de investigación.

Figura 10. Imagen que muestra el crecimiento bacteriano. a) Crecimiento de la bacteria *Staphylococcus aureus* sin presencia de cuprita. b) Parcial crecimiento de la bacteria *Staphylococcus aureus* en presencia de 5.3mg/mL de cuprita. c) Total inhibición del crecimiento de la bacteria *Staphylococcus aureus* en presencia de 16mg/mL de cuprita.



4 CONCLUSIONES

Lo que se obtiene a partir de la síntesis de sulfato de cobre pentahidratado empleando glucosa como reductor y a un pH de 12.3 es 93.5% de Cu_2O y 6.5% de Cu. Las

partículas obtenidas en estas condiciones tienen formas de esferas, cubos y tetraedros, de tamaño heterogéneo.

Se puede obtener 100% cuprita modificando la concentración del NaOH durante la síntesis que afecta tanto al pH, a la morfología y al tamaño de las partículas. A pH=12 se consiguen partículas de morfología esférica. Además, es posible obtener 100% cuprita haciendo la síntesis sin calentamiento obteniéndose partículas con morfología tetraédrica.

En relación con la actividad antimicrobial de las partículas de cuprita sintetizadas por ruta química empleando la glucosa como reductor en medio básico, se puede concluir que el óxido de cobre, cuprita, Cu_2O , tiene efecto antimicrobiano sobre la bacteria *Staphylococcus aureus* resistente a metilicina y que la Concentración Inhibitoria Mínima, CIM, corresponde a una concentración de 16 mg/mL.

REFERENCIAS

ZENDEJAS-MANZO GS, AVALOS-FLORES H, SOTO-PADILLA MY. Microbiología general de *Staphylococcus aureus*: Generalidades, patogenicidad y métodos de identificación. *Rev Biomed* 2014; 25:129-143.

ARAYA, M., OLIVARES, M., PIZARRO, F., FIGUEROA, G., & LAGOS, G. Cobre, Salud, Medio Ambiente y nuevas tecnologías, 2009. *INTA, Procobre Brasil, Chile, México, Perú*.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ MJ, LLANOS-MÉNDEZ A, ROMERO-TABARES A, GÓMEZ RI. Eficacia, efectividad y seguridad de las superficies de cobre antimicrobiano en la prevención de las infecciones relacionadas con la asistencia sanitaria. *Informes De Evaluación De Tecnologías Sanitarias AETSA*, 2016, España.

FLÓREZ PALACIOS LM. Estudio de la actividad de las nanopartículas de óxido cúprico suspendido en pbs en cepas bacterianas estándar. [Tesis de Titulación]. Lima-Perú. Universidad Peruana Cayetano Heredia. (2017)

SAIKOVA SV, VOROB'EV SA, NIKOLAEVA RB, AND MIKHLINA YL, Conditions for the Formation of Copper Nanoparticles by Reduction of Copper (II) Ions with Hydrazine Hydrate Solutions. *Russian Journal of General Chemistry*. 2010; 80 (6): 1122-1127.

OBRAZTSOVA II, SIMENYUK GY, AND EREMENKO NK. Preparation of Nanosized Copper Powders with Controlled Dispersity. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2010; 84 (6): 912-915.

WANG YJ, ZHOU KG. Effect of OH⁻ on morphology of Cu_2O particles prepared through reduction of Cu(II) by glucose. *J. Cent. South Univ*. 2012; 19: 2125-2129.

KHAN MA, ULLAH M, IQBAL T , MAHMOOD H ET AL. Surfactant Assisted Synthesis of Cuprous Oxide (Cu_2O) Nanoparticles via Solvothermal Process. *Nanoscience and Nanotechnology Research*. 2015; 3 (1):16-22.

ISMAT ZERIN L, LUTFUN NAHER H, SARWARUDDIN CHOWDHURY AM, GAFUR MA, NURUZZAMAN K, RUHUL A. K. Preparation and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles Synthesized via Chemical Precipitation Method (2015). *Open Access Library Journal*, 2, 1-8. doi: 10.4236/oalib.1101409.

TÉLLEZ JUÁREZ MC, RODRÍGUEZ GATTORNO G, REGUERA RUIZ E, Síntesis de nanoestructuras de Óxido de cobre I y II. III Simposio de Tecnología Avanzada (2009). México, D.F., 17 al 24 de junio de 2009.

SUNITA JADHAV, SURESH GAIKWAD, MADHAV NIMSE, ANJALI RAJBHOJ, Copper Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Their Antibacterial Activity. *Journal of Cluster Science*. 2011; 22 (2): 121-129.

MAQUSOOD AHAMED, HISHAM A. ALHADLAQ, M. A. MAJEED KHAN, PONMURUGAN KARUPPIAH, AND NAIF A. AL-DHABI, Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Activity of Copper Oxide Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*. 2014.

YI-HUANG HSUEH, PING-HAN TSAI AND KUEN-SONG LIN, pH-Dependent Antimicrobial Properties of Copper Oxide Nanoparticles in *Staphylococcus aureus*. *Int J Mol Sci*. 2017;18(4). pii: E793.

LALIT YADAV, RAVI MANI TRIPATHI, RAM PRASAD, RAMESH NAMDEO PUDAKE, JAGJIWAN MITTAL. Antibacterial Activity of Cu Nanoparticles against *E. coli*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Nano Biomedic. Eng*. 2017; 9(1): 9-14.

CHENG LING S, YUAN FANG L, WENJING QI, CHENG ZHI W. Investigations of the interaction between cuprous oxide nanoparticles and *Staphylococcus aureus*. *Science in China Series B: Chemistry*. 2009; 52(7): 1028-1032.

AHMED M. A, MAHMOUD M. H, ASHRAF M. ES AND MARWA R. H. Antibacterial activity of cupric oxide nanoparticles against pathogenic bacteria. *Journal of Basic and Environmental Sciences*. 2016; 3:90-93.

BUI DUY DU, DANG VAN PHU, LE ANHQUOC, AND NGUYEN QUOCHIEN. Synthesis and Investigation of Antimicrobial Activity of Cu₂O Nanoparticles/Zeolite. *Journal of Nanoparticles*. 2017.

GRANATA G, YAMAOKA T, PAGNANELLI F Y FUWA A. Study of the synthesis of copper nanoparticles: the role of capping and kinetic towards control of particle size and stability. *Journal of Nanoparticles Research*. 2016; 18: 133.

CAPÍTULO 10

ACEITE DE LA SEMILLA DE AGUACATE, UNA REVISIÓN DESDE SUS POTENCIALIDADES¹

Data de submissão: 30/09/2021

Data de aceite: 15/07/2021

Lina González Asías

Universidad de Córdoba
Estudiante Carrera de Química
Semillero de Investigación en
Fisicoquímica Orgánica
Montería – Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-9551-6795>

Amelia Espitia Arrieta

Universidad de Córdoba
Magíster en Ciencias Químicas, Químico
Docente e Investigadora del Grupo
Fisicoquímica Orgánica
Montería - Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-3397-6662>

Jennifer Lafont Mendoza

Universidad de Córdoba
Doctora en Ciencias Mención Gerencia
Magíster en Ciencias Química
Docente Titular de Tiempo Completo
Investigadora Asociada y
Directora Grupo de
Fisicoquímica Orgánica
Montería – Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-8862-2442>

RESUMEN: El propósito de esta investigación fue analizar las potencialidades del aceite de la semilla del aguacate para su aprovechamiento. Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo con diseño documental fundamentada en autores como Almanza, Navarro & Ruiz, 2019; Cid *et al.*, 2021; Coello & Saltos, 2020; Da silva & Deschamps, 2020; Del Castillo *et al.*, 2021; Higuera, Zuluaga & Rodríguez, 2021; Martínez & Santana, 2019; Villarreal *et al.*, 2019; Zabala, 2020; empleando diferentes bases de datos como Sciencedirect, Scielo, Scopus, Redalyc, Google Academic, entre otras. Se encontraron diversos metabolitos secundarios que le otorgan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, cardiovasculares, metabólicas, por lo que se considera que podría ser utilizada en la fabricación de medicamentos, alimentos y cosméticos, principalmente. Acorde con estos resultados, el aceite de la semilla de aguacate es una excelente materia prima y alternativa ecológica para diversas industrias.

PALABRAS CLAVE: Aguacate. Semillas. Aceite. Potencialidades.

AVOCADO SEED OIL, A REVIEW FROM ITS POTENTIALITIES

ABSTRACT: The purpose of this research was to analyze the potentialities of the avocado seed oil for its use. This research had a qualitative, descriptive approach with documentary design based on authors such as Almanza, Navarro & Ruiz, 2019; Cid *et*

¹ Los autores expresan que no tienen conflicto de intereses.

al., 2021; Coello & Saltos, 2020; Da silva & Deschamps, 2020; Del Castillo *et al.*, 2021; Higuera, Zuluaga & Rodríguez, 2021; Martínez & Santana, 2019; Villarreal *et al.*, 2019; Zabala, 2020; using various databases such as Sciencedirect, Scielo, Scopus, Redalyc, Google Academic among other. Various secondary metabolites were found that give it antioxidant, anti-inflammatory, cardiovascular, and metabolic properties, which is why it is considered that it could be used in the manufacture of medicines, food and cosmetics, mainly. According to these results, avocado seed oil is an excellent raw material and ecological alternative for various industries.

KEYWORDS: Avocado. Seeds. Oil. Potentialities.

1 INTRODUCCIÓN

El aguacate es un fruto ampliamente consumido y comercializado a nivel mundial, conocido desde la antigüedad como un excelente alimento por el gran contenido nutricional de la pulpa, aprovechándose en industria alimenticia, así mismo su composición química y actividades biológicas le permiten su aplicabilidad en las industrias farmacológica (Mohammed *et al.*, 2021) y cosmética (Vivero, 2019).

Generalmente se utiliza la pulpa de la fruta, desperdiciándose la semilla y el exocarpio, los cuales son considerados residuos agroindustriales, que al no tener una disposición final como lo dispone el Plan Integral de Residuos Sólidos, afectan gravemente la dinámica de los ecosistemas y la estabilidad del planeta en general (Rincón, 2020; Del Castillo *et al.*, 2021).

La semilla de aguacate es un importante recurso nutricional al ser fuente de proteínas, fibra, carbohidratos y poseer ciertos metabolitos secundarios que le otorgan propiedades y funciones particulares como la inhibición de la oxidación lipídica y proteica, actividad insecticida, hipocolesterolemica, antidiabética, antihipertensiva, (Viteri *et al.*, 2017; Cid *et al.*, 2021), antimicrobiana (Villarreal *et al.*, 2019) y en la extracción de colorantes naturales con diferentes tonalidades; todas estas propiedades la hacen atractiva para su uso en diversas industrias farmacéuticas, alimenticias, textiles (Almanza, Navarro & Ruiz, 2019), aceiteras (Hennessey, 2017) entre otras, permitiéndole generar un valor agregado partiendo de un producto de desecho.

El aceite de semilla de aguacate ha sido objeto de estudio recientemente (Jia-Shui *et al.*, 2019), debido a la necesidad de encontrar nuevas fuentes de materia prima para la producción de aceites y otros compuestos con potencialidades en la salud humana, cuyo aprovechamiento contribuye al cuidado del medio ambiente. Este aceite ha demostrado contener metabolitos de tipo polifenoles, fitoesteroles, ácidos grasos esenciales, entre otros (Krumreich *et al.*, 2018), que pueden llegar a ser beneficiosos para la salud, por lo

que este estudio de tipo descriptivo pretende analizar las potencialidades de dicho aceite y motivar la investigación del mismo.

2 METODOLOGÍA

Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, con diseño documental, realizada mediante la revisión exhaustiva en diversas bases de datos como Sciencedirect, Scielo, Scopus, Redalyc, Google Academic, entre otras, en las cuales se hizo la búsqueda de diversos estudios científicos relacionados con las potencialidades del aceite de la semilla del aguacate para su aprovechamiento; la información científica encontrada fue organizada por secciones, donde se identificaron y analizaron los compuestos activos que dieron origen a diversas utilidades de la semilla de aguacate, como la composición química de su aceite, del cual se deriva su potencial nutricional, alimenticio, farmacológico, cosmético y de colorante, principalmente.

3 RESULTADOS

El árbol *Persea americana*, conocido popularmente como aguacate es una especie cuyo origen es de México y América Central, pertenece al género *Persea*, familia Lauraceae y orden Laurales, tiene cerca de cincuenta géneros y tres mil especies (Rosero, 2017). Este árbol puede alcanzar alturas de hasta veinte metros, no obstante, al ser cultivado en plantaciones comerciales solo le permiten crecer hasta cinco metros aproximadamente para realizar controles fitosanitarios, corte, cosecha y fertilización foliar (Pérez, Ávila & Coto, 2015).

El aguacate es conocido a nivel mundial por su contenido nutricional, rico en lípidos, proteínas, carbohidratos, fibra, ácidos grasos, principalmente monoinsaturados, de ahí su papel fundamental en la alimentación (Salazar *et al.*, 2020). También contiene diferentes nutrientes como Vitamina C (ácido ascórbico), Tiamina (B1), Niacina (B3), Vitamina E (a-tocoferol), Piridoxina (B6) y minerales como Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Fósforo (P), entre otros (Hurtado, Fernández & Carrasco, 2018). La pulpa del fruto del aguacate es ampliamente utilizada para la extracción de aceite, fabricación de productos alimenticios, cosméticos y farmacológicos (Rodríguez & Henao, 2016; Segovia, Corral & Almajano, 2016), desaprovechándose la semilla, la cual recientemente está siendo investigada.

La semilla del aguacate tiene un tamaño hasta de 6.5 cm, es dura y representa gran proporción del peso del fruto, encargada de almacenar agua y solutos importantes para su desarrollo; es poco utilizada convirtiéndose en un problema ambiental por el

mal manejo de los residuos sólidos generados en la industria aguacatera (Salas, 2015) y según diversos estudios, es fuente de fibra, carbohidratos y proteína (Viteri *et al.*, 2017), posee alto contenido de acetogeninas otorgándole la inhibición de bacterias Gram positivas formadoras de esporas como la *Clostridium sporogenes* (Villarreal *et al.*, 2019) además, de su semilla puede extraerse un magnífico colorante en diferentes matices (Hennessey, 2017).

Así mismo, se han creado bolsas biodegradables a partir del almidón obtenido de la semilla del aguacate impulsando la industria de los bioplásticos que, ante la situación del calentamiento global y deterioro de la capa de ozono, es esencial (Higuera, Zuluaga & Rodríguez, 2021).

3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE AGUACATE

El aceite de la semilla de aguacate posee diversos metabolitos secundarios que le otorga ciertas propiedades, por lo que podría implementarse en la industria farmacéutica (Fitriani, Setiati & Herawati, 2017; Ibarra *et al.*, 2015 Cid *et al.*, 2021), alimenticia y cosmética (Segovia, Corral & Almajano, 2016), creando productos que satisfagan diversas necesidades. Teniendo en cuenta esto, se clasifican dichos metabolitos de acuerdo a la actividad, acción y beneficio que brindan en el cuerpo humano (Reyes & Oyola, 2020; Coll, 2018).

3.2 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes son moléculas que estabilizan radicales libres cediendo electrones, para prevenir y/o retardar la oxidación de otras moléculas que afectan gravemente la salud del cuerpo, dicha acción es conocida como actividad antioxidante (Krumreich *et al.*, 2018); la cual es estrictamente necesaria para la conservación de las células y el bienestar del organismo, previniendo el envejecimiento prematuro y diversas enfermedades degenerativas causadas por el estrés oxidativo (Coello & Saltos, 2020). Por su parte, el cuerpo mediante procesos enzimáticos (endógenos) y no enzimáticos (exógenos) se protege de los radicales libres, adquiriendo mediante la alimentación, este tipo de compuestos (Coronado *et al.*, 2015).

Los antioxidantes, se clasifican en: endógenos como el Glutation Coenzima Q, Ácido tióctico, Superóxido dismutasa (SOD), Glutación peroxidasa (GPX), Catalasa (CAT), cobre, manganeso, zinc, hierro, Selenio, entre otros y exógenos como la Vitamina E (VE), Vitamina C (VC), Flavonoides, Betacaroteno (BC) y licopeno (Pokorny & Yanishlieva, 2015).

Actualmente, se ha despertado gran interés por estos antioxidantes, causando su inclusión en la elaboración de productos por la protección que brinda en las reacciones

del metabolismo (Rueda, 2010), evitando múltiples patologías como enfermedades neurodegenerativas y del sistema inmunológico, cáncer, insuficiencia hepática y hepatopatía alcohólica, artritis e inflamación, enfisema pulmonar, ataxia, telangectasia, disqueratosis congénita, distrofia muscular y envejecimiento prematuro (Matiz, Fuentes & León, 2015).

Dentro de los compuestos que presentan actividad antioxidante y que han sido identificados en extractos acuosos y etanólicos de la semilla de aguacate se encuentran los compuestos fenólicos, flavonoides, carotenos, antocianinas, ácido ascórbico, entre otros (Coello & Saltos, 2020; Triguero, 2018).

La actividad antioxidante del aceite de la semilla de aguacate analizada en diferentes investigaciones, cambia de acuerdo con las variedades, es así como Rengifo y colaboradores (2015), registraron actividad antioxidante media del aceite de la semilla de aguacate de la variedad Hass, cuantificada utilizando el método radical DPPH; por otra parte, Zabala (2020) encontró alta actividad antioxidante valorando el aceite de la semilla de aguacate nativo mexicano de la variedad *Drymifolia*, por el mismo método, demostrando que existen factores que afectan esta actividad, como la variedad y el estado fisiológico del fruto, por ello se sugiere ampliar estos estudios para optimizar la capacidad antioxidante en cada variedad.

3.3 ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

La actividad antiinflamatoria se refiere a la capacidad que tiene un compuesto de ejercer acción inhibitoria sobre la biosíntesis de los agentes mediadores de la inflamación (histamina, serotonina, prostaglandinas, leucotrienos, ERO, citoquinas, etc.) (León *et al.*, 2015); los cuales, son sustancias involucradas en el establecimiento y mantenimiento del proceso inflamatorio, por lo que siendo inhibidas se logra conseguir un efecto de reducción e incluso prevención de la inflamación en los tejidos (Lauritano *et al.*, 2020).

A lo largo de los años, se ha recurrido al tratamiento terapéutico con plantas medicinales para tratar la inflamación y el dolor, se ha demostrado que las plantas utilizadas que tienen gran efecto, poseen altas concentraciones de flavonoides y fenoles, que actúan en la inhibición de la enzima responsable de la inflamación en la síntesis de prostaglandinas, la prostaglandina sintetasa PTGS1 (Yumisaca, 2018; Zabala, 2020; Secco, *et al.*, 2020).

La propiedad antiinflamatoria del aceite de semilla de aguacate fue analizada en un estudio por Zabala (2020), utilizando el método de edema de pata en ratas Wistar inducido por carragenina, administrando de manera oral y tópica una dosis de 0.1 y 10 mg/kg por 28 días; demostrándose que dicho aceite tuvo un efecto antiinflamatorio

de 70.85% por 8 horas, siendo este resultado 1.8 veces mayor al obtenido empleando ibuprofeno (25mg/kg). Lo que permite inferir que podría ser un buen candidato a emplear en la industria farmacéutica como alternativa a los antiinflamatorios sintéticos.

3.4 ACTIVIDAD CARDIOVASCULAR

La actividad o acción cardiovascular de un compuesto hace referencia a la capacidad que este tiene para realizar un efecto a nivel cardiaco y/o vascular (Zhao *et al.*, 2021); estos efectos pueden ser diversos e influirán en la clasificación de dicho compuesto, ya sea para regular aspectos relacionados directamente con el corazón como: el ritmo cardíaco, su potencial de contractilidad y la frecuencia de contracción, o aspectos relacionados con los vasos sanguíneos, como favorecer la relajación de venas y arterias (vasorelajación) o contrariamente limitarla (vasoconstricción) con su consecuente efecto sobre la presión.

También, pueden relacionarse con la sangre y su contenido, como ocurre en la disminución del contenido lipídico, en esta la inhibición de la acción plaquetaria y de la formación de fibrina (anticoagulante) o directamente sobre la proporción de líquidos del cuerpo, como el control de la producción de orina, la retención hídrica y la excreción de electrolitos (Acuña *et al.*, 2019; Bryce, Alegría & San Martín, 2017).

Existen diversos metabolitos secundarios que intervienen favorablemente en la actividad cardiovascular, como los fitoesteroles y los ácidos grasos esenciales, los cuales son encontrados en la naturaleza y depositados en el cuerpo mediante la dieta alimenticia (Romero & Vázquez, 2012). Los fitoesteroles son compuestos lipídicos que constituyen estructuralmente la membrana de las células vegetales, pertenecen a la familia de los triterpenos y presentan una estructura química semejante a la del colesterol (García *et al.*, 2017).

Debido a la abundancia de fitoesteroles en las plantas, su estudio es cada día más frecuente, por lo que les se han definido diferentes propiedades protectoras a la salud disminuyendo los niveles de colesterol en la sangre; ejerciendo diversos efectos benéficos para el organismo, entre ellos sus propiedades antiinflamatorias y antitumorales (Martínez & Santana, 2019).

Los fitoesteroles favorecen la disminución del colesterol en sangre (Coll, 2018); disminuyendo el riesgo de la hipercolesterolemia que es un importante factor de riesgo cardiovascular y la cardiopatía isquémica por arteriosclerosis enfermedades que cobran miles de vidas cada año. Los fitoesteroles han evidenciado grandes efectos sobre algunos tipos comunes de cáncer logrando disminuir su progresión; también se ha comprobado su

capacidad de estimular el sistema inmune, induciendo a la proliferación de las células Th1 y la secreción de citosinas, siendo benéfico en pacientes con VIH (Cekici, 2019; Coll, 2018).

Según Martínez y Santana (2019), el aceite de semilla de aguacate contiene abundantes fitoesteroles, identificándose los compuestos estigmasterol y el β -sitoesterol, cuyas concentraciones reportadas fueron 7.3 mg/kg y 158.87 mg/kg respectivamente; de igual manera, Barrera & Arrubla (2017), encontraron ergosterol y 5 α -colestano, fitoesteroles que cumplen un importante rol en la actividad cardiovascular.

El estigmasterol como precursor de la vitamina D3 (colecalfiferol), se encarga del fortalecimiento de los huesos por medio del metabolismo del calcio y se encuentra asociado a la prevención del cáncer de próstata, mama, colon, etc. Del mismo modo, el β -sitoesterol es utilizado en el tratamiento de hiperplasia benigna de la próstata (HBP) y como agente antiinflamatorio. El ergosterol como precursor de la vitamina D2 reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares al igual que el 5 α -colestano, precursor de varios esteroides poco común en la naturaleza (Artica *et al.*, 2021; Landa, 2016).

Por otra parte, Rengifo y colaboradores (2015), encontraron grandes concentraciones de ácidos grasos esenciales en el aceite de semilla de aguacate, destacándose el ácido linoléico (LA) (ácido graso poliinsaturado omega-6) y el ácido α -linolénico (ALA) (ácido graso poliinsaturado omega-3), precursores de importantes metabolitos; estos son sumamente importantes por los beneficios que aportan a la salud y porque no pueden ser sintetizados por el organismo, sino que deben ser adquiridos mediante la ingesta de alimentos.

Los ácidos grasos poliinsaturados realizan diversas funciones en el organismo como proteger las membranas celulares, regular procesos de inflamación y coagulación, ayudan al desarrollo neurológico en la etapa embrionaria, entre otras; (Sanhueza, Durán & Torres, 2015) las cuales se explican a continuación.

Las células que conforman los distintos tejidos se encuentran cubiertas por una membrana que funciona como barrera y como lugar de paso de nutrientes hacia el interior celular y desechos hacia el exterior, estas membranas están compuestas principalmente por ácidos grasos poliinsaturados como el ácido docosahexaenoico (DHA) (Omega-3) y el ácido gamma-linolénico (GLA) (omega-6), son los que estructuralmente, se incorporan a las membranas y mantienen su integridad (González & Visentin, 2016).

Otra de sus funciones es la regulación de procesos como la inflamación y la coagulación, para ello los ácidos eicosapentaenoico (EPA), araquidónico (AA) y gamma-linolénico (GLA) tienen un importante papel en la síntesis de las prostaglandinas. La serie omega-3 es indispensable en la regulación de la funcionalidad cerebral (González & Visentin, 2016).

3.5 EFECTO SOBRE EL DESARROLLO NEUROLÓGICO EN ETAPA EMBRIONARIA

Los ácidos grasos presentes en el aceite de semilla de aguacate como los ácidos linoléico (LA) y α -linolénico (ALA) como precursores del ácido araquidónico (ARA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) respectivamente, desempeñan un rol vital en el óptimo desarrollo del cerebro, algunos estudios han evidenciado que ARA y DHA, están estrictamente relacionados con la agudeza visual durante la gestación y los primeros años de vida; también, favorece el buen funcionamiento del sistema inmunológico en cada etapa de crecimiento, facilita la neurotransmisión y protege ante el estrés oxidativo (González & Visentin, 2016).

3.6 ACTIVIDAD METABÓLICA

El aceite de semilla de aguacate contiene compuestos benéficos para la salud, muy importantes en los procesos metabólicos del organismo; la variedad de lípidos que posee genera y almacenan energía, intervienen en la estructura de los sistemas nervioso y circulatorio, cumplen funciones reguladoras, transportadoras y térmicas, que permiten el buen funcionamiento del cuerpo (González & Visentin, 2016).

3.7 APLICACIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE AGUACATE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA Y COSMÉTICA

La industria alimenticia es primordial para el sostenimiento de los seres vivos, encargada de procesar, crear y producir productos para satisfacer la necesidad básica de comer; tiene la responsabilidad de la seguridad alimenticia de las poblaciones, por lo que actualmente se ha recurrido a la biotecnología para aumentar la calidad y variabilidad de alimentos, creando cierta contrariedad, porque estos son menos naturales y su ingesta podrían causar efectos secundarios en el organismo a largo plazo (Ramírez, 2020).

En este sentido, se proponen nuevas materias primas poco estudiadas, obtenidas mediante el aprovechamiento de desechos como el aceite de semilla de aguacate, viable para la industria, ya que contiene ergosterol y 5 α -colestano (Barrera & Arrubla, 2017), estigmasterol y β -sitosterol (Martínez & Santana, 2019), ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y ácido α -linolénico (Rengifo et al., 2015), compuestos polifenólicos (Zabala, 2020) que tienen acciones favorables y fundamentales en el funcionamiento del cuerpo humano.

En cuanto al uso cosmético del aceite de la semilla de aguacate, es muy importante por su alta composición en ácidos grasos benéficos para la piel y pueden actuar ya sea internamente por vía oral o externa en forma tópica (Da Silva & Deschamps, 2020). El

mercado de los cosméticos es ampliamente demandado, por la necesidad del cuidado de la piel, por ello la fabricación, de productos incluye desde la aclaración, hidratación, tonificación y regeneración de la piel hasta la diversidad de maquillajes.

4 CONCLUSIONES

La composición química del aceite de la semilla del aguacate, destaca la presencia de ácidos grasos esenciales y antioxidantes, los cuales son de gran interés en la industria alimenticia y cosmética, brindando beneficios como agente hidratante, tónico y regenerativo de la piel; así mismo los metabolitos secundarios como fitoesteroles y ácidos grasos le otorgan ciertas actividades biológicas como antioxidantes, antiinflamatorias, cardiovasculares, mejoran el desarrollo neurológico en la etapa embrionaria, entre otras, por lo que podría implementarse en la industria farmacéutica.

La semilla del aguacate puede ser ampliamente utilizada por ser fuente de fibra, carbohidratos y proteína, también contiene acetogeninas que inhiben las bacterias Gram positivas, la oxidación lipídica y proteica, presenta actividades hipocolesterolémica, antidiabética, antihipertensiva e insecticida, también de las semillas puede extraerse colorantes naturales, todas estas propiedades la hacen atractiva para su aplicabilidad potencial en diversas industrias farmacéuticas, alimenticias, textiles, entre otras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, M., Zamorano, C., Sanhueza, M., Torres, R., Toro, L., Valencia, M., Valenzuela, T., & Valenzuela, A. (2019). Terapia Estrogénica y Prevención Cardiovascular Primaria. *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, 84(6), 514-524. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75262019000600514>

Almanza, K., Navarro, M., Ruiz, J. (2019). Extracción de colorante en polvo a partir de la semilla de aguacate en variedades Hass y Fuerte. @LIMENTECH Ciencia y Tecnología Alimentaria, 17(1), 5 – 14. http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/3876/2156

Artica, M., Baquerizo, L., Canchumanya, M., Rosales, P., Rodríguez, H., Paucar, G. (2021). Ácidos grasos, tocoferoles y fitoesteroles en aceites de semillas de granadilla y zapallo extraído con CO2 supercrítico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 3-13. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.317>

Bryce, A., Alegría, E., San Martin, M., (2017). Obesidad y riesgo de enfermedad cardiovascular. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(2), 202-206. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v78i2.13218>

Cekici, H. (2019). El efecto de los esteroides / estanoles herbales en el proceso aterosclerótico y las enfermedades cardiovasculares. *Sakarya Medical Journal*, 9 (2), 218-229. <https://doi.org/10.31832/smj.527116>

Cid, T., Hernández, P., Ochoa, C., Ruiz, I., Nevárez, G., Ávila, R. (2021). Avocado seeds (Persea americana cv. Criollo sp.): Lipophilic compounds profile and biological activities, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3384-3390. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.087>

Coello, R., Saltos M. (2020). Evaluación de la actividad antioxidante de la semilla de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass a través del método DPPH. Tesis. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50972>

Coll Márquez, M. (2018). ¿Qué efectos tiene el consumo regular de fitoesteroles sobre la salud de un adulto humano? URI: <http://hdl.handle.net/11201/4153>

Coronado, M., Vega, S., Gutiérrez L., Vázquez M., Radilla C. (2015). Antioxidants: present perspective for the human health. *Revista Chilena de nutrición*, 42(2) <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>

Da Silva, V., Deschamps, G. (2020). Chapter 37 - Cold pressed avocado (*Persea americana* Mill.) oil, Editor(s): Mohamed Fawzy Ramadan, Cold Pressed Oils, Academic Press, 405-428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00037-2>

Del Castillo, A., Del Río, P., Pérez, A., Yáñez, R., Garrote, G., Gullón, B. (2021). Recent advances to recover value-added compounds from avocado by-products following a biorefinery approach, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 28, 100433. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100433>

Fitriani, A., Setiati A., Suparto, I. (2017). Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7 (5), 397-400. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.01.010>

García, A., Velasco, J., Velasco, L., & Ruiz, V. (2018). An Analytical Simplification for Faster Determination of Fatty Acid Composition and Phytosterols in Seed Oils [en línea]. En: *Food Analytical Methods*, 11, 1234-1242. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1111-z>

González, H., & Visentin, S. (2016). Nutrientes y neurodesarrollo, lípidos, actualización. Revisión. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 114(5). <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/10160>

Hennessey, L. (2017). Aprovechamiento de la semilla de aguacate variedad lorena como un colorante natural y del aceite de mesocarpios residuales de la variedad Hass como componentes funcionales en un jabón líquido. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3150>

Higuera, C. A., Zuluaga, K. J. & Rodríguez, N. (2021). Bioplásticos a partir de la semilla de aguacate. Universidad EAN. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/10904>

Hurtado, E., Fernández, A. & Carrasco, A. (2018). Avocado fruit – *Persea americana*. [en línea] En: Rodrigues, Sueli, De Oliveira Silva, Ebenezer y Sousa De Brito, Edy. *Exotic Fruits Reference Guide*. Londres: Academic Press, p. 41. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00001-0> ISBN: 978-0-12-803138-4

Ibarra, E., Méndez, A., Pérez, C. et al. (2015). Deep sequencing of the Mexican avocado transcriptome, an ancient angiosperm with a high content of fatty acids. *BMC Genomics*, 16, 599. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1775-y>

Jia-Shui, W., An-Bang, W., Xiao-Ping, Z., Lin, T., Bi-Yu, X., Hai-Hong, Chen., Zhi-Qiang, Jin., Wei-Hong, M. (2019). Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products, *Food Chemistry*, 288, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.098>

Krumreich, F., Borges, C., Rosane, C., Jansen, C., Alves, J., Rui C. (2018) Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes, *Food Chemistry*, 257, 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>

- Landa, G. (2016). Optimización y determinación de escualeno por CG-MS en diferentes muestras biológicas. Trabajo Final de Grado de Biotecnología. <https://core.ac.uk/download/pdf/289986584.pdf>
- Lauritano, C.; Helland, K.; Riccio, G.; Andersen, J.H.; Ianora, A. & Hansen, E.H. (2020). Lysophosphatidylcholines and Chlorophyll-Derived Molecules from the Diatom *Cylindrotheca closterium* with Anti-Inflammatory Activity. *Mar. Drugs*, 18, 166. <https://doi.org/10.3390/md18030166>
- León, M., Alvarado, A., De Armas, J., Miranda, L., Varens, J., Cuesta, J. (2015) Respuesta inflamatoria aguda. Consideraciones bioquímicas y celulares. *Revista Finlay*, 5(1), 47-62. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24342015000100006&lng=es&tlng=es
- Martínez, A., Santana, A. (2019). Evaluación de un proceso para la obtención de fitoesteroles partiendo de la semilla del aguacate (*Persea americana* Mill. Var Hass) a escala laboratorio (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7709>
- Matiz, G, Fuentes, K., León G. (2015). Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 44 (2): 189 - 207. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v44n2.56293>
- Mohammed, S. A., Nurhan, U., Mehmet, M. Ö., Ahmad, M. S., Isam, A., Mohamed A., Khizar, H. (2021). Effect of drying process on oil, phenolic composition and antioxidant activity of avocado (cv. Hass) fruits harvested at two different maturity stages, *LWT*, 148, m111716. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111716>
- Pérez, Ávila & Coto. (2015). Revisión bibliográfica EL AGUACATERO (*Persea americana* Mill). *Cultivos Tropicales*, 36 (2), 111-123. https://www.researchgate.net/publication/303486664_Revisión_bibliografica_EL_AGUACATERO_Persea_americana_Mill
- Pokorny, J., & Yanishlieva, N. (2015). *Antioxidants in Food. Practical Applications*. Woodhead Publishing Ltda.
- Ramírez-Gil, F. (2020). Educación en bioética y alimentos genéticamente modificados. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/4053>
- Rengifo, G. P., Carhuapoma, M., Artica, L., Castro J., López, S. (2015). Characterization and antioxidant activity of seed oil avocado *Persea americana* Mill. *Ciencia e Investigación*; 18(1): 33-36 Facultad de Farmacia y Bioquímica UNMSM. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/issue/view/1257>
- Reyes, S., Oyola, M. (2020). Programa educativo nutricional en estudiantes universitarios. *RICS Revista Iberoamericana De Las Ciencias De La Salud*, 9 (17), 55 - 75. <https://doi.org/10.23913/rics.v9i17.85>
- Rincón, J. S. (2020). Diagnóstico y planificación del plan de gestión integrado de residuos sólidos, acorde con la norma NTC ISO 14001:2015 en la empresa PAC S.A.S Fundación Universidad de América. Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7847>
- Rodríguez, P., & Henao, J. (2016). Maduración del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) y calidad de los frutos. *Agronomía Colombiana Suplemento*, 1, S914-S917. https://www.researchgate.net/publication/313820125_Avocado_ripening_Persea_americana_Mill_cv_Hass_and_fruit_quality
- Romero, J., Vásquez, E. (2012). Fitoesteroles y Fitoesteranos: eficaces para disminución de lípidos plasmáticos, *Revista CES Salud Pública*, 3 (2), 165-173. <https://doi.org/10.21615/2313>

Rosero-Rosero, J. C. (2017). Extracción y caracterización de los principios activos fenólicos con actividad antioxidante a partir de residuos de aguacate: Epicarpio y semilla (*Persea americana*). [PDF]. Tesis para optar por el título de químico. Universidad de Nariño. <http://sired.udenar.edu.co/3884/1/TESIS%20FINAL%20I%20%20REVISI%C3%93N%20FACULTAD%20I.pdf>

Rueda, C. (2010). Antioxidantes naturales: Cómo reducir el riesgo de cáncer, Alzheimer y enfermedades cardiovasculares. 1era ed. Madrid: Ediciones Nowtilus S.L.

Salas, L. (2015). Aguacate símbolo de juventud, belleza y salud. ProHass, Michoacán. Marketing y comercial marketing and commercial stream. VIII Congreso Mundial de la Palta.

Salazar, N., Domínguez, A., Elhadi, Y., Belmonte B., Wall, A., Montalvo, E., González, G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds, *Food Research International*, 138, Part A, 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>

Sanhueza, J., Durán, S., Torres, J. (2015). Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud, *Nutrición Hospitalaria*, 32(3), 1362-1375. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9276>

Secco, A; Alfie, V; Espinola, N. & Bardach, A. (2020). Epidemiología, uso de recursos y costos de la artritis reumatoidea en Argentina. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 37(3), 532-540. <http://dx.doi.org/10.17843/rpmpesp.2020.373.4766>

Segovia, F., Corral, J., Almajano, M. (2016). Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds, *Industrial Crops and Products*, 85, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.005>

Triguero Ruiz, S. (2018). Caracterización bromatológica de la semilla de aguacate (*Persea americana*) y extracción e identificación de la fracción con mayor actividad antimicrobiana y antioxidante. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Químico de Alimentos. Carrera de Química de Alimentos. Quito: UCE. 121 p.

Villarreal, R., Rodríguez, D., Díaz, R., García, M., Castillo, A., Pacheco, A., & Hernández, C. (2019). Purified avocado seed acetogenins: Antimicrobial spectrum and complete inhibition of *Listeria monocytogenes* in a refrigerated food matrix, *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 228-239. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1575908>

Viteri, J., Salazar, R., Medina, S., Viteri, C. (2017). Uniandes episteme: *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(3).

Vivero, S. A., Valenzuela, B. R., Valenzuela, B. Alfonso, & Morales, G. (2019). Palta: Compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista Chilena de nutrición*, 46(4), 491-498.

Yumisaca Hidalgo, Y. (2018). Determinación de la actividad antiinflamatoria de los flavonoides del extracto de la hoja de yuca (*Manihot esculenta*). Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Químico Farmacéutico. Carrera de Química Farmacéutica. Quito: UCE. 156 p.

Zavala, B. (2020). Determinación del efecto antioxidante, antiinflamatorio y antiartrítico del aceite de semilla de aguacate mexicano (*Persea americana* var. *drymifolia*). URL: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2839

Zhao, D., Zhuo, J., Chen, Z., Wu, J., Ma, R., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, X., Wei, X., Liu, Li., Pan, C., Wang, J., Yang, J., Yi, F., Yang, G. (2021). Eco-friendly in-situ gap generation of no-spacer triboelectric nanogenerator for monitoring cardiovascular activities, *Nano Energy*. 106580 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106580>

CAPÍTULO 11

ESTUDIOS QUÍMICOS REALIZADOS A LA SEMILLA DE *Moringa oleifera* Lam Y SU IMPACTO EN LA SALUD HUMANA: UNA REVISIÓN TEÓRICA¹

Data de submissão: 20/10/2021

Data de aceite: 30/10/2021

Jennifer Lafont Mendoza

Universidad de Córdoba
Doctora en Ciencias Mención Gerencia
Magíster en Ciencias Química
Docente Titular de Tiempo Completo
Investigadora Asociada y
Directora Grupo de
Fisicoquímica Orgánica
Montería – Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-8862-2442>

William Negrete Humanez

Universidad de Córdoba
Estudiante Carrera de Química
Semillero de Investigación en
Fisicoquímica Orgánica
Montería – Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-6624-329X>

Amelia Espitia Arrieta

Universidad de Córdoba
Magíster en Ciencias Químicas
Químico
Docente e Investigadora del
Grupo Fisicoquímica Orgánica
Montería - Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-3397-6662>

RESUMEN: El propósito de esta investigación fue indagar los estudios químicos realizados a la semilla de *Moringa oleifera* Lam analizando su impacto en la salud humana. Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo con diseño documental fundamentada en autores como Giuberti *et al.*, (2021); Alí *et al.*, (2021); Kapse & Samadder, (2021); Batista *et al.*, (2021); Gharsallah *et al.*, (2021); Ogusku *et al.*, (2021); Xiong *et al.*, (2021); Kwabena *et al.*, (2020); Gu, Yang & Wang, (2020); Mosquera, Criado & Guerra (2019). Se encontró que las semillas de *Moringa* poseen actividades biológicas como antipirética, antituberculosa, antitumoral, hepatoprotector, controla enfermedades del sistema genitourinario, entre otras. Las semillas también contienen alto porcentaje de proteínas, grasa, fibra, minerales como calcio, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, sodio, zinc, vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, C, aminoácidos y fenoles, estas moléculas le confieren gran importancia para el buen funcionamiento del organismo. El aceite de *moringa* es rico en ácidos grasos insaturados resaltando el oleico (ω -9) con un 65%, además contiene polifenoles y tocoferoles con excelente capacidad antioxidante, incrementa las defensas, pero es hipoglucemiante. Acorde a estos resultados se concluye que la semilla y el aceite de *Moringa* poseen alto valor nutricional, alimenticio y farmacológico que beneficia la salud humana, por lo que se recomienda su aprovechamiento en las industrias antes mencionadas.

¹ Los autores expresan que no tienen conflicto de intereses.

PALABRAS CLAVE: *Moringa oleifera* Lam. Semillas. Aceite. Composición proximal. Aplicaciones.

CHEMICAL STUDIES CARRIED OUT ON THE SEED OF *Moringa oleifera* Lam AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH: A THEORETICAL REVIEW

ABSTRACT: The purpose of this research was to investigate the chemical studies carried out on the *Moringa oleifera* Lam seed, analyzing its impact on human health. This research had a qualitative, descriptive approach with a documentary design based on authors such as Giuberti et al., (2021); Ali et al., (2021); Kapse & Samadder, (2021); Batista et al., (2021); Gharsallah et al., (2021); Ogusku et al., (2021); Xiong et al., (2021); Kwabena et al., (2020); Gu, Yang & Wang, (2020); Mosquera, Criado & Guerra (2019). *Moringa* seeds were found to possess biological activities such as antipyretic, antituberculous, antitumor, hepatoprotective, controls diseases of the genitourinary system, among others. The seeds also contain a high percentage of protein, fat, fiber, minerals such as calcium, iron, magnesium, manganese, phosphorus, potassium, sodium, zinc, vitamins A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, C, amino acids and phenols, these molecules confer great importance for the proper functioning of the body. *Moringa* oil is rich in unsaturated fatty acids highlighting oleic (ω -9) with 65%, it also contains polyphenols and tocopherols with excellent antioxidant capacity, increases defenses, but is hypoglycemic. According to these results, it is concluded that the *Moringa* seed and oil have high nutritional, nutritional and pharmacological value that benefits human health, so its use in the aforementioned industries is recommended.

KEYWORDS: *Moringa oleifera* Lam. Seeds. Oil. Proximal composition. Applications.

1 INTRODUCCIÓN

El árbol de *Moringa oleifera* Lam pertenece a la familia Moringaceae, es nativo de las estribaciones meridionales del Himalaya y se ha expandido en diversas regiones como India, Asia, África, Sur de Florida, Islas del Caribe y América del Sur (Jaimes *et al.*, 2018).

Todo el árbol es ampliamente utilizado, el tallo se usa como carbón vegetal, la corteza fresca como antídoto contra la picadura de algunos insectos y el veneno de serpientes, también es diurético, antiescorbútico (Mora & Gacharná, 2015); analgésico, rubefaciente y hepatoprotector (Bonal, Rivera & Bolivar, 2012); las hojas y raíces son empleadas como fuente de alimento humano y animal (ovinos, aves, peces, cerdos) por su alto contenido nutricional y el bajo costo de la biomasa (Ogusku *et al.*, 2021; Pérez, *et al.*, 2013; Castro, 2013); las flores son usadas como alimento y para aumentar el flujo de leche materna (Mora & Gacharná, 2015). El fruto o vainas frescas son fuente de aminoácidos esenciales, con efecto positivo en la reducción del colesterol en sangre (Giuberti *et al.*, 2021).

Dentro del fruto de *Moringa oleífera* se encuentran las semillas, que se caracterizan por el alto contenido de ácidos grasos, proteínas, vitaminas, fibra, y compuestos fenólicos, alcaloides, glucosilatonos, los cuales le confieren actividad cicatrizante antimicrobiana, antioxidantes (Alí *et al.*, 2021; Xiong *et al.*, 2021; Kwabena *et al.*, 2020) y antiinflamatoria (Domínguez *et al.*, 2014).

De las semillas se extrae el aceite, cuyo rendimiento varía del 27 al 42% (Alnadif, Mirghani & Hussein, 2017). El aceite de *Moringa oleífera*, se puede utilizar para el consumo humano y para elaborar productos que mejoren la digestión, la hidratación de la piel, como suplemento nutricional y calórico para animales (Bonal, Rivera & Bolivar, 2012). La torta desgrasada residual de la extracción de aceites, es aprovechada para la elaboración de biocoagulantes (Kapse & Samadder, 2021; Batista *et al.*, 2021; Kwabena *et al.*, 2020).

Este trabajo pretende indagar los estudios químicos realizados a la semilla de *Moringa oleífera Lam* analizando su impacto en la salud humana, de aquí surge el siguiente interrogante: ¿cuál sería el uso más apropiado que se le puede atribuir a la semilla de *Moringa oleífera Lam* determinado a partir del impacto que ocasiona en la salud humana?

2 METODOLOGÍA

Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, con diseño documental, realizada mediante la revisión exhaustiva de diversas bases de datos como Sciencedirect, Scielo, Scopus, Redalyc, Google Academic, entre otras, en las cuales se hizo la búsqueda de diversas investigaciones relacionadas con los estudios químicos realizados a la semilla de *Moringa oleífera Lam*, su aceite, composición nutricional y su impacto en la salud humana.

3 RESULTADOS

La *Moringa oleífera Lam*, es una de las 13 especies del género *Moringa*; las cuales son: *oleífera*, *arbórea*, *concanensis*, *drocanensis*, *drouhardii*, *hildebrandtii*, *pygmaea*, *peregrina*, *ovalaifolia*, *rospoliana*, *stenopetala*, *rivae*, *borziana*, (Liñan, 2010), se identifica por el fruto en forma de vaina larga y leñosa, que al madurar se abre en tres valvas que contienen las semillas, las cuales tienen cáscara globular semipermeable de color marrón con diámetro aproximado de 1 cm (Adegbe *et al.*, 2016); el endospermo de la semilla representa entre el 70% y 75% del peso total de la semilla (Leone *et al.*, 2016).

El fruto de esta planta se utiliza como alimento principalmente, pero las semillas desempeñan un papel fundamental, ya que contienen cerca del 40% en peso de aceite,

cuyo componente principal es el ácido oleico (60-70)%, similar al aceite de oliva; debido a esta cantidad y composición química del aceite, se favorece la producción de biocombustibles, lubricantes, fabricación de jabón y cosméticos, principalmente (Villarreal & Ortega, 2014; Gharsallah *et al.*, 2021).

3.1 CONTENIDO NUTRICIONAL DEL FRUTO DE *Moringa oleífera* Lam

De acuerdo con estudios reportados por AFPD, (2008) el fruto con las semillas de *Moringa oleífera* Lam contiene alta cantidad de agua, también proteínas, grasa, carbohidratos, fibra, cenizas y minerales como calcio, fósforo, hierro, cobre, yodo, vitamina A, ácido ascórbico y niacina (Chelliah, Ramakrishnan & Antony, 2017). El contenido nutricional de cada 100g de la vaina con las semillas de *Moringa oleífera* Lam se reporta en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido nutricional del fruto con semillas.

Parámetro	Cantidad (g)
Agua	86.90
Proteínas	2.50
Proteína cruda	38.40
Grasa	0.10
Carbohidratos	8.50
Fibra	4.80
Ceniza	2.01
Calcio	30.00
Fosforo	110.00
Hierro	5.30
Cobre	310.00 ug
Yodo	1.80 ug
Vitamina A	184.00 UI
Ácido ascórbico (Vit B3)	120.00
Niacina	0.20

A las semillas de *Moringa oleífera* Lam se les realizó el análisis proximal, para determinar su contenido nutricional (Gharsallah *et al.*, 2021; Leone *et al.*, 2016; Adegbe, 2016), los resultados arrojaron alto contenido en grasa, proteínas, carbohidratos, cenizas (minerales) y fibra, mucho mayores a los encontrados en el fruto con semillas. Estos resultados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis proximal de la semilla de *Moringa oleifera* Lam.

Parámetro (%)	(Gharsallah et al., 2021)	(Leone et al., 2016)	(Adegbe, 2016)
Grasa/Aceite	41.7 ± 0.62	36.70 ± 2.80	32.50 ± 7.78
Proteínas	33.39 ± 3.16	31.40 ± 1.3 0	39.57 ± 3.23
Carbohidratos	17.58 ± 2.32	18.40	7.44 ± 10.30
Fibra	4.23± 0.32	6.80 – 8.00	5.00 ± 0.00
Cenizas	3.1 ± 0.02	4.40 – 6.90	5.00 ± 0.00
Humedad	7.78 ± 0.62	5.70 – 8.9 0	10.50 ± 0.71

En la Tabla 2, se puede destacar que los valores reportados por los diversos autores varían, para el género *Moringa*, esto puede ser debido a las diferencias en las condiciones medioambientales (temperatura, humedad) donde se desarrollaron estas plantas, así como la composición química del suelo, entre otros factores externos, lo cual influye en la bioquímica de la formación de las moléculas activas en las plantas aumentando o disminuyendo su concentración.

En este sentido, de los resultados del análisis proximal de la semilla de *Moringa oleifera* Lam, se observa que el porcentaje de proteínas aunque varía entre 33,39% y 39,57% los valores son altos y le confieren gran importancia a la semilla, porque son las proteínas son las encargadas de regenerar y renovar los tejidos; también presenta buen valor de carbohidratos, siendo estos la principal fuente de energía que requiere el organismo para desarrollar todas las funciones vitales; de igual forma la semilla de *Moringa* contiene grasas, las cuales generan energía a partir de sus ácidos grasos, ayudan a transportar las vitaminas liposolubles y a absorber el calcio, entre otras funciones; contiene la fibra necesaria para facilitar el tránsito intestinal y las cenizas son indicadoras de la presencia de minerales.

También se analizó el contenido energético, las vitaminas y minerales presentes, como componentes nutricionales (Paniagua & Chora, 2016; Sharma, Wichaphon, & Klangpetch, 2020), encontrándose alto contenido energético, la presencia de vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, C y minerales como calcio, hierro, magnesio, manganeso, fosforo, potasio, sodio y zinc; como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Vitaminas y minerales en la semilla de *Moringa oleífera* Lam.

Parámetro	Valor	Unidad/equivalencia
Energía	37	Kcal (150 kJ)
Agua	88.2	g
Vitamina A	4	mg (1%)
Tiamina (Vit B1)	0.0530	mg (5%)
Riboflavina (Vit B2)	0.074	mg (6%)
Niacina (Vit B3)	0.62	mg (4%)
Ácido pantoténico (Vit B5)	0.794	mg (16%)
Piridoxina (Vit B6)	0.12	mg (9%)
Ácido fólico (Vit B9)	44	mg (11%)
Vitamina C	141	mg (170%)
Calcio	30	mg (3%)
Hierro	0.36	mg (3%)
Magnesio	45	mg (13%)
Manganeso	0.259	mg (12%)
Fosforo	50	mg (7%)
Potasio	461	mg (10%)
Sodio	42	mg (3%)
Zinc	0.45	mg (5%)

Otros estudios de las semillas de *Moringa oleífera* Lam han demostrado actividades biológicas como: antipirética, antituberculosa, antitumoral, enfermedades del tracto genito-urinario, incluyendo venéreas y además es hepatoprotector (Posmontier, 2011; Lakshmi, 2012; Chinsembu, 2016), también presentó acción Citotóxica en bacterias de la familia Mycobacterium spp, demostrando actividad antifúngica (Nkya, 2014; Al-Asmari, 2015).

Los isotiocianatos presentes en la semilla, tienen acción antifúngica y antibacteriano de amplio espectro y presentan acción positiva contra el cáncer de pecho y colon, estas moléculas son 4- (α -L-ramnopiranosiloxi) bencil glucosinolato y 4-(4'-O-acetil α -L ramnopiranosiloxi)-isotiocionato de bencilo (Singh, et al., 2020; Chuang et al., 2007; Fahey, 2005; Gu, Yang & Wang, 2020; Mosquera, Criado & Guerra y 2019).

El aceite de la semilla de *Moringa oleífera* Lam fue extraído mediante prensado o extracción mecánica, para evitar la interferencia de solventes al momento de identificar sus composición química (Mitjans, Bravo & Cárdenas, 2016; Olmo-García, et al., 2018). Los

resultados muestran un 73,97% de ácidos grasos insaturados, de los cuales el 65,27% corresponde a la presencia del ácido oleico y solo el 19,14% son ácidos grasos saturados (Ayerza, 2019); estos resultados se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de Moringa.

Ácido graso	#C: doble enlace	Porcentaje (%)
Mirístico	C 14:0	0,08
Palmítico	C 16:0	5,43
Palmitoleico	C16:1	1,16
Esteárico	C18:0	4,32
Oleico	C 18:1	65,27
Linoleico	C 18:2	4,82
Linolénico	C 18:3	0,54
Alquídico	C 20:0	3,12
Gondoico	C 20:1	2,18
Behénico	C 22:0	6,10
Lignocerico	C24:0	0,94
Ácidos grasos saturados		19,14
Ácidos grasos insaturados		73,97

En otros estudios sobre la composición del aceite (Ogbunugafor, *et al.*, 2011; Latif & Anwar, 2008; Gu, Yang & Wang, 2020), también identificaron polifenoles como el ácido gálico (53,4mg ácido gálico/Kg de muestra); tocoferoles como: α -Tocoferol (274,65 mg/Kg), β -Tocoferol (19,26 mg/Kg), γ -Tocoferol (42,87 mg/Kg), δ -Tocoferol (8,07 mg/Kg); los cuales les otorgan actividad antioxidante.

Alnadif, Mirghani & Hussein, (2017) estudiaron las propiedades fisicoquímicas al aceite de la semilla de *Moringa oleifera Lam*, reportaron valores bajos de número ácido, yodo y peróxido, lo cual indica que es un aceite estable, que se encuentra en buen estado del aceite y que no se descompone con facilidad. Los datos se reportan en la tabla 5.

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del aceite de la semilla de Moringa.

Propiedades Fisicoquímicas	Aceite de Moringa oleífera
Rendimiento del aceite	25.0 % - 44.0 %
Gravedad específica	0.91 – 1,1827
Densidad a 24 °C	0.9037
Viscosidad (mPa · s)	103
Índice de refracción (25 °C)	1.4713 – 1.4725
Punto de fusión (°C)	28.0
Valor de saponificación (mg KOH / g)	171.9 – 191
Índice de peróxido (mmol / Kg) (mEq / Kg)	8.1 – 15.96
Valor de yodo (I ₂ / 100 g de aceite)	66 – 85.3
Valor ácido (mg / KOH / g)	3.8 – 5.04
Ácido graso libre (% ácido oleico)	0.5 – 2.51
Punto de humo (°C)	190 – 201

Con base en los estudios anteriores, el aceite presenta ventajas para la salud entre ellas: se incrementan las defensas, se controla el colesterol, aporta energía, tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antibacterianas, presenta beneficios frente al cáncer, facilita las digestiones, entre otras (Sharma, Wichaphon, & Klangpetch, 2020).

4 CONCLUSIONES

La semilla presentó una excelente composición nutricional con altos niveles de grasa y proteínas, lo cual le brinda importancia como alimento de tipo energético (grasa), también le otorga valor nutritivo ya que posee gran cantidad de aminoácidos esenciales, antioxidantes, polifenoles, vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, C, E, minerales, entre otros. Esta composición nutricional le da mucha importancia para la industria alimenticia.

El contenido de aceites evidenció alto porcentaje de ácidos grasos insaturados destacándose el ácido oleico que es un omega-9, otorgándole beneficios a la salud, porque previene al organismo de enfermedades cardiovasculares. Los análisis fisicoquímicos evidenciaron bajos porcentajes de ácidos grasos libres y de yodo los cuales son indicativos de una baja rancidez y larga vida útil del aceite.

El aceite al ser ingerido presenta ventajas para la salud como el incremento de las defensas naturales del cuerpo humano (vitamina C); controla el colesterol (omega 3); es buen antioxidante; aporta energía ya que aumenta la cantidad de hemoglobina, glucosa y glucógeno en el organismo. Se destaca su potencial como antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano y en la prevención del cáncer; por lo tanto se recomienda el aprovechamiento en la industria farmacológica usando el aceite en la elaboración de medicamentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adegbe, A., Larayetan, R., Japhet, O., Japhet, O. (2016). Proximate analysis, physicochemical properties and chemical constituents characterization of *Moringa oleifera* (Moringaceae) seed oil using GC-MS Analysis. *American Journal of Chemistry*, 23-28. <http://article.sapub.org/10.5923/j.chemistry.20160602.01.html>

AFPD. (2008). African Flowering Plants Database - Base de Donnees des Plantes a Fleurs D'Afrique.

Al-Asmari AK, Albalawi SM, Athar MT, Khan AQ, Al-Shahrani H, Islam M. (2015). *Moringa oleifera* as an Anti-Cancer Agent against Breast and Colorectal Cancer Cell Lines. *PLoS One*, 10(8).<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26288313/>

Alí, A., Garg, P., Goyal, R., Khan, A., Negi, P., Li, X., Kulshrestha, S. (2021). An efficient wound healing hydrogel based on a hydroalcoholic extract of *Moringa oleifera* sedes. *South African Journal of Botany*, In Press. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.003>

Alnadif, A., Mirghani, M., Hussein, I. (2017). Unconventional Oilseeds and Oil Sources. Capítulo 35. Aceite de semilla de *moringa oleifera*. 233-241. Academic Press- Elsevier.

Ayerza, R. (2019). Seed characteristics, oil content and fatty acid composition of *moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) seeds from three arid land locations in Ecuador. *Industrial Crops & Products*, 140, 111575. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111575>

Batista, E., Fonseca, N., Silva, F., Alves, J., Bezerra, M., Dos Santos, E. (2021). Effect of oil extraction on the composition, structure, and coagulant effect of *Moringa oleifera* sedes. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123902>

Bonal, R., Rivera, R., Bolivar, M. (2012). *Moringa oleifera*: una opción saludable para el bienestar; *Medisan*, 16(10), 1596-1599. <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v16n10/san141012.pdf>

Castro Márquez, A. M. (2013). El árbol *moringa* (*Moringa oleifera* Lam.): una alternativa renovable para el desarrollo de los sectores económicos y ambientales de Colombia. (Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada). <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10956/Plantaciones%20de%20moringa%20en%20Colombia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Chelliah, R., Ramakrishnan, S., & Antony, U. (2017). Nutritional quality of *Moringa oleifera* for its bioactivity and antibacterial properties. *In International Food Research Journal* 24(2): 825-833. [http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20\(02\)%202017/\(50\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(02)%202017/(50).pdf)

Chinsembu, K.C. (2016). "Tuberculosis and nature`s pharmacy of putative anti-tuberculosis agents". *Acta Tropica*, 153, 46-56. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26464047/>

Chuang, P. Lee, C. Jia-Ying, C. Murugam, M. Shieh, B. Chen, H. (2007). Antifungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleifera* Lam. *Bioresource technology*, 98. 232-236. https://www.researchgate.net/publication/7364721_Antifungal_activity_of_crude_extract_and_essential_oil_of_Moringa_oleifera_Lam

Domínguez, Y. D., Santana, E. F., Rodríguez, S. M., Serrano, C. F., Cárdenas, B. Z., & Mestre, M. M. (2014). Potencial de la moringa oleifera para la producción de biodiesel. https://www.researchgate.net/publication/298797939_potencial_de_la_moringa_oleifera_para_la_produccion_de_biodiesel

Fahey, J. (2005). *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. *Trees for Life Journal*, 1-15. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.519.8047&rep=rep1&type=pdf>

Gharsallah, K. Rezig, L. Msaada, K. Abdellah, C. & Soltani, T. (2021). Chemical composition and profile characterization of *Moringa oleifera* seed oil, *South African Journal of Botany*, 137, 475-482. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.014>

Giuberti, G. Rocchetti, G. Montesano, D. Lucini, L. (2021) The potential of *Moringa oleifera* in food formulation: a promising source of functional compounds with health-promoting properties, *Current Opinion in Food Science*, 42, 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.09.001>

Gu, X. Yang, Y. & Wang, Z. (2020). Nutritional, phytochemical, antioxidant, α -glucosidase and α -amylase inhibitory properties of *Moringa oleifera* seeds, *South African Journal of Botany*, 133, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.07.021>

Jaimes, M. I., López, F. E., Ruiz, B. S., Pérez, A. G., & Chagman, G. P. (2018). Efecto del desamargado de la torta de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) sobre su composición proximal y su perfil nutricional y toxicológico; *Scientia Agropecuaria* 9(2), 247-257. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Kapse, G., & Samadder, S. (2021). *Moringa oleifera* seed defatted press cake based biocoagulant for the treatment of coal beneficiation plant effluent. *Journal of Environmental Management*, 296, 113202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113202>

Kwabena, R., Atta, F., Fosu, S. (2020). Antimicrobial and coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, 6 (8), e04627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627>

Lakshmi, S.; Kiran, T.; Rani, S. (2012). "A review on medicinal plants for nephroprotective activity" *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 5(4): 8-14. https://www.researchgate.net/publication/286096403_A_review_on_medicinal_plants_for_nephroprotective_activity

Latif, S., & Anwar, F. (2008). Quality assessment of *moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous-enzymatic techniques. *grasas y aceites*, 59(1), 69-75. https://www.researchgate.net/publication/26524145_Quality_assessment_of_Moringa_concanensis_seed_oil_extracted_through_solvent_and_aqueous-enzymatic_techniques

- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2016). Moringa oleifera seeds and oil: Characteristics and uses for human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(2), 2141. <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/12/2141>
- Liñan, F. (2010). Moringa oleifera el árbol de la nutrición. *Ciencia y Salud*, 2 (1), 130-138.
- Mitjans, D., Bravo, V., & De Cárdenas, B. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de Moringa oleifera a partir de la extracción por diferentes métodos Characterisation of Moringa oleifera's oils from different extraction methods. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 2, 106–111. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.54324>
- Mora, J. & Gacharná, N. (2015) “El árbol milagroso: la moringa oleifera.” *Biodiversidad Colombia*, 5(6), 50-57. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=bi>
- Mosquera, W. Criado, L. Guerra, B. (2019). Actividad antimicrobiana de hongos endófitos de las plantas medicinales Mammea americana (Calophyllaceae) y Moringa oleifera (Moringaceae), *Biomédica*, 40, 55-71. <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v40n1/O120-4157-bio-40-01-55.pdf>
- Nkya, W.; Erasto, P.; Chacha, M. (2014). “Antimycobacterial and cytotoxicity activities of Moringa oleifera Lam. extracts”. *American Journal of Research Communication* 2(9): 108-120. http://www.usa-journals.com/wp-content/uploads/2014/09/Nkya_Vol29.pdf
- Ogbunugafor, H. A., Eneh, F. U., Ozumba, A. N., Igwo-Ezikpe, M. N., Okpuzor, J., Igwilo, I. O., Adenekan, S. O., & Onyekwelu, O. A. (2011). Physico-chemical and antioxidant properties of Moringa oleifera seed oil. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(5), 409–414. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.409.414>
- Ogusku, G., Alves, A., Gutierrez, R., Salcedo, A. (2021). Yogurt production added ultrafiltered seed extract of Moringa oleifera Lam. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 37, 102159. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102159>
- Olmo-García, L. Polari, J. Li, X. Bajoub, A. Fernández-Gutiérrez, A. Wang, S. Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Deep insight into the minor fraction of virgin olive oil by using LC-MS and GC-MS multi-class methodologies. *Food Chemistry*. 261. https://www.researchgate.net/publication/324449983_Deep_insight_into_the_minor_fraction_of_virgin_olive_oil_by_using_LC-MS_and_GC-MS_multi-class_methodologies
- Paniagua, A. & Chora, J. (2016). Elaboración de Aceite de semillas de Moringa Oleifera para diferentes usos. *Revista de Ciencias de la Salud*, 3 (9), 36-46. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_de_la_Salud/vol3num9/Revista_Ciencias_de_la_Salud_V3_N9_5.pdf
- Pérez, A., Sánchez, T., Reyes, F. & Armengol, L. N. (2013). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 33, 397-403. <https://www.researchgate.net/publication/32317791>.
- Posmontier B. (2011). The medicinal qualities of Moringa oleifera. *Holist Nurs Pract*, 25(2):80-87. doi: 10.1097/HNP.0b013e31820dbb27. PMID: 21325908.
- Sharma, P. Wichaphon, J. Klangpetch, W. (2020). Antimicrobial and antioxidant activities of defatted Moringa oleifera seed meal extract obtained by ultrasound-assisted extraction and application as a natural antimicrobial coating for raw chicken sausages, *International Journal of Food Microbiology*, 332, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108770>
- Singh, A. K. Rana, H. K. Tshabalala, T., Kumar, R. Gupta, A. Ndhala, A. R. & Pandey, A. K. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop Moringa oleifera Lam: An overview. *South African Journal of Botany*, 129, 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.017>

Villarreal, G. A. & Ortega, K. (2014). Revisión de las características y usos de la planta moringa oleifera, *Investigación & Desarrollo*, 22 (2), 309-330. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26832007007>

Xiong, Y., Riaz, M., Mahreen, H., Zhang, M., Liang, N., Li, C., He, Z. (2021). Virucidal activity of Moringa A from Moringa oleifera seeds against Influenza A Viruses by regulating TFEB. *International Immunopharmacology*, 95, 107561. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107561>

CAPÍTULO 12

ZONAS DE INFLUENCIA GENERADAS POR PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EN CAMPO DEL MATERIAL ROCOSO

Data de submissão: 12/08/2021

Data de aceite: 03/09/2021

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Cuenca-Ecuador
ORCID: 0000-0001-6901-7933
pfeijoo@uazuay.edu.ec

Andrés Nicolás Aguirre Larriva

Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Cuenca-Ecuador
ORCID: 0000-0001-7391-8005

Bernardo Andrés Feijoo Guevara

Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Cuenca-Ecuador
ORCID: 0000-0002-1089-1332

RESUMEN: En el desarrollo de la explotación de minas y canteras es importante determinar propiedades de la roca, en especial la resistencia a la compresión simple (RCS), ya que mediante este parámetro se pueden desarrollar clasificaciones de los macizos rocosos, como la del Rock Mass Rating (RMR) o Índice Q, con las cuales se evalúa la

estabilidad de las estructuras mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo. Este trabajo tuvo como objetivo proponer una metodología simple, sencilla y de aplicación práctica en el campo, para la caracterización del material rocoso, mediante la determinación aproximada de la resistencia a la compresión, propiedad de la roca importante en minería. La estimación de la resistencia a compresión se la propone con la aplicación de una metodología la cual valora las siguientes propiedades de la roca, que en esta investigación las denominamos: densidad, porosidad y absorción “en campo” y finalmente se evalúa el índice de carga puntual. Las propiedades físicas mencionadas se las puede establecer de una forma sencilla, pero metódica y en este trabajo se han ejecutado ensayos sobre 60 probetas de un mismo material o roca, proveniente de un sector denominado Cojitambo, provincia del Cañar (Ecuador). Los resultados obtenidos permiten la caracterización de la roca, a través de zonas de influencia generadas con las propiedades descritas, estableciendo para este trabajo que la RCS tiene valores entre los 42.48 MPa y 120.24 MPa, lo que categoriza al material rocoso como una clase de roca dura. Se pudo concluir que la propuesta evita el envío permanente de muestras a laboratorio, ahorrando tiempo y dinero, por lo tanto, se ha estructurado una metodología de cálculo para el objetivo planteado.

PALABRAS CLAVE: Compresión. Roca. Densidad. Porosidad. Absorción.

INFLUENCE ZONES GENERATED BY PHYSICAL PROPERTIES FOR THE CHARACTERIZATION OF ROCK MATERIAL IN THE FIELD

ABSTRACT: In the development of mining and quarrying, it is important to determine rock properties, especially unconfined compressive strength (UCS), since through this parameter rock mass classifications can be developed, such as the Rock Mass Rating (RMR) or Q Index, with which the stability of mining structures is evaluated, both open pit and underground. The objective of this work was to propose a simple, straightforward methodology and practical application in the field, for the characterization of the rock material, by means of the approximate determination of the unconfined compressive strength, an important property of the rock in mining. The estimation of the compressive strength is proposed with the application of a methodology which assesses the following properties of the rock, which in this research we call them: density, porosity and absorption “in the field” and finally the point load test index is evaluated. The physical properties mentioned can be established in a simple, but methodical way and in this work, tests have been carried out on 60 specimens of the same material or rock, coming from a sector called Cojitambo, province of Cañar (Ecuador). The results obtained allow the characterization of the rock, through zones of influence generated with the properties described, establishing for this work that the UCS has values between 42.48 MPa and 120.24 MPa, which categorizes the rocky material as a class of rock hard. It was possible to conclude that the proposal avoids the permanent sending of samples to the laboratory, saving time and money, therefore, a calculation methodology has been structured for the proposed objective.

KEYWORDS: Compression. Rock. Density. Porosity. Absorption.

1 INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la explotación de minas y canteras es importante determinar la resistencia a la compresión simple de las rocas (RCS) ya que mediante este parámetro se pueden desarrollar clasificaciones de los macizos rocosos, como la del Rock Mass Rating (RMR) o Índice Q, con las cuales se determina la estabilidad de las estructuras mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo. La resistencia de una roca o de sedimentos no bien consolidados está influida por la mineralogía de sus partículas y por el contacto que hay entre ellas (BLYTH e FREITAS, 2003). Pero muchas veces debido a las condiciones en las cuales se encuentran las labores mineras, resulta complicado y a veces casi imposible enviar muestras de roca a laboratorios para determinar la RCS, y en estos tiempos es la problemática de los encargados de evaluar la estabilidad de las estructuras en el campo, por lo que se presenta la imperiosa necesidad de presentar alternativas in situ para la valoración de la RCS. En este trabajo se propone determinar propiedades físicas de las rocas y correlacionarlas con la RCS, para de esta manera obtener de una manera aproximada dicho parámetro. En la Mecánica de Rocas, que es la encargada

de estudiar las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos, es muy importante definir algunas de ellas, que sin restar importancia a otras, se consideran prioritarias. El comportamiento de una masa o macizo de roca in situ es diferente de un material rocoso, debido a que el material rocoso es mucho más fuerte y un macizo rocoso presenta casi siempre sistemas de debilidades estructurales llamadas diaclasas (fracturas, fisuras, juntas, discontinuidades, fallas de varios tamaños). Prácticamente todas las rocas que forman los kilómetros de la corteza terrestre están atravesadas por fisuras y grietas de corta extensión (IRIONDO, 2006).

En este punto cabe analizar cada una de las propiedades de las rocas, que se verán involucradas en las diferentes propuestas de correlación de este trabajo, tomando en consideración que la heterogeneidad de los materiales o rocas usados siempre puede ser un limitante para su análisis. También, incluso en rocas aparentemente isótropas y homogéneas, entendiéndose como homogeneidad si dos muestras cualesquiera de una masa rocosa del mismo volumen e igualmente orientadas son idénticas desde todos los puntos de vista (RAGAN, 1980), las propiedades pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

2 METODOLOGÍA

Se denomina resistencia a la compresión simple de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. Esta valoración o parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos. Estas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización. Las clasificaciones geomecánicas son sistemas de valoración del comportamiento del terreno rocoso. Se basan en calificar numéricamente las propiedades y características específicas de la roca en un emplazamiento determinado y posteriormente obtener una calificación final como la suma de las valoraciones parciales. En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las fases de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, por tanto, conocer las limitaciones y dificultades que presenta cada una de las clasificaciones (FEIJOO e IÑIGUEZ, 2020). Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca. La RCS es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse. Este ensayo sirve para determinar

la resistencia a compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro (FEIJOO e colab., 2019). Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que éstas pueden generar en la roca nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos. Averiguar la resistencia a compresión simple de una roca es importante porque permite clasificar la roca según su resistencia, es un parámetro importante en los criterios de rotura más utilizados (Mohr-Coulomb y Hoek-Brown) (DELGADO, 2013). La tabla 1 muestra una clasificación de las rocas y la resistencia a la compresión según la ISRM (International Society for Rock Mechanics) de 1981 (GALVÁN, 2015).

Tabla 1. Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM.

Descripción	Resistencia a Compresión Simple (MPa)
Extremadamente blanda	< 1
Muy blanda	1 a 5
Blanda	5 a 25
Moderadamente blanda	25 a 50
Dura	50 a 100
Muy dura	100 a 250
Extremadamente dura	> 250

Fuente: ISRM 1981.

Una alternativa para determinar la RCS es el ensayo de carga puntual, el cual consiste en romper un pedazo de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido. Las muestras que son colocadas entre dichas puntas pueden ser de cualquier forma, pero lo recomendable es que su diámetro no sea inferior a 50 mm, ya que, el volumen de dicha probeta influye en su resistencia. La ecuación 1 nos permite calcular el índice de carga puntual sin corrección:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

Dónde:

P = carga aplicada en N

De = diámetro del núcleo equivalente en mm

Se toman las distancias de los fragmentos los cuales deben cumplir con las disposiciones que se indican en la norma. La razón $0.3 < D/W < 1$ que de preferencia

quede cerca de 1. La distancia $L > 0.5W$ (L distancia del extremo de la roca a las puntas cónicas) y se conoce el W. En la ecuación 2 se determina el diámetro equivalente (De) en función de las dimensiones de los fragmentos irregulares:

$$De^2 = \frac{4WD}{\pi} \quad (2)$$

El índice de resistencia a la carga puntual corregido Is (50), de una muestra de roca se define como el valor de Is que se ha medido por una prueba diametral con $D = 50$ mm. Cuando una clasificación de roca es fundamental, el método más fiable para conseguir Is (50) es llevar a cabo las pruebas con diámetros de $D = 50$ mm o muy cercanos a dicho valor. La mayoría de las pruebas de carga puntual, son utilizando tamaños de muestras diferentes al diámetro mencionado (FEIJOO e ALMACHE, 2021). En la ecuación 3 podemos obtener la corrección de tamaño:

$$Is(50) = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \cdot Is \quad (3)$$

Finalmente, en la ecuación 4, podemos observar la relación que existe entre la resistencia a la compresión simple de la probeta de roca, relacionada con el índice de carga puntual.

$$RCS = 24 \cdot Is(50) \quad (4)$$

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas, obteniéndose diferentes modelos de curvas de tensión contra deformación para distintos tipos de rocas (SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE, 2016).

La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la existencia de espacios vacíos entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en g/cm^3 .

Conocida la masa y el volumen de una muestra rocosa se determina de forma inmediata su densidad. En los materiales porosos tanto la masa como el volumen admiten ciertas matizaciones y, en consecuencia, se pueden establecer distintos tipos de densidad. Fundamentalmente se distingue dos: “densidad de los granos minerales” y “densidad de la roca seca”. También se consideran otros tipos de densidad, obtenidos a partir de distintos ensayos, como la “densidad de la roca húmeda” (para un determinado contenido en humedad) y la “densidad corregida” o “densidad del esqueleto” (cuando

el volumen de roca no incluye los poros abiertos pero incluye los cerrados) (ALONSO, 2013). La obtención de la masa de la muestra de una roca no es un problema, únicamente es necesario que esté seca, por lo que los distintos métodos se diferencian en el procedimiento seguido para determinar el volumen. Un método sencillo, es el de generar prismas de roca con medidas más o menos iguales y mediante el uso de un calibrador se determina el volumen de las mismas.

La porosidad en rocas es definida como la razón entre el volumen de los espacios vacíos entre la roca y el total volumen aparente de la roca, también se refiere a la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total (GALVÁN e RESTREPO, 2016). Así también el contenido de humedad presente en una roca es la relación existente entre el agua contenida en los poros de la roca y la masa de las partículas de la roca misma. Si el sólido se encuentra directamente en contacto con el agua líquida, todos estos poros capilares son rápidamente saturados de agua, hablándose entonces de absorción capilar (ONTIVEROS e VILLEGAS, 1996). Esta propiedad, será para alguna roca mayor que para otras, y en este punto podemos hablar de la velocidad con la cual absorbe el agua la probeta, a través de su capilaridad, propiedad denominada sorptividad (HOWLAND e MARTÍN, 2013).

La base de cualquier trabajo es la planificación de las actividades a realizar. Para cumplir con el objetivo disponemos de una serie de herramientas, unas para aplicar en campo y otras en laboratorio.

Para el desarrollo de la propuesta se inicia con la obtención de muestras de un sector denominado Cojitambo, presenta una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar (Ecuador) (FEIJOO e ROMÁN, 2019). Estas muestras se toman de afloramientos, pero trabajando en los mismos para que la matriz rocosa extraída sea sana y no contenga ningún tipo de alteración o descomposición. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta del estado de la roca a la cual se procede a realizar los ensayos (FEIJOO e PADRÓN, 2020). Realizada la toma de muestras se las prepara para la elaboración de probetas, en lo posible de iguales dimensiones. Las probetas preparadas tienen las siguientes dimensiones aproximadamente: 5 cm x 5 cm x 12 cm y en total se elaboran 60 probetas.

Figura 1. Muestras o probetas de roca.



En la primera fase se ejecutaron las pruebas para la obtención de lo que denominamos densidad en campo, para lo cual con una balanza de precisión se obtiene la masa y con sus dimensiones se obtuvieron sus respectivos volúmenes (BRITO, 2020).

$$\rho = \frac{M_i}{V_i} \quad (5)$$

Donde:

ρ = densidad en campo en $\frac{g}{cm^3}$

M_i = masa inicial en g

V_i = volumen inicial en cm^3

En una segunda parte, luego de haber determinado masa y volumen de cada probeta, las mismas se proceden a introducir en un horno convencional, a temperatura constante de 75 °C, por el tiempo que sea necesario hasta que la masa de cada probeta se mantenga constante, es decir hasta que no se produzca más pérdida de humedad de la misma. A esta prueba o etapa la denominamos porosidad en campo de la roca. El tiempo necesario para esta etapa está en el orden de 4 a 5 días.

Figura 2. Probetas de roca en horno para secado.



La porosidad en campo de las diferentes probetas la obtenemos mediante la siguiente relación (BRITO, 2020):

$$\eta = \frac{M_i - M_f}{V_i} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

η = porosidad en campo en %

M_f = masa al fin del secado en g

Como tercera etapa, luego de que las probetas se han estabilizado en su masa y luego de haberlas dejando a temperatura ambiente por al menos 7 días, se procede a ejecutar la prueba que hemos denominado absorción en campo, la cual consiste en introducir la probeta en un vaso de precipitado de capacidad de un litro, conteniendo agua hasta los 500 cm³. Esta prueba se puede decir que es con sorptividad constante, ya que se introduce la probeta por una hora exacta y luego de eso se obtiene la nueva masa de la probeta.

Figura 3. Probetas de roca en vaso para absorción de agua.



Para la determinación de la absorción en campo utilizamos la siguiente relación (BRITO, 2020):

$$\omega = \frac{M_a - M_i}{V_i} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

ω = absorción en campo en %

M_a = masa final con agua en g

Obtenidos todos estos resultados, se procede nuevamente a mantener las probetas a temperatura ambiente por otros 14 días, hasta que las mismas vuelvan a sus condiciones originales de ser posible.

Finalmente con las probetas, se inicia con el proceso de carga puntual, en una prensa construida para el efecto, la prensa se la puede observar en la figura 4. Con este ensayo obtenemos el valor de $I_s(50)$ en MPa.

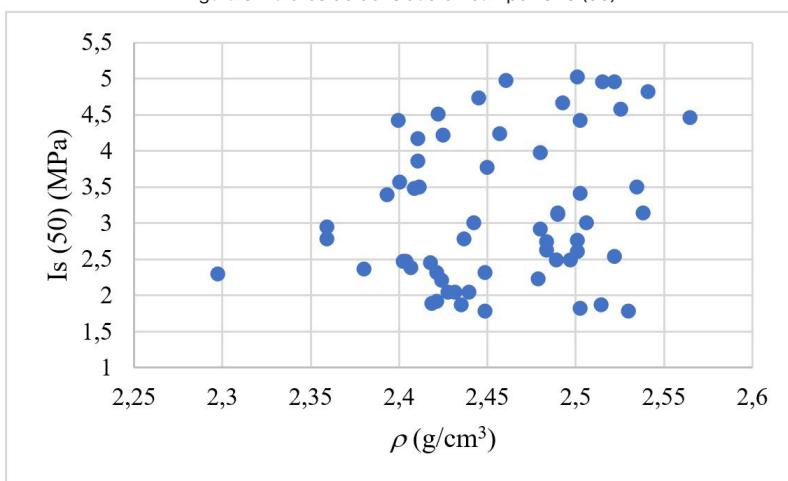
Figura 4. Prensa para determinación de $I_s(50)$.



3 DESARROLLO Y DISCUSIÓN

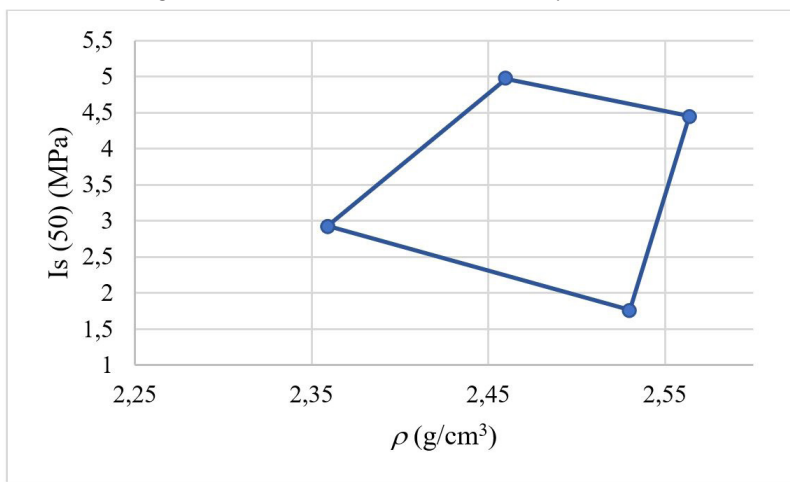
Luego de evaluar los resultados, tabla 2, se ha establecido que la densidad en campo presenta una serie de valores que varían entre los 2.29 a los 2.56 g/cm³, pero si graficamos todos los valores, con sus respectivos $I_s(50)$, podemos observar que no cabe la posibilidad de obtener una línea de tendencia (Figura 5).

Figura 5. Valores de densidad en campo vs. $I_s(50)$.



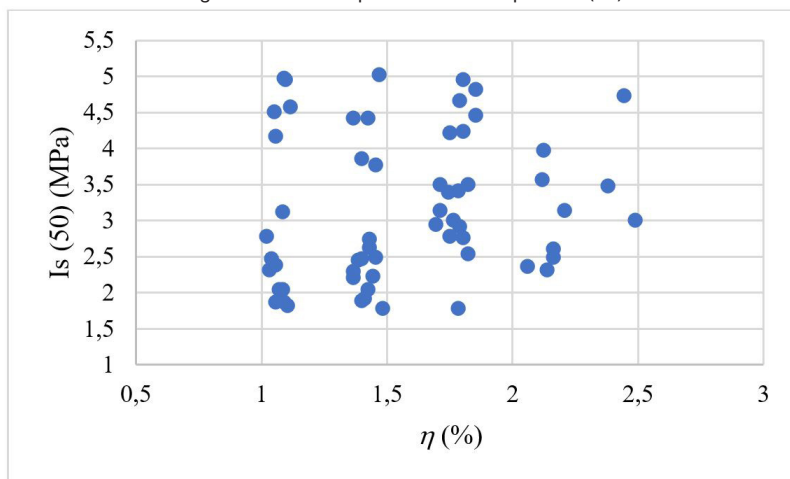
Esta situación permite obtener una área de influencia, la cual la podemos definir mediante inecuaciones y la gráfica de la misma se la puede observar en la figura 6.

Figura 6. Area de influencia de densidad en campo vs. Is (50).



Analizados los datos de porosidad en campo, figura 7, estos presentan valores desde 1.01 hasta 2.49 %, y si los graficamos con los valores de Is (50), podemos ver, al igual que en la densidad, que no cabe una línea de tendencia, pero si una zona de influencia (figura 8).

Figura 7. Valores de porosidad en campo vs. Is (50).



De igual manera los datos de absorción en campo presentan un rango de valores de entre 1.06 a 3.63 %, pudiendo observar que al graficar los resultados con los valores de Is (50) no presenta una buena línea de tendencia, al igual que en las propiedades anteriores, pero si una zona de influencia (figuras 9 y 10).

Figura 8. Area de influencia de porosidad en campo vs. I_s (50).

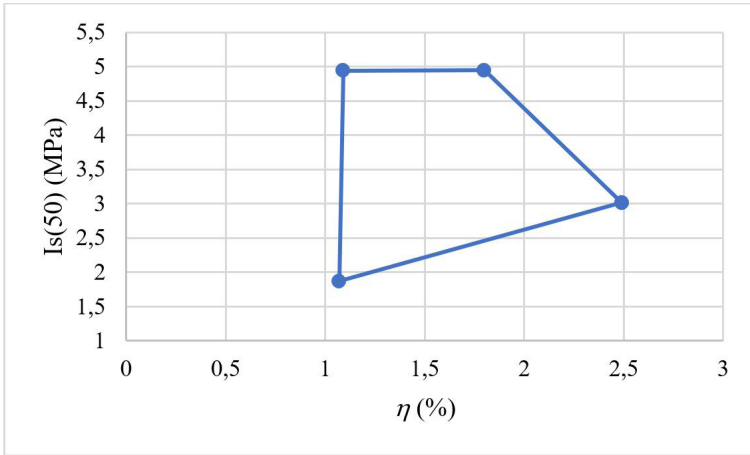


Figura 9. Valores de absorción en campo vs. I_s (50).

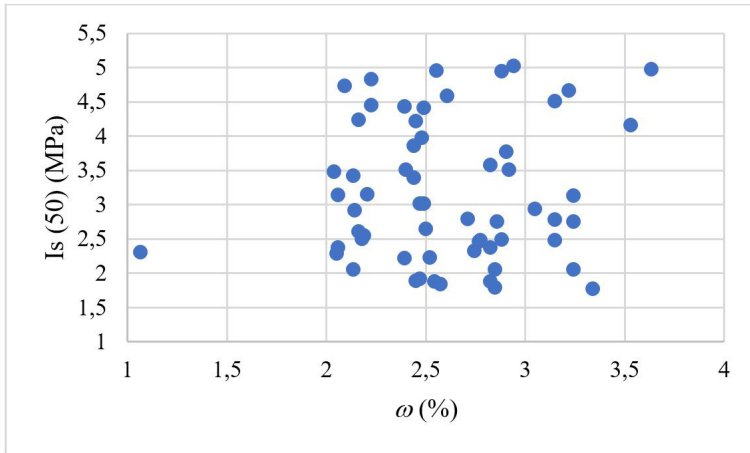
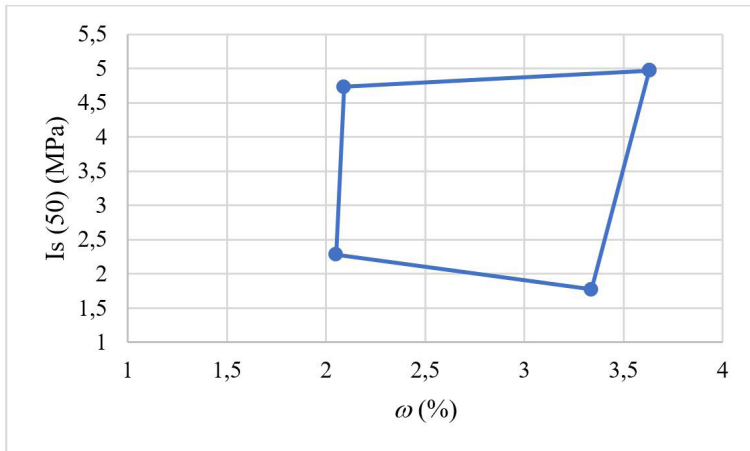


Figura 10. Area de influencia de absorción en campo vs. I_s (50).



Dadas las condiciones y debido a los datos analizados, se propone que para la caracterización del material rocoso, se deben establecer condiciones, en este caso de cada una de las áreas o zonas de influencia, obtenidas de la densidad, porosidad y absorción con sus respectivas correlaciones con el $I_s(50)$. Estas condiciones las podemos esquematizar mediante inecuaciones y en consecuencia cuando obtengamos datos de nuevas probetas, se podrá caracterizar, siempre que se cumpla con las inecuaciones presentadas. A continuación esquematizamos dichas condiciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_s(50) \leq 20.2\rho - 44.7 \\ I_s(50) \leq -5\rho + 17.3 \\ I_s(50) \geq 78.8\rho - 197.6 \\ I_s(50) \geq -6.8\rho + 18.9 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I_s(50) \geq 0.8\eta + 1 \\ I_s(50) \leq 153.5\eta - 162.4 \\ I_s(50) \leq 4.9 \\ I_s(50) \leq -2.8\eta + 10 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I_s(50) \geq 10.9\omega - 34.8 \\ I_s(50) \geq -0.4\omega + 3.1 \\ I_s(50) \leq 61.2\omega - 123.3 \\ I_s(50) \leq 0.16\omega + 4.4 \end{array} \right.$$

Los valores de $I_s(50)$ deben presentarse en MPa, los valores de densidad (ρ) en g/cm^3 y los valores de porosidad (η) y absorción (ω) en %.

Para la roca estudiada, la cual presenta valores de $I_s(50)$ entre 1.77 y 5.01 MPa, la resistencia a la compresión simple se valora entre 42.48 y 120.24 MPa.

Tabla 2. Datos y Resultados.

muestra	a	b	c	V_i	M_i	ρ	M_f	η	M_a	ω	$I_s(50)$
	cm	cm	cm	cm^3	g	g/cm^3	g	%	g	%	MPa
1	4.9	4.9	11.9	285.7	693	2.43	688	1.75	700	2.45	4.2
2	4.9	4.9	11.8	283.3	692	2.44	687	1.76	699	2.47	3.0
3	4.7	5.0	11.9	279.7	697	2.49	692	1.79	706	3.22	4.7
4	4.8	4.9	11.8	277.5	693	2.50	687	2.16	701	2.88	2.5
5	5.0	4.9	11.7	286.7	701	2.45	694	2.44	707	2.09	4.7
6	4.8	4.9	11.8	277.5	694	2.50	688	2.16	700	2.16	2.6
7	5.0	4.9	11.9	291.6	694	2.38	688	2.06	700	2.06	2.4
8	4.9	5.0	12.0	294.0	708	2.41	701	2.38	714	2.04	3.5
9	4.9	4.9	11.8	283.3	680	2.40	674	2.12	688	2.82	3.6
10	4.9	4.8	12.0	282.2	700	2.48	694	2.13	707	2.48	4.0
11	4.8	4.9	11.7	275.2	674	2.45	670	1.45	682	2.91	3.8
12	4.9	4.8	11.8	277.5	694	2.50	689	1.80	703	3.24	2.8
13	4.9	4.7	11.7	269.5	691	2.56	686	1.86	697	2.23	4.5
14	5.0	5.0	11.8	295.0	696	2.36	691	1.69	705	3.05	2.9
15	4.8	4.9	11.9	279.9	694	2.48	689	1.79	700	2.14	2.9
16	4.9	5.0	11.7	286.7	686	2.39	681	1.74	693	2.44	3.4
17	5.0	4.9	11.7	286.7	691	2.41	687	1.40	698	2.44	3.9
18	4.8	4.8	11.8	271.9	690	2.54	684	2.21	696	2.21	3.2
19	4.9	4.9	11.7	280.9	704	2.51	697	2.49	711	2.49	3.0
20	4.8	5.0	11.9	285.6	696	2.44	691	1.75	705	3.15	2.8
21	4.7	4.9	11.9	274.1	691	2.52	688	1.09	698	2.55	4.9
22	4.9	4.9	11.7	280.9	703	2.50	698	1.78	709	2.14	3.4
23	4.8	4.9	11.8	277.5	682	2.46	677	1.80	688	2.16	4.2
24	4.9	4.9	11.9	285.7	692	2.42	689	1.05	701	3.15	4.5
25	4.8	4.9	11.9	279.9	695	2.48	691	1.43	702	2.50	2.6
26	4.9	4.9	11.9	285.7	687	2.40	683	1.40	696	3.15	2.5
27	5.0	4.9	11.9	291.6	726	2.49	721	1.71	732	2.06	3.1
28	4.8	4.8	11.7	269.6	685	2.54	680	1.85	691	2.23	4.8
29	4.8	4.8	11.8	271.9	680	2.50	676	1.47	688	2.94	5.0

30	4.8	4.8	11.9	274.2	695	2.53	690	1.82	703	2.92	3.5
31	5.0	5.0	11.7	292.5	732	2.50	728	1.37	739	2.39	4.4
32	5.0	4.9	11.9	291.6	703	2.41	698	1.71	710	2.40	3.5
33	4.9	4.9	11.8	283.3	683	2.41	680	1.06	693	3.53	4.2
34	4.9	4.8	11.8	277.5	698	2.51	693	1.80	706	2.88	4.9
35	4.8	4.9	11.8	277.5	691	2.49	688	1.08	700	3.24	3.1
36	4.7	4.8	11.9	268.5	678	2.53	675	1.12	685	2.61	4.6
37	4.8	4.9	11.7	275.2	677	2.46	674	1.09	687	3.63	5.0
38	4.9	4.9	11.7	280.9	674	2.40	670	1.42	681	2.49	4.4
39	4.9	4.9	12.0	288.1	692	2.40	689	1.04	700	2.78	2.5
40	4.9	4.7	11.9	274.1	691	2.52	686	1.82	697	2.19	2.5
41	4.9	4.9	11.9	285.7	691	2.42	687	1.40	698	2.45	1.9
42	4.9	4.9	11.8	283.3	686	2.42	682	1.41	693	2.47	1.9
43	4.9	4.9	11.7	280.9	683	2.43	680	1.07	691	2.85	2.0
44	4.7	4.9	11.8	271.8	680	2.50	677	1.10	687	2.58	1.8
45	5.0	5.0	11.7	292.5	672	2.30	668	1.37	678	2.05	2.3
46	4.9	4.9	11.7	280.9	682	2.43	678	1.42	688	2.14	2.1
47	4.9	5.0	11.9	291.6	706	2.42	703	1.03	714	2.74	2.3
48	4.8	4.9	11.9	279.9	695	2.48	691	1.43	703	2.86	2.7
49	5.0	4.9	11.8	289.1	699	2.42	695	1.38	707	2.77	2.5
50	4.9	4.9	11.7	280.9	688	2.45	683	1.78	696	2.85	1.8
51	4.9	4.9	11.8	283.3	682	2.41	679	1.06	690	2.82	2.4
52	4.9	4.9	11.7	280.9	688	2.45	682	2.14	691	1.07	2.3
53	4.8	4.9	11.8	277.5	688	2.48	684	1.44	695	2.52	2.2
54	5.0	5.0	11.8	295.0	696	2.36	693	1.02	704	2.71	2.8
55	4.8	4.8	11.7	269.6	682	2.53	678	1.48	691	3.34	1.8
56	4.9	4.9	11.8	283.3	690	2.44	687	1.06	698	2.82	1.9
57	4.9	4.8	11.8	277.5	677	2.44	674	1.08	686	3.24	2.1
58	5.0	5.0	11.7	292.5	709	2.42	705	1.37	716	2.39	2.2
59	4.9	4.8	11.7	275.2	692	2.51	689	1.09	699	2.54	1.9
60	4.9	4.8	11.7	275.2	685	2.49	681	1.45	691	2.18	2.5

Fuente: autores.

4 CONCLUSIONES

La metodología planteada nos permite determinar que la roca del Cojitambo tiene una densidad en campo que va desde los 2.29 a 2.56 g/cm³, porosidad en campo entre 1.01 a 2.49 % y absorción en campo de 1.06 a 3.63 %.

El índice de carga puntual de la roca del Cojitambo, varía desde 1.77 a 5.01 MPa, lo cual permite determinar que la RCS está entre los 42.48 y 120.24 MPa, lo que categoriza al material rocoso como una clase de roca dura.

Este tipo de roca puede ser usada para elementos ornamentales o de construcción, debido a que su resistencia a compresión simple, mantendría una durabilidad en el tiempo, pero al mismo tiempo permite una maniobrabilidad en el trabajo de destaje.

Una vez evaluados los resultados, que se han obtenido en las experiencias llevadas a cabo, reconocemos el empleo del procedimiento para la valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de las rocas y caracterizarla por medio de la densidad en campo, porosidad en campo, absorción en campo e I_s (50), mediante la generación de zonas de influencia.

Este trabajo presenta una metodología de trabajo simple y sencilla, para la caracterización de la roca en un proyecto minero, por lo que su puesta a punto debe profundizarse con un mayor número de muestras de diferentes tipos de rocas y de esta forma el proceso sea avalado.

REFERENCIAS

ALONSO, F. **Propiedades Físicas: Densidad y Porosidad**. Oviedo, España: Universidad de Oviedo, 2013.

BLYTH, F. e FREITAS, M. **Geología para Ingenieros**. Mexico D.F.: CECOSA, 2003.

BRITO, E. **Caracterización del material rocoso mediante ensayos físicos de campo**. 2020. Universidad del Azuay, 2020.

DELGADO, C. **Evaluación de un cambio Tecnológico para el Procesamiento de Minerales de Alta Dureza**. Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2013.

FEIJOO, P. e ALMACHE, P. **Characterization of rock material by point load strength index test and direct cut**. Minerva, 2021.

FEIJOO, P. e FLORES, C. e FEIJOO, B. **The Concept of the Granulometric Area and Its Relation with the Resistance to the Simple Compression of Rocks**. IESTEC, p. 52–56, 2019.

FEIJOO, P. e IÑIGUEZ, C. **CORTE EN ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE**. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação Iberian Journal of Information Systems and Technologies, 2020.

FEIJOO, P. e PADRÓN, J. **LA RESISTIVIDAD DE ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE EN MINA**. Minerva, 2020. Disponível em: <<http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/296>>.

FEIJOO, P. e ROMÁN, M. **CORRELACIÓN ENTRE LA DEFORMACIÓN Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ROCAS**. Minerva, 2019. Disponível em: <<https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112>>.

GALVÁN, M. **Mecánica de Rocas: Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple**. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2015.

GALVÁN, M. e RESTREPO, I. **Correlación de la resistencia a la compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas**. Medellín. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2016.

HOWLAND, J J e MARTÍN, A R. **Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos Study about the capillary absorption and the sorptivity of concretes with cuban limestone aggregates**. v. 63, p. 515–527, 2013.

IRIONDO, M. **Introducción a la Geología**. Cordova, Argentina: Ediciones del Rio, 2006. v. 43. Disponível em: <<https://online210.psych.wisc.edu/wp-content/uploads/>>.

ONTIVEROS, E. e VILLEGAS, R. **Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones**. 1996.

RAGAN, D. **Geología Estructural**. Barcelona. España: Omega, 1980.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. **Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras**. México D. F., México: Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2016. Disponível em: <[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35612/1/Trabajo de Titulacion.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35612/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf)> <<https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GUIA-METODOLOGICA-EF.pdf>>.

CAPÍTULO 13

CARACTERIZACIÓN Y FLOTACIÓN DE APATITA CONTENIDAS EN RELAVE DE HIERRO

Data de submissão: 07/09/2021

Data de aceite: 30/09/2021

Bruno Zazzali

Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Universidad de Atacama

Copiapó – Chile

<https://orcid.org/0000-0003-1675-7078>

Luis Valderrama

Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Universidad de Atacama

Copiapó – Chile

<https://orcid.org/0000-0002-3926-9811>

Mario Santander

Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Universidad de Atacama

Copiapó – Chile

<https://orcid.org/0000-0002-6694-0455>

Oswaldo Gómez

Compañía de Acero del Pacifico

Unidad de Geología, CAP

La Serena – Chile

<https://orcid.org/0000-0002-8282-3419>

Patricia Tapia

Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Universidad de Atacama

Copiapó – Chile

<https://orcid.org/0000-0001-8212-3503>

Patricio Muñoz

Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Universidad de Atacama

Copiapó – Chile

<https://orcid.org/0000000188917996>

RESUMEN: En el presente estudio se caracterizan relaves de hierro de la Compañía de Aceros del Pacífico con el objetivo de recuperar apatita mediante pruebas de flotación. El análisis granulométrico de la muestra a estudiar indica que el 46,7 % de las partículas tiene un tamaño menor a 37 μm , cuyo peso específico es de 2,71 kg/L. De igual manera, el análisis químico indica un contenido de 13,6 % de hierro y de 1,86 % de apatita. Por otra parte, el análisis mineralógico detectó la presencia de magnetita, hematita, limonita, anfíboles, feldspatos, clorita, apatita, cuarzo, piritita, piroxenos, calcita, rutilo y calcopirita. Las pruebas de flotación generaron concentrados con leyes de 20,1% de P_2O_5 y recuperaciones de 84%. En estas pruebas el tiempo óptimo de flotación se determinó mediante el método de Polinomios de Lagrange, y resultó ser de 12 minutos 30 segundos. Se concluye que es factible producir concentrados de apatita a partir de relaves de hierro.

PALABRA CLAVE: Apatita. Relave. Flotación.

**CHARACTERIZATION AND FLOTATION OF
APATITE CONTAINED IN IRON TAILINGS**

ABSTRACT: In the present study, iron tailings from the Compañía de Aceros del Pacífico are

characterized to recover apatite through flotation tests. The granulometric analysis of the sample to be studied indicates that 46.7% of the particles have a particle size smaller than 37 μm , whose specific weight is 2.71 kg / L. Likewise, the chemical analysis indicates a content of 13.6% iron and 1.86% apatite. On the other hand, the mineralogical analysis detected the magnetite, hematite, limonite, amphiboles, feldspar, chlorite, apatite, quartz, pyrite, pyroxenes, calcite, rutile, and chalcopyrite presence. Flotation tests generated concentrates with grades of 20.1% P_2O_5 and recoveries of 84%. In these tests, the optimal flotation time was determined by the Lagrange Polynomial method, and it turned out to be 12 minutes 30 seconds. It is concluded that it is feasible to produce apatite concentrates from iron tailings.

KEYWORDS: Apatite. Tailing. Flotation.

1 INTRODUCCIÓN

Es evidente que la minería causa un impacto ambiental considerable. Sus procesos productivos alteran intensamente el área de explotación y áreas vecinas, generándose enormes pasivos ambientales en la forma de estériles y de relaves. Más aún, cuando dichos pasivos ambientales contienen sustancias químicas nocivas como resultado del proceso de concentración del mineral, puede provocarse un serio problema ambiental (Benzaazoua et al., 2000).

En Chile se producen 1.400.000 t/día de relaves como consecuencia de la producción de cobre fino, razón por la cual es crucial que se aúnen esfuerzos para buscar un tratamiento que permita atenuar su impacto medioambiental. El tratamiento de relaves es considerado hoy en día como una alternativa rentable cuando contienen cantidades relativamente altas de minerales de valor. Tal rentabilidad es posible porque su procesamiento no implica costos de extracción, chancado, molienda y procesamiento, permitiendo que su retratamiento genere un flujo de caja positivo (Sernageomin, 2015; Kinnunen & Kaksonen, 2019).

La flotación es la técnica más utilizada para concentrar los minerales de fosfatos. Para flotar estos minerales es necesario modificar su superficie, de polar en apolar, mediante la adsorción de diferentes reactivos. Los reactivos más utilizados para la flotación de estos minerales son los ácidos carboxílicos, pero estos presentan baja selectividad, porque no solo se adsorben con la apatita, sino que también con otros minerales que contienen calcio. En los últimos años la empresa AkzoNovel ha desarrollado nuevos reactivos para la flotación de apatita, que consisten en reactivos sintéticos (Albino, et al., 2015).

En base a las consideraciones anteriores, se concluye que existe un enorme potencial económico, ambiental y social, puesto que dichos relaves pueden explotarse con el fin de aumentar el desarrollo de la región de Atacama. En ese sentido, este trabajo

tiene como objetivo evaluar la recuperación de apatita contenidas en relaves de hierro; cuyo tratamiento es una alternativa rentable frente a otras, y porque su retratamiento permitiría generar un flujo de caja positivo (Alsafasfeh & Alagha 2017).

2 METODOLOGÍA

La muestra usada en este trabajo se obtuvo desde el tranque de relaves El trigo, de la Compañía Minera del Pacífico. Dicha muestra se caracterizó realizándole un análisis granulométrico en una batería de tamices, desde la malla de abertura 250 μm hasta los 37 μm .

Se efectuó un estudio mineralógico cuantitativo de las distintas especies, mediante briquetas transparentes y pulidas. De igual manera, se cuantificó la mineralogía modal, el tamaño de grano de las partículas y las asociaciones minerales que presentan las especies reconocidas.

Los colectores usados fueron oleato de sodio y Atrac 2600, como espumante MIBC, dispersante silicato de sodio y el modificador de pH fue carbonato de sodio. El criterio de selección de estos reactivos se basó en indicaciones dada en la literatura técnica o por su actual uso en alguna planta de tratamiento de mineral de fosfato y por último por su disponibilidad en el mercado. (Guimarães et al., 2005; Barros, et al., 2008; Gorochovceva, et al., 2014).

Posteriormente, se realizaron pruebas de flotación, en una celda mecánica marca Denver D-12, usando un porcentaje de sólido de 35%, y velocidad ajustada a 1200 rpm. En cuanto a los reactivos utilizados, se aplicó colector (oleato de sodio y ATRAC® 2600), dispersante (silicato de sodio) y modificador de pH (carbonato de sodio). El criterio de selección de estos reactivos se basó en indicaciones dada en la literatura técnica o por su actual uso en alguna planta de tratamiento de mineral de fosfato y por último por su disponibilidad en el mercado. (Guimarães et al., 2005; Barros, et al., 2008; Gorochovceva, et al., 2014).

Posteriormente, se realizaron pruebas de flotación, en una celda mecánica marca Denver D-12, usando un porcentaje de sólido de 35%, y velocidad ajustada a 1200 rpm. Finalmente, el concentrado y el relave obtenido fueron secados y preparados para su posterior análisis químico.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La muestra de relaves fue analizada por colorimetría, volumetría y absorción atómica, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico de la muestra de relave.

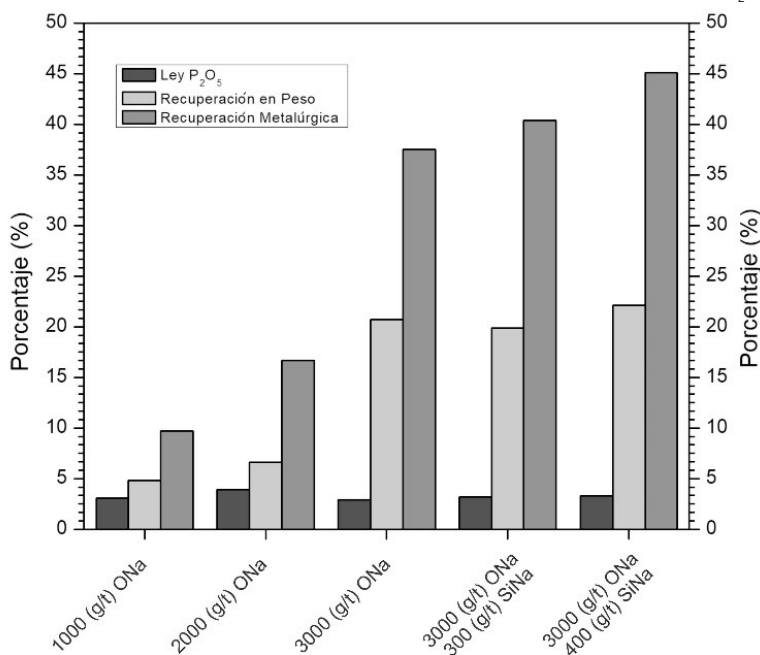
Muestra	P ₂ O ₅	Fe	Ca	Si	Mg	Ti
(%)	1,8	11,8	6,84	22,6	4,65	0,33

El análisis por QEMSCAN indicó la presencia de magnetita, hematita y limonita (31,2%), anfíboles (20,2%), feldespatos (18,5%), clorita (6,8%), apatita (4,3%), cuarzo (3,1%), pirita (2,6%), piroxenos (2,3%), calcita (0,9%), rutilo (0,57%) y calcopirita (0,1%).

De igual manera, el análisis granulométrico del relave indicó que el 75 % de las partículas tiene un tamaño menor a 75 micrómetros y que el 46,7% tiene un tamaño menor a 37 micrómetros, mientras que la distribución de P₂O₅ indicó que 42,2 % se encuentra a un tamaño menor a 75 micrómetros.

La figura 1 muestra la ley de P₂O₅ en el concentrado y su recuperación en función de la concentración de oleato de sodio entre 1.000 g/t y 3.000 g/t. En las pruebas de flotación las condiciones experimentales se ajustaron a: 35% de sólido, pH 9, y tiempo de acondicionamiento y flotación de 10 minutos (en una sola etapa de flotación).

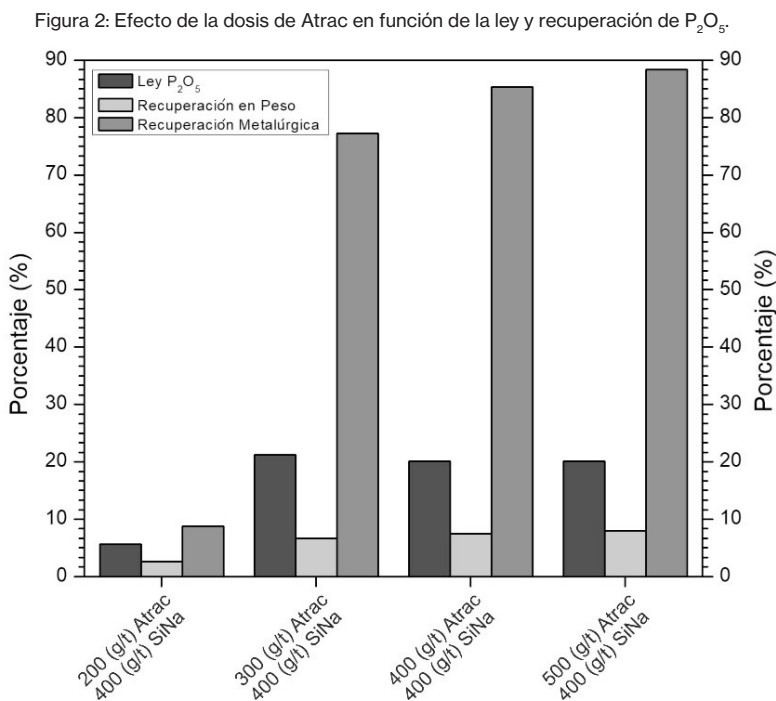
Figura 1: Efecto de la dosis de oleato de sodio en función de la ley y recuperación de P₂O₅.



De dicha figura se deduce que al aumentar la concentración de oleato de sodio se produce un incremento en la recuperación y ley de P₂O₅ hasta 3.000 g/t, donde se obtiene una recuperación de 37,5% y una ley de 2,9% de P₂O₅. También se observa que

manteniendo la dosis de colector (3.000 g/t) y agregando silicato de sodio (400 g/t), la recuperación se incrementa a 45,1% y la ley a 3,3% de P_2O_5 .

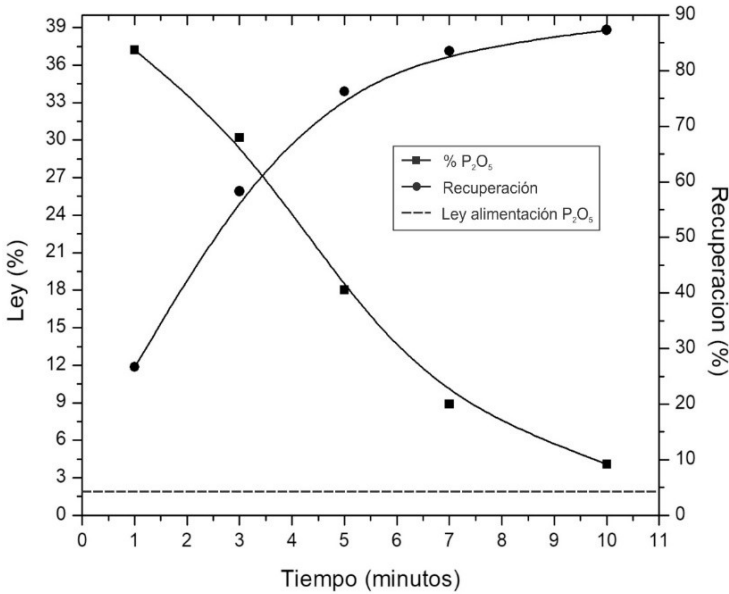
Similarmente, la figura 2 presenta los resultados obtenidos en las pruebas de flotación usando como colector ATRAC® 2600 y silicato de sodio como dispersante. En ella se observa que dicho colector produce una mayor selectividad y recuperación. Como consecuencia de aquello, para una dosis de 400 g/t de colector y 400 g/t de silicato de sodio se obtiene una ley de 20,1% de P_2O_5 en el concentrado, una recuperación en peso de 7,5 % y una recuperación metalúrgica de 84,0 %.



Paralelamente se ejecutaron cinéticas de flotación para analizar la influencia del tiempo de flotación, cuyos resultados se presentan en la figura 3. Es por ello que se realizó estas pruebas usando 400 g/t de Atrac 2600 como colector y 400 g/t de silicato de sodio como dispersante, manteniéndose las mismas condiciones de operación de las pruebas realizadas previamente en este estudio.

En la curva de la cinética de flotación se observa que la ley instantánea de P_2O_5 al cabo del primer minuto de flotación es de 37,2%, que corresponde a una recuperación de 26,6 %, mientras que el aumento del tiempo de flotación produce un incremento en la recuperación.

Figura 3. Cinética de flotación rougher de la apatita usando Atrac.



También se observa que a los cinco minutos la recuperación alcanza a 76,2% y a los 10 minutos 87,3%, cuyas leyes de P₂O₅ fueron 18,0% y 4,1% respectivamente; sin llegar alcanzar en estos tiempos leyes instantáneas de P₂O₅ iguales o inferiores a la ley de alimentación.

El tiempo óptimo de flotación, determinado mediante el método de los Polinomio de Lagrange, es igual a 12 minutos 30 segundos. Se estima que dicho tiempo es muy alto, por lo que se considerará un tiempo de flotación de 5 minutos donde se obtiene una ley de concentrado de 18,0% de P₂O₅ con una recuperación de 76,2%. Para que ello ocurra se hace necesario considerar etapas de cleaner y scavenger al relave rougher, mejorando así la calidad química del concentrado y aumentando la recuperación global.

4 CONCLUSIONES

Las pruebas de flotación directa aplicadas a la muestra de relave de hierro, usando como colector ATRAC® 2600 y silicato de sodio, permiten concluir que es factible la recuperación de fosfato y la obtención de un concentrado de apatita de valor comercial.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería en Metalurgia de la Universidad de Atacama y a la Compañía Minera del Pacífico por el aporte económico

que permitió realizar el trabajo de Titulación de Ingeniería Civil en Metalurgia de la alumna Javiera Oliva Acosta.

REFERENCIAS

Albino, K.I.P., Gorochovceva, N., Klingberg, A., Lima, O.A. (2015). New synthetic collector for the direct flotation of apatite from complex ore. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Poços de Caldas-MG, Brasil.

Alsafasfeh, A., Alagha, I. (2017). Recovery of Phosphate Minerals from Plant Tailings Using Direct Froth Flotation. *Minerals*, 7, 145. DOI:10.3390/min7080145.

Barros, L.A.F., Ferreira, E.E., Peres, A.E.C. (2008). Floatability of apatites and gangue minerals of an igneous phosphate ore. DOI:10.1016/j.mineng.2008.04.012, *Minerals Engineering*, 21 (12): 994-999.

Benzaazoua, M., Bussière, B., Kongolo, M., McLaughlin, J., Marion, P. (2000). Environmental desulphurization of four Canadian mine tailings using froth flotation. DOI: 10.1016/S0301-7516(00)00006-5, *Int. J. Miner. Process.* 60 2000 57-74.

Gorochovceva, N., Klingberg, A., Lannefors, J. (2014). Development of anionic collectors for direct flotation of apatite from complex siliceous ores with a focus on sustainability. *International Mineral Processing Congress. Proceedings XXVII International Mineral Processing. Santiago, Chile. (IMPC, Charper 3) p. 68-78.*

Guimaraes, R.C., Araujo, A.C., Peres, A.E.C. (2005). Reagents in igneous phosphate ores flotation. DOI:10.1016/j.mineng.2004.08.022, *Miner. Eng.* 18 (2), 199-204.

Kinnunen, P., Kaksonen, A. H. (2019). Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization. *Journal of Cleaner Production* 228, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.171>.

SERNAGEOMIN (2015). Catastro de Depósitos de Relaves de Chile. Consultada el 2019 julio [http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/estudios/Catastro-depositos-relave-de Chile](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/estudios/Catastro-depositos-relave-de-Chile).

CAPÍTULO 14

ESTUDO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO E RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS POR SINTERIZAÇÃO AO AR NATURAL

Data de aceite: 01/12/2021

Affonso Henrique Alves Ribeiro

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/3450563939289462>

Margarida Márcia Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1795077420118200>

Rhelman Rossano Urzedo Queiroz

Instituto Federal de Minas Gerais
Campus Ouro Preto
Coordenadoria de Metalurgia
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1745642248868023>

Rosa Malena Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0232995533976144>

solo, em termos de biodiversidade, quanto abaixo dele, em recursos hídricos e minerais. Empresas que atuam no setor de mineração estão presentes por todo o território nacional, gerando uma quantidade enorme de resíduos de pouco ou nenhum valor agregado, que são depositados em barragens. O presente trabalho busca estudar uma forma de destinar resíduos para uma aplicação sustentável e mais segura, utilizando-os no desenvolvimento de materiais compósitos com matriz de alumínio reforçados com partículas dispersas em proporções mássicas de 5, 10 e 15% de resíduos de minério de manganês provenientes de Morro da Mina, em Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais. Os pós foram homogeneizados manualmente em gral de ágata, por 60min e, posteriormente, fez-se a compactação da mistura com pressão de compactação de 173,48MPa. As sinterizações foram realizadas ao ar natural nas temperaturas de 550°C e 600°C com taxa de aquecimento do forno de 5°C/min durante 2h. As caracterizações foram realizadas por perda de massa, densidade geométrica, difração de raios X, área superficial BET, MO, MEV/EDS, análise de imagem e ensaios de compressão. A resistência mecânica de todos os compósitos foi superior à do alumínio puro. Os maiores valores de resistência mecânica foram observados nas amostras com 10% de reforço de resíduos de minério de manganês. As amostras mais densas foram aquelas contendo 10% de finos, seguidas pelas

RESUMO: O Brasil é um país reconhecidamente rico em recursos naturais, tanto sobre o

amostras com 15% de finos. A porosidade das amostras aumentou continuamente com a porcentagem de reforço, chegando ao pico com 15% de finos sinterizadas a 600°C. Comparando com as amostras de alumínio puro, os maiores aumentos nos valores de limite de escoamento foram observados nas amostras contendo 10% de finos de minério de manganês, sendo 121,8% para a sinterização a 550°C e 116,9% quando sinterizadas a 600°C.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais compósitos com matriz de alumínio. Resíduos de mineração. Sinterização.

STUDY OF COMPOSITES WITH ALUMINUM MATRIX AND MANGANESE ORE TAILINGS BY NATURAL AIR SINTERING

ABSTRACT: Brazil is a country known to be rich in natural resources, as on the ground, in terms of biodiversity, as below it, in water and mineral resources. Mining industries are present throughout the country, generating an enormous amount of tailings with little or no commercial value, which is deposited in tailings dams. The present work aims to study a way to dispose of these tailings for a sustainable and safer application, using them in the manufacture of composite materials with aluminum matrix reinforced with dispersed particles, in mass proportions of 5, 10 and 15% of tailings from manganese ore. The tailings are from Morro da Mina, in Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais. The powders were manually homogenized in an agate mortar for 60min and, later, the mixture was compacted with a compaction pressure of 173.48MPa. The sinterings were performed under natural air at 550°C and 600°C during 2h with a heating rate of 5°C/min. The characterizations were carried out by mass loss, geometric density, X-ray diffraction, BET surface area, OM, SEM/EDS, image analysis and compression tests. The mechanical strength of all composites was superior to that of pure aluminum. The highest values of mechanical strength were observed in samples with 10% reinforcement of manganese ore tailings. The values of density of the samples containing 10% tailings were the highest, followed by samples with 15%. The samples porosity increased continuously with the percentage of reinforcement, reaching the highest values in the samples containing 15% of tailings sintered at 600°C. The greatest values of yielding strength were observed in the samples containing 10% manganese ore tailings, values of 121.8% for sintering at 550°C and 116.9% when sintering at 600°C, comparing with pure aluminum.

KEYWORDS: Aluminum matrix composites. Tailings. Sintering.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos possuem uma ampla variedade de aplicações na indústria em geral com um crescimento em seu uso de 5% ao ano. Esses materiais foram introduzidos na indústria aeroespacial na década de 60, o que permitiu projetos estruturais mais leves e flexíveis, ao mesmo tempo que poderiam ser aplicados em condições severas de temperatura e de erosão. Desde então, a sua utilização se entendeu para os

setores militar, automotivo, esportivo e vários outros (ASKELAND, 2008; CHAWLA, 1987; REZENDE; BOTELHO, 2000; CALLISTER, 2018).

Os compósitos são constituídos por duas fases, denominadas fase matriz e fase de reforço. Quanto à matriz, os principais materiais compósitos podem ser com matriz polimérica (CMP), com matriz metálica (CMM) e com matriz cerâmica (CMC). As duas primeiras classificações permitem maior ductilidade, enquanto a terceira possibilita alta resistência mecânica. Quanto à fase de reforço, os compósitos podem ser reforçados com partículas, com fibras ou estruturais (LEVY NETO; PARDINI, 2006; CALLISTER, 2019).

O alumínio é um elemento de destaque para a obtenção de compósitos de matriz metálica por causa de sua ductilidade, leveza e passividade com relação à corrosão. A adição de reforços particulados na matriz de alumínio é muito estudada porque o reforço particulado influencia positivamente na estabilidade térmica e melhora a resistência ao desgaste em relação à matriz (LEVY NETO; PARDINI, 2006; BROPHY *et al.*, 1972). Diversos estudos têm sido realizados em compósitos utilizando matriz de alumínio, ou liga de alumínio, reforçada com partículas cerâmicas utilizando diferentes processos de fabricação, entre eles a Metalurgia do Pó. Dentre os vários estudos encontrados na literatura, cita-se: Wang *et al.* (2010)-alumínio reforçado com Al_2O_3 ; Fogagnolo (2000)-liga de alumínio AA6061 reforçada com Si_3N_4 , ZrB_2 e AlN; Ferreira (2017)-alumínio reforçado com nano partículas magnéticas (Fe_3SO_4) e adição de partículas de Al_2O_3 , B, Si, Ni, Cu, e Mo; Barbosa, Mourisco e Ambrozio Filho (2000)-liga de alumínio AA1100 reforçada com SiC; Araujo Filho *et al.* (2014)-liga de alumínio AA2124 reforçada com Si_3N_4 ; Rahimian, Parvin e Ehsani (2010)-alumínio reforçado com Al_2O_3 ; Mourisco (1995)-liga Al1100 reforçada com SiC; Akbari, Baharvandi e Mirzaee (2014)-liga de alumínio A356 reforçada com Al_2O_3 , e outros.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2014), o setor mineral constitui uma parte considerável do PIB e das exportações brasileiras, cerca de 4% e 23,5%, respectivamente, gerando muitos empregos e abastecendo muitos outros setores da economia. Entretanto, a gestão dos rejeitos produzidos pelos processos industriais é um assunto de destaque e ganhou a atenção da mídia com o rompimento de duas barragens no estado de Minas Gerais, uma em Mariana (2015) e outra em Brumadinho (2019).

A maior parte dos rejeitos provém da etapa de beneficiamento, quando o minério extraído é separado em duas partes: concentrado, que possui minerais com grande concentração do elemento desejado, e ganga (ou rejeito), que é constituído de outros minerais que não são aproveitados no processo. Os rejeitos da mineração podem ser aproveitados substituindo matérias primas mais caras ou escassas, desde que o impacto

causado por essa substituição seja baixo, não prejudicando a aplicação ou o desempenho do material produzido. Um efeito secundário, mas muito bem-vindo dessa aplicação, além da redução do custo, é a redução do impacto ambiental relacionado à extração da matéria prima original e ao descarte dos rejeitos de minério.

O manganês é encontrado na natureza em mais de cem minerais, na forma de óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos e sulfetos, se apresentando nos estados bi, tri e tetravalente, sendo os principais minerais a pirolusita, criptomelana, hausmannita, pisomelano e braunita (ABREU, 1973). Na mina de Morro da Mina (MG-Brasil) encontra-se rodocrosita, piroxangita, espessartita e tefroita, com poucas frentes de óxidos, como a pirolusita, criptomelana e manganita (REIS, 2005; FARIA, 2011).

Estudos preliminares envolvendo resíduos de minério de manganês provenientes de Morro da Mina mostraram que este material possui grande capacidade de aderência em outros materiais, além de elevada resistência mecânica quando obtidos na forma de peças sinterizadas (LIMA, 2010; LINHARES, 2012; PEREIRA, 2014; SOUZA, 2015; LIMA, 2016). Com o intuito de propor uma aplicabilidade para estes resíduos, neste trabalho obteve-se compósitos com reforços de 5, 10 e 15% utilizando matriz metálica de alumínio pelo processo de sinterização ao ar natural.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Inicialmente, pós de resíduos de minério de manganês foram moídos e peneirados a úmido em uma série de peneiras Tyler e secados em estufa. O peneiramento foi realizado em peneiras com aberturas de 300, 212, 150, 106, 75, 53 e 38 μ m. As amostras com tamanho menor que 38 μ m foram analisadas em um granulômetro a laser, modelo 1064, da marca Cilas. Os finos de minério foram calcinados a uma temperatura de 800°C por 2h, objetivando a eliminação de produtos voláteis do minério.

Para obtenção das amostras a verde dos compósitos foi utilizado pó de alumínio com pureza de 99,7% e granulometria com $D_{90}=73,43\mu$ m, fornecido pela ALCOA, para confecção da fase matriz. A fase dispersa foi composta de pós de resíduos finos de minério de manganês proveniente de Morro da Mina, em Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.

A homogeneização das misturas de pó de alumínio com os finos de minério de manganês foi realizada durante uma hora e a seco em um gral de ágata. A compactação das amostras a verde foi realizada em uma prensa hidráulica da marca Nowak utilizando matrizes de aço temperado e revenido SAE 4340 com diâmetro interno de 6mm lubrificadas

com pó de carvão mineral ativado. Uma massa de 0,48g de mistura homogeneizada foi vazada na matriz para obtenção das amostras à verde que apresentaram uma altura média de 7mm. As massas das amostras foram mensuradas utilizando uma balança analítica com precisão de quatro casas decimais da marca Sartorius. A carga aplicada pela prensa sobre as amostras foi de 0,5tf, resultando em uma pressão de compactação de aproximadamente 173,42MPa. O tempo de aplicação da carga foi de um minuto.

Foram confeccionadas 10 amostras para cada proporção mássica de finos de minério de manganês pré-estabelecidas, sendo 5%, 10% e 15%. Amostras de alumínio puro também foram obtidas para termos de comparação dos compósitos obtidos. As sinterizações foram realizadas em um forno mufla com taxa de aquecimento de 5°C/min nas temperaturas de 550°C e 600°C durante 2h ao ar natural. O resfriamento das amostras foi realizado no forno até a temperatura de 100°C e, posteriormente, ao ar livre até que atingissem a temperatura ambiente.

2.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Para caracterização das microestruturas das amostras fez-se embutimento a frio sob vácuo utilizando resina e endurecedor de cura longa em molde de borracha nas secções transversais e longitudinais das amostras para cada condição de trabalho. Os lixamentos e polimentos foram realizados numa lixadeira/politriz metalográfica. Os lixamentos foram realizados com lixas de carbetto de silício e os polimentos com pasta de diamante e alumina.

Para as análises de imagem foram coletadas 10 imagens das secções transversais e longitudinais para cada condição de trabalho utilizando um aumento de 200X a fim de determinar a porcentagem de porosidade. Para tanto, foi utilizado um microscópio óptico da marca Olympus, modelo BX51M, acoplado a uma câmera interligada a um computador. As análises de imagem foram feitas utilizando o software Analysis da Olympus. Um microscópio eletrônico de varredura, da marca Jeol, modelo JSM 6510, com acoplamento de um sistema EDS da marca Oxford, modelo X-Max 20 foi utilizado para obtenção de fotomicrografias e análises químicas de microrregiões EDS.

2.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

2.3.1 Área superficial BET

Uma amostra de cada condição de trabalho foi utilizada para os ensaios de área superficial BET utilizando um equipamento da marca Quantachrome, modelo NOVA 1200e.

2.3.2 Densidade geométrica

Antes e após a etapa de sinterização, a altura e o diâmetro das amostras foram mensurados com um paquímetro digital, da marca Mitutoyo, e suas massas na mesma balança citada no item 2.1. Os valores de densidade geométrica (ou massa específica) das amostras foram calculados dividindo a suas massas pelos seus respectivos volumes.

2.3.3 Ensaios de compressão

Os ensaios de compressão foram realizados em uma máquina universal de ensaios, da marca Time Group, modelo WDW40, com célula de carga da marca Transcell Technology Inc., modelo DBSL-SJ-10t, com capacidade de 10 toneladas. A taxa de deformação foi de $5,55 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A composição química do pó de alumínio utilizado como a fase matriz no compósito reforçado com finos de minério de manganês, Al-99,70%, Fe-0,21%, Si-0,05% e outros metais-0,02%, foi fornecida pela ALCOA.

As distribuições granulométricas dos pós de alumínio e do rejeito de minério de manganês podem ser vistas nas Figs 1 e 2, respectivamente. Nota-se que as partículas do pó de alumínio possuem $D_{90} = 135,04 \mu\text{m}$, enquanto as partículas de rejeito de minério de manganês apresentam $D_{90} = 465,63 \mu\text{m}$. Assim, as partículas do rejeito do minério de manganês são muito maiores que as partículas do pó de alumínio. Trata-se de um compósito reforçado com partículas grandes. A diferença dos tamanhos das partículas influi nos resultados das propriedades mecânicas dos compósitos obtidos, principalmente a resistência mecânica. Partículas maiores e mais angulosas tendem a deixar o compósito mais poroso, com mais vazios na interface matriz-reforço, como também foi observado por Ferreira (2017). Desse modo, a transferência da carga recebida pelo compósito da matriz para o agente de reforço é dificultada. (Callister, 2018, Askeland, 2008)).

3.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

3.2.1 Difração de raios X

Os resultados dos ensaios de difração de raios X do pó de alumínio mostraram picos somente do alumínio puro comprovando a sua pureza bem elevada. Para o minério

de manganês, como recebido, e com granulometria menor que $38\mu\text{m}$, Tabelas 1 e 2, detectaram-se picos relacionados a compostos que contêm o manganês como fase predominante, além de fases contendo outros elementos, principalmente silício (devido à natureza sílico-carbonatada do resíduo). Nas análises realizadas, constatou-se que a espessartita, da qual se extrai o manganês, é o mineral de maior porcentagem em peso nos resíduos analisados. Por se tratar de um rejeito, é esperado que em sua composição existam diversos minerais e menor concentração do metal de interesse, o que torna a sua extração mais onerosa e de menor interesse econômico.

Figura 1 - Distribuição granulométrica do pó de alumínio.

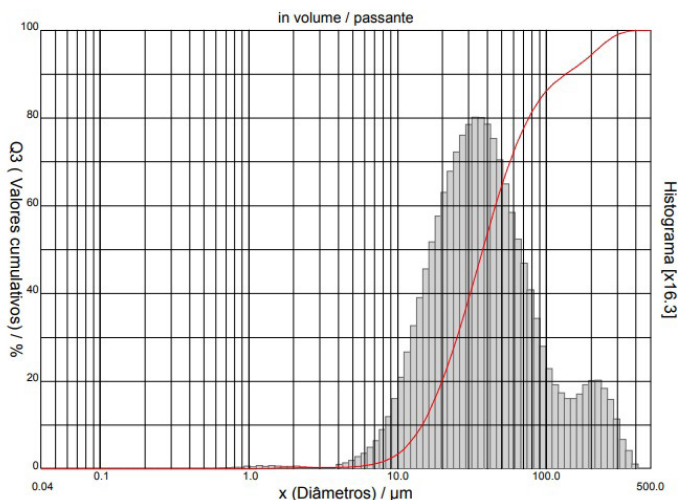


Figura 2 - Distribuição granulométrica do rejeito de minério de manganês.

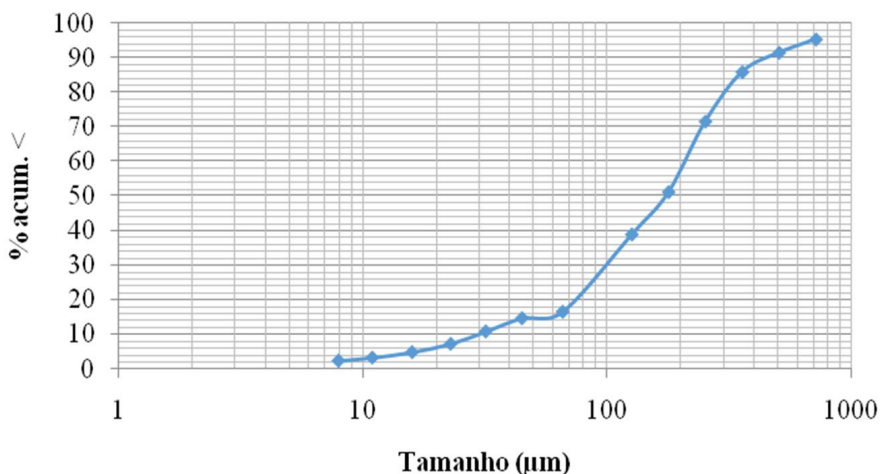


Tabela 1 - Compostos presentes nos finos de minério de manganês detectados por difração de raios X.

Composto	Fórmula química
Espessartita	$Mn^{2+}_3Al_2(SiO_4)_3$
Titanita	$CaTiSiO_5$
Cordierita	$(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$
Rodonita	$(Mn^{2+},Fe^{2+},Mg,Ca)SiO_3$
Biotita	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$
Anidrita	$CaSO_4$

Tabela 2 - Compostos presentes nos finos de minério de manganês menores que 38µm, detectados por difração de raios X.

Composto	Fórmula química
Espessartita	$Mn^{2+}_3Al_2(SiO_4)_3$
Titanita	$CaTiSiO_5$
Cordierita	$(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$
Rodonita	$(Mn^{2+},Fe^{2+},Mg,Ca)SiO_3$
Biotita	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Energia Dispersiva

As microestruturas das amostras obtidas por MEV podem ser observadas nas Figs 3 a 8. Nota-se que o alumínio formou uma matriz contínua, com porosidade, permeada pelas partículas de reforço, dispersas homoganeamente. Ao analisar as interfaces matriz-agente de reforço, nota-se a presença de alguma porosidade denotada pelas regiões escuras. No entanto, não se observou aglomeração de partículas com o aumento da quantidade de reforço. Além disso, por se tratar de um resíduo de minério, as partículas de reforço têm diferentes formatos e composições químicas.

Figura 3 - Compósito de Al-5% de residuo de minério de manganês sinterizado a 550°C.

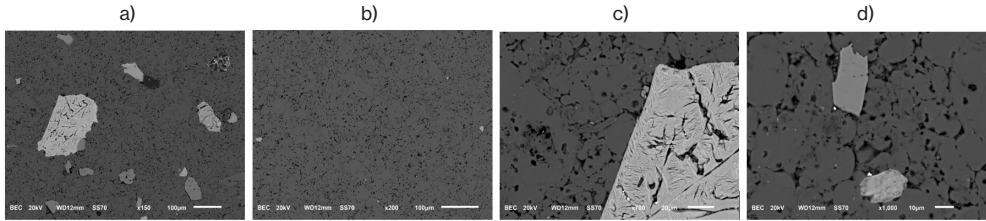


Figura 4 - Compósito de Al-5% de residuo de minério de manganês sinterizado a 600°C.

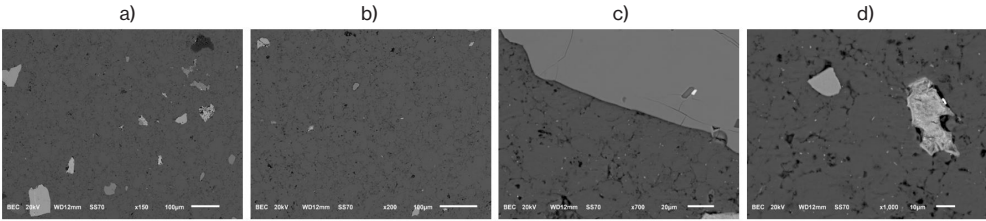


Figura 5 - Compósito de Al-10% de residuo de minério de manganês sinterizado a 550°C.

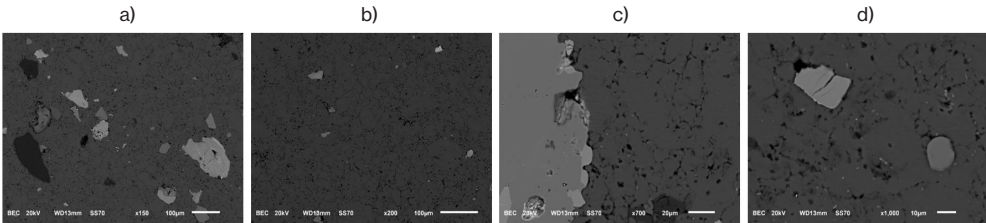


Figura 6 - Compósito de Al-10% de residuo de minério de manganês sinterizado a 600°C.

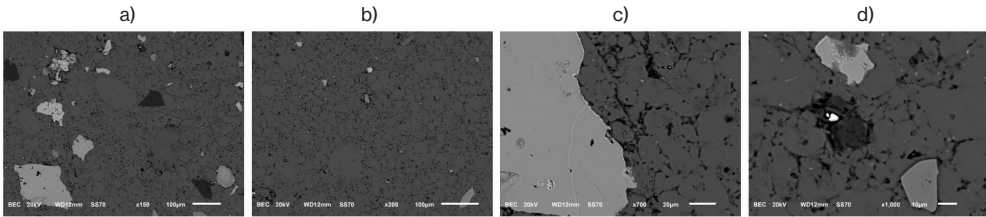


Figura 7 - Compósito de Al-15% de residuo de minério de manganês sinterizado a 550°C.

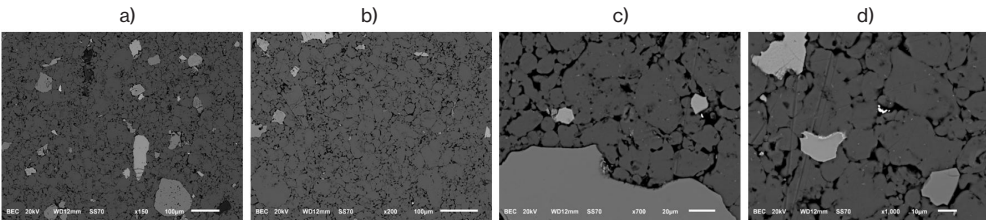
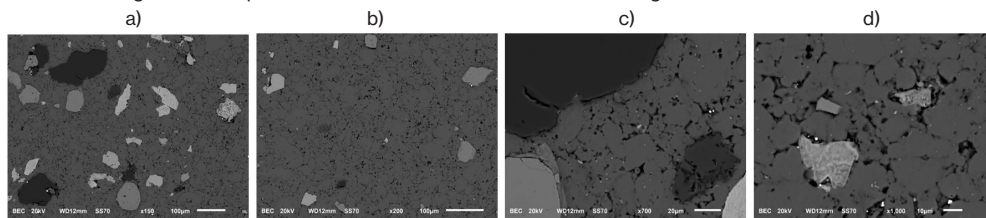


Figura 8 - Compósito de Al-15% de residuo de minério de manganês sinterizado a 600°C.



Análises químicas de microrregiões EDS foram realizadas nas diferentes partículas das microestruturas dos compósitos, Figs 9 a 11. Foram constatadas as presenças de fases ricas Mn, Mg, Al, Si, Zr, K, Ca, Se e Fe. A presença do magnésio se justifica pela sua grande afinidade química pelo manganês, por possuírem números atômicos próximos, sendo facilmente encontrados juntos na natureza. Com certeza, a fase rica em silício é o quartzo, pois utilizou-se um resíduo de minério sílico-carbonatado. As fases também foram confirmadas por mapeamento de regiões por elementos específicos, reforçando os resultados das outras análises realizadas. As imagens das regiões, além de seus respectivos espectros podem ser observadas nas Figs 12 e 13.

3.2.3 Análise de imagem para determinação da porcentagem de porosidade

Os resultados das análises de imagens das microestruturas das amostras por microscopia óptica mostram que os valores de porosidade aumentam com a porcentagem de finos de minérios de manganês, para a secção longitudinal, Fig. 14 a), semelhante ao observado por Ferreira (2017) e Akbari, Baharvandi e Mirzaee (2014). Nota-se também que os valores de porosidade foram nitidamente mais elevados nas secções transversais que nas secções longitudinais, Fig. 14 b). Atribui-se o aumento de porosidade pela evaporação de produtos voláteis do resíduo de minério de manganês, maior oxidação das partículas de alumínio em temperaturas mais elevadas e caminho de fluxo dos gases nas amostras da base para o topo, o que culminou nos maiores valores de porosidade nas secções transversais. Comparativamente, para 15% de reforço, supõe-se que o maior número de partículas de reforço diminui a quantidade de porosidade na secção transversal. O efeito da temperatura no aumento de porosidade foi discreto.

Figura 9 - Análise química de microrregião por EDS do compósito reforçado com 10% de resíduo de minério de manganês sinterizado a 550°C.

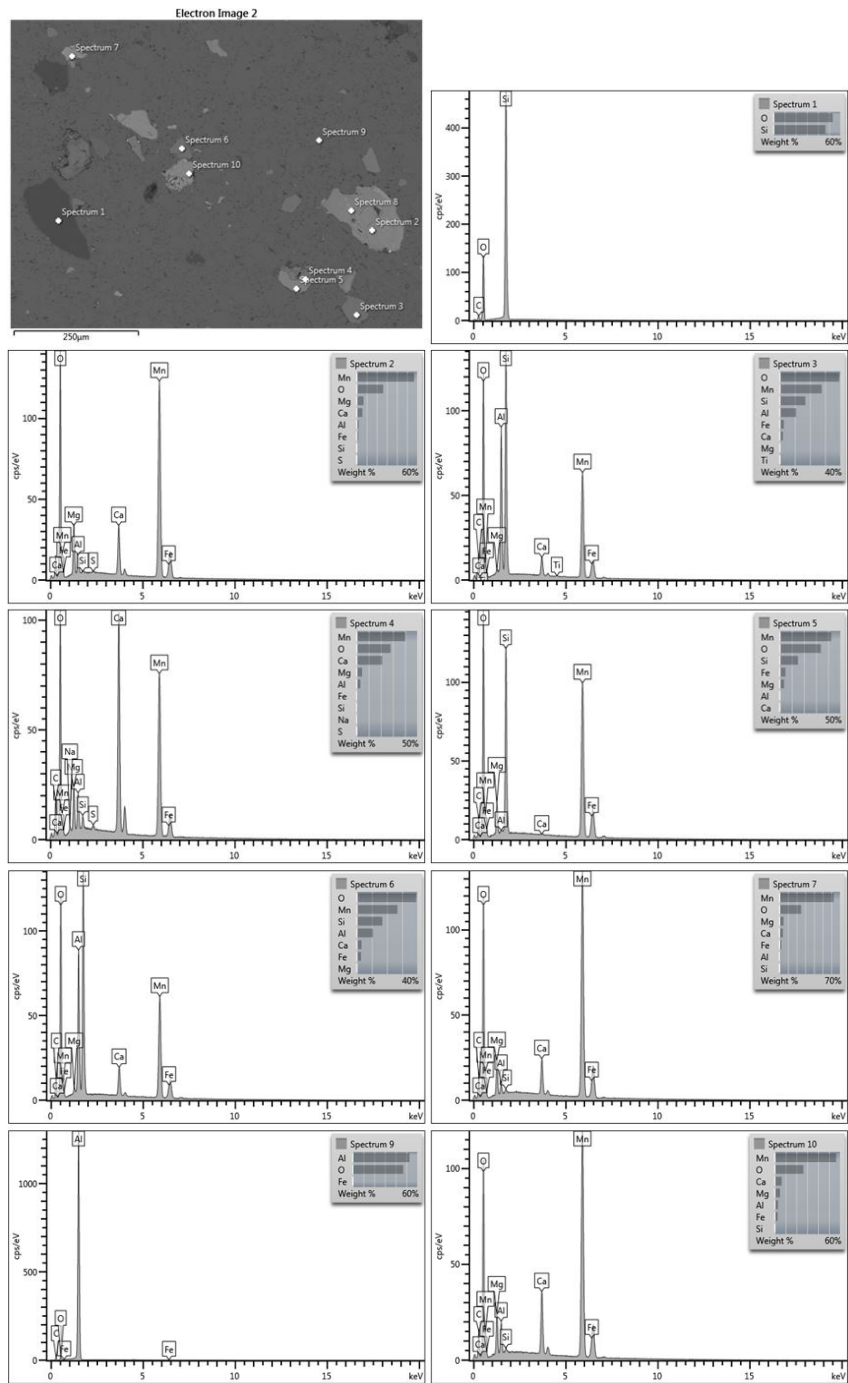


Figura 10 - Análise química de microrregião por EDS do compósito reforçado com 10% de resíduo de minério de manganês sinterizado a 600°C.

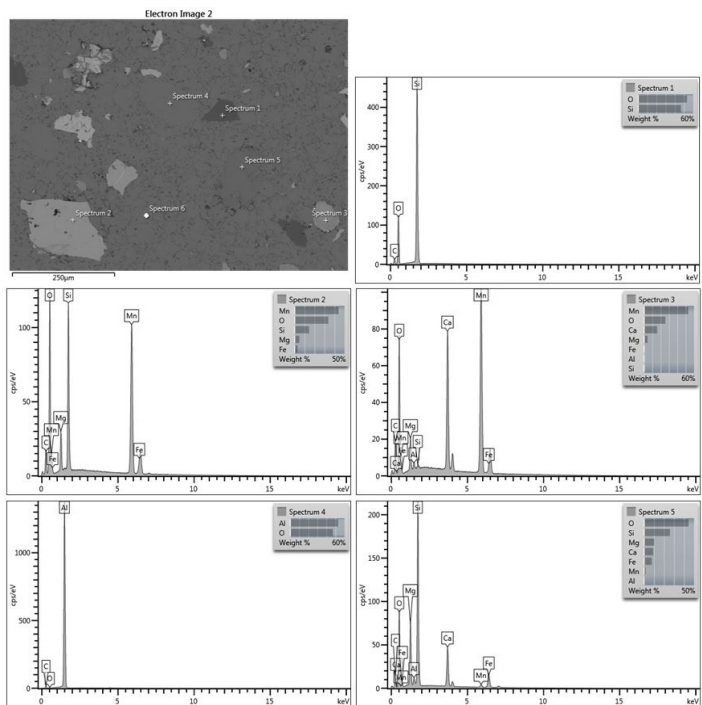


Figura 11 - Análise química de microrregião por EDS do compósito reforçado com 15% de resíduo de minério de manganês sinterizado a 600°C.

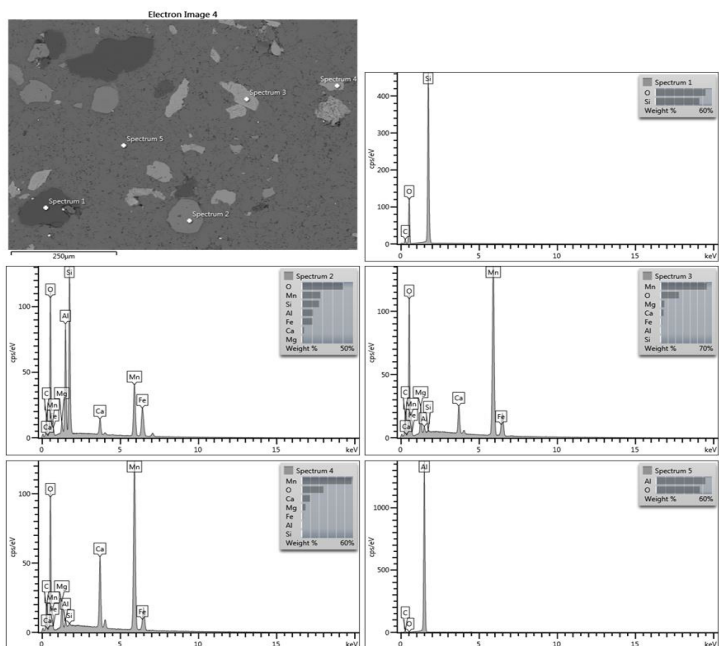


Figura 12 - Mapa de análise química por EDS do compósito reforçado com 5% de resíduo de minério de manganês sinterizado a 550°C.

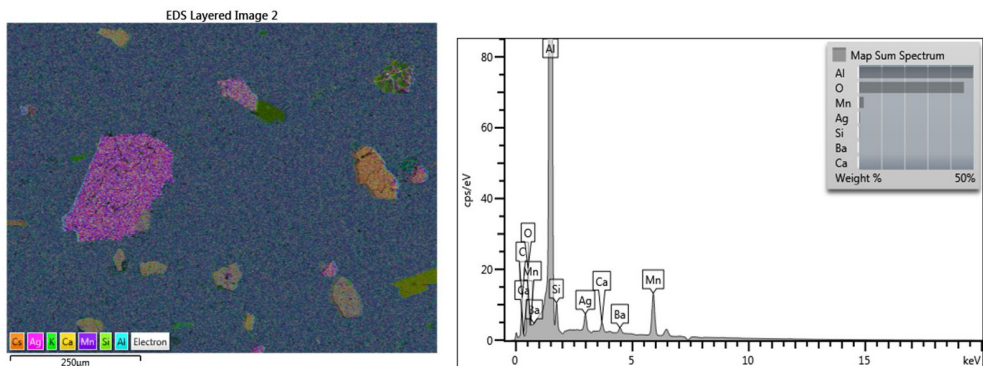


Figura 13 - Mapa de análise química por EDS do compósito reforçado com 15% de resíduo de minério de manganês sinterizado a 600°C.

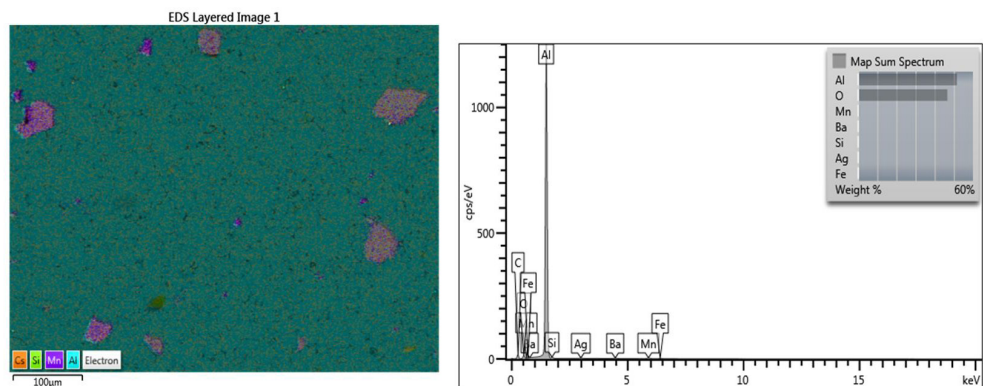
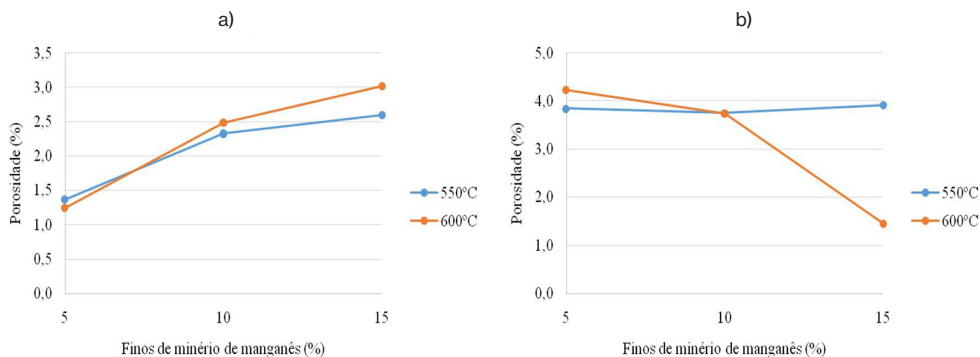


Figura 14 - Porcentagem de porosidade nas secções: a) longitudinal e b) transversal.



3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

3.3.1 Área superficial BET

Os valores de área superficial BET das amostras sinterizadas estão apresentados na Tabela 3. Sabe-se que os materiais metálicos apresentam valores de área superficial próximo de zero. Observa-se que dentre todas as condições de trabalho, as amostras com 10% de reforço apresentam os menores valores. Assim, presume-se que estas amostras são mais densas e apresentam maior resistência mecânica que as demais. As diferenças foram ligeiramente diferentes, no entanto, de forma geral, a maior temperatura proporcionou uma maior redução nos valores de área superficial.

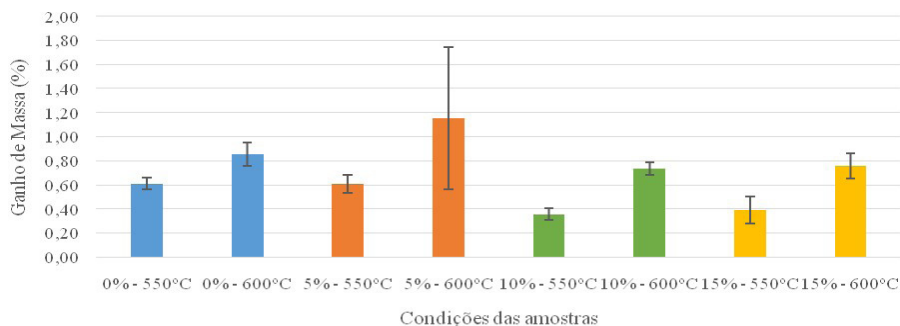
Tabela 3 - Área superficial BET das amostras sinterizadas.

Amostra	Área superficial (m ² /g)
5% - 550°C	3,12
5% - 600°C	3,13
10% - 550°C	2,58
10% - 600°C	2,55
15% - 550°C	2,87
15% - 600°C	2,57

3.3.2 Análise de massa

Devido à atmosfera natural utilizada no processo de sinterização foram observados ganhos de massa nas amostras para todas as condições de trabalho, inclusive de alumínio puro, conforme apresentado na Fig. 15. Não é possível notar um padrão bem definido de variação de massa em função da proporção de reforço. Porém, é notável o maior ganho de massa nas amostras sinterizadas à 600°C denotando o efeito da temperatura na oxidação das partículas de alumínio. Diferentemente da atmosfera natural utilizada neste trabalho, Ferreira (2017), Rahimian, Parvin e Ehsani (2010) e Akbari, Baharvandi e Mirzaee (2014) utilizaram atmosfera de argônio com o intuito de deixar o ambiente inerte.

Figura 15 - Ganho de massa versus condição de trabalho.

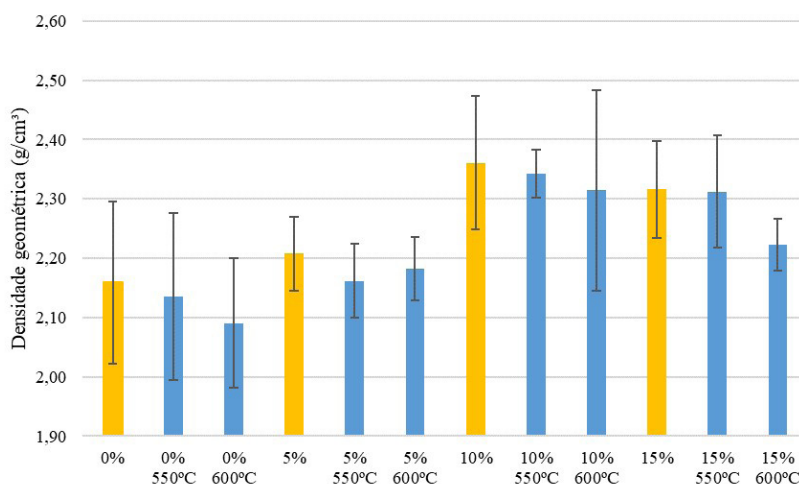


3.3.3 Densidade geométrica

Os valores de densidade dos compósitos a verde e sinterizados podem ser vistos na Fig. 16. Devido à oxidação da matriz de alumínio, evaporação de produtos voláteis, má aderência da matriz de alumínio com o agente de reforço, os valores de densidade de todas as amostras sinterizadas foram menores que das amostras à verde. No entanto, todos os compósitos apresentaram maiores valores de densidade que o alumínio puro devido à maior densidade das partículas de reforço. Ferreira (2017) também notou essa tendência de densidade superior à densidade das amostras de alumínio puro, em todas as proporções de mistura. Além disso, como a difusão é um processo termicamente ativado, quanto maior a temperatura, maior a oxidação das partículas de alumínio e menores os valores de densidade.

Interessante observar que as amostras contendo 10% de finos de minério de manganês, tanto a verde, quanto em ambas as temperaturas de sinterização, apresentaram os maiores valores de densidade geométrica, seguidas pelas amostras contendo 15%. Por outro lado, maiores quantidades de reforço implicam em maior porosidade e pior adesão entre matriz e agente de reforço. No entanto, como em outros compósitos reforçados por partículas, a proporção de mistura de 10% em matriz de alumínio proporcionou os maiores valores de densidade. Como a redução dos valores de densidade das amostras sinterizadas foi acompanhado por ganho de massa, pode se concluir que a densificação das amostras foi acompanhada pelo surgimento de poros (pela evaporação de elementos contidos nas partículas de reforço), o que contribui para uma sensível expansão do compósito, e pela oxidação da amostra durante a sinterização.

Figura 16 - Relação entre densidade geométrica a verde (em amarelo) e após sinterização (em azul). 0%: amostras de alumínio.



3.3.4 Ensaios de compressão

As curvas obtidas nos ensaios de compressão dos compósitos podem ser vistas nas Figs 17 e 18. Nota-se pela forma das curvas um comportamento tipicamente dúctil devido à alta deformação plástica da matriz de alumínio.

Os valores da tensão de escoamento para todas as condições de trabalho são apresentados na Tabela 4.

Pode ser notado que o limite de escoamento das amostras foi maior para a sinterização a 550°C, exceto para 5% de finos de resíduos de minério de manganês. Este comportamento sugere a menor oxidação das partículas de alumínio proporcionando um maior valor de limite de escoamento nesta temperatura. Para as duas temperaturas, os resultados obtidos seguem o que foi apontado nos estudos de Rahimian, Parvin e Ehsani (2010), para compósitos com matriz de alumínio reforçado com alumina, no qual a adição de reforço melhorou as propriedades mecânicas das amostras estudadas.

O maior valor do limite de escoamento foi observado nas amostras contendo 10% de finos de minério de manganês, em ambas as temperaturas de sinterização. Comparando com as amostras de alumínio puro, o aumento foi de 121,8%, para as amostras sinterizadas a 550°C, e de 116,9%, para as amostras sinterizadas a 600°C.

Tabela 4 - Limite de escoamento médio para as diferentes condições de trabalho (MPa).

% de minério de manganês	550°C	600°C
0	33,97 ± 6,20	31,85 ± 3,27
5	32,44 ± 2,98	35,94 ± 10,57
10	75,33 ± 8,83	69,08 ± 31,29
15	60,65 ± 32,24	40,74 ± 7,96

Nota-se pelas Figs 17 e 18 que a região de transição da deformação elástica para a plástica é menos pronunciada para o alumínio puro e o compósito com 5% de reforço. O início da região plástica dos compósitos com 10 e 15% de finos de minério de manganês é nitidamente mais alto denotando a eficiência do reforço na interação com a movimentação das discordâncias no processo de encruamento da matriz de alumínio. Para a temperatura de 600°C, Fig. 18, no regime plástico, houve um aumento de resistência mecânica para todas as condições de trabalho, exceto para o compósito com 15% de finos, devido à maior porosidade. Além disso, o maior aumento de resistência mecânica se deu para 10% de reforço. Estas constatações também foram encontradas nos estudos de Rahimian, Parvin e Ehsani (2010).

Figura 17 - Aspecto das curvas tensão versus deformação dos compósitos sinterizados a 550°C: a) Al puro, b) Al-5% de finos, c) Al-10% de finos e d) Al-15% de finos.

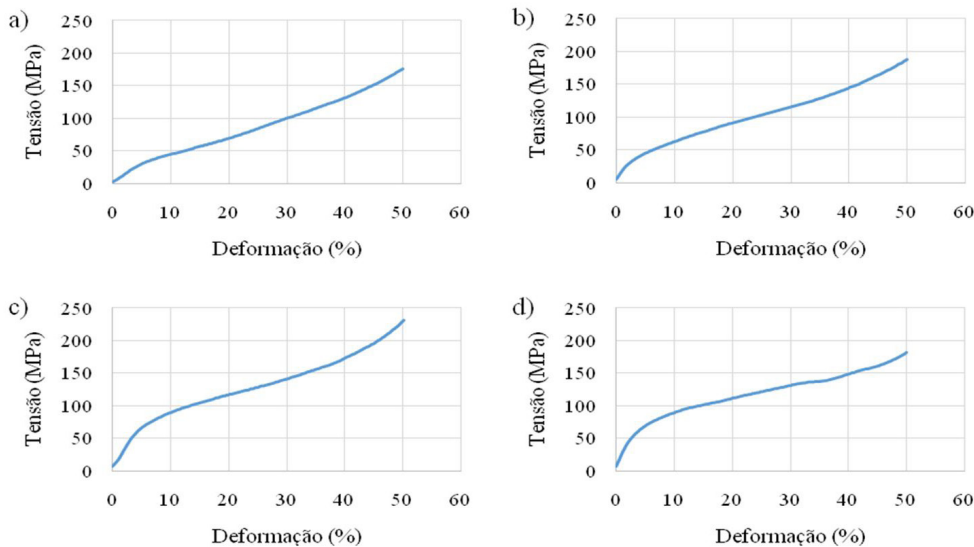
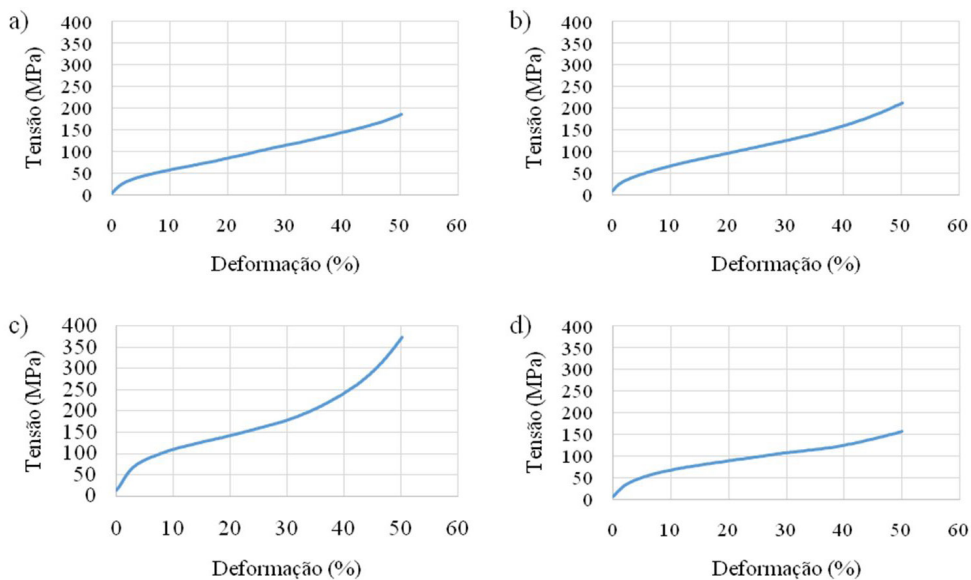


Figura 18 - Aspecto das curvas tensão versus deformação dos compósitos sinterizados a 600°C: a) Al puro, b) Al-5% de finos, c) Al-10% de finos e d) Al-15% de finos.

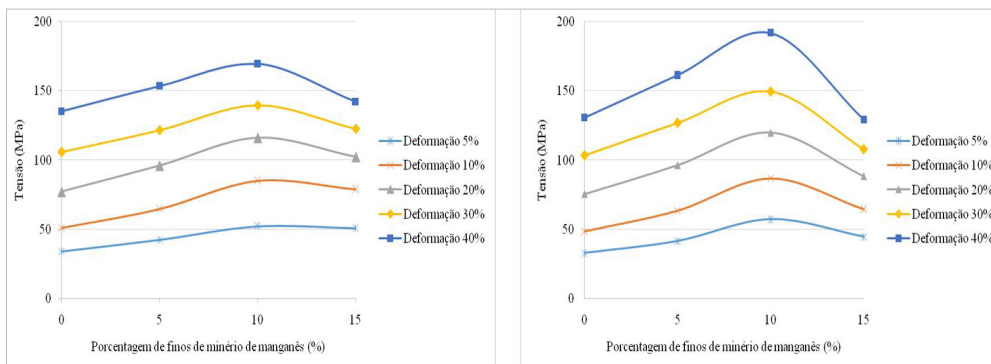


O efeito do encruamento e do reforço nas duas temperaturas estudadas pode ser visto na Fig. 19. Para todas as deformações, nota-se que os compósitos adquiriram maior resistência mecânica que as amostras de alumínio puro.

Para as amostras sinterizadas a 550°C, Fig. 19 a), as amostras com 10% de finos de minério de manganês apresentaram maior resistência mecânica em todas as deformações do que as outras proporções, o que pode ser explicado pelo barramento das discordâncias ser mais efetivo do que nas amostras com 5%. A maior porosidade pode ter causado a fragilização nas amostras com 15% de finos de minério, fato que as tornou menos resistentes que as amostras com 10%.

Na Fig. 19 b) podem ser observados os valores de tensão para as amostras sinterizadas a 600°C. Para a deformação de 40%, nas amostras com 10% de finos de minério de manganês, a tensão atingida foi muito maior que a tensão para 15%, fato que pode ser explicado pela fragilização destas, devido à maior porcentagem de fase dispersa, além da maior dificuldade (comparada às amostras com 10% de finos) de adesão na matriz por conta da maior presença de partículas com grande área de interface e, conseqüentemente, maior porosidade. Este fato é reforçado pela percepção de que as amostras com 5% de reforço são sensivelmente mais resistentes que as de 15%, uma vez que as amostras com 5% de finos possuem menor porcentagem de fase dispersa possibilitando uma matriz mais contínua e um maior encruamento.

Figura 19 - Tensão versus porcentagem de finos de minério de manganês nos compósitos sinterizados: a) 550°C e b) 600°C.



Considerando o encruamento, dentre todas as condições de trabalho analisadas, a que apresentou maior resistência mecânica foi o compósito com 10% de finos de minério de manganês, sinterizado a 600°C. A quantidade de partículas de reforço e a temperatura de sinterização foram combinadas para barrar as discordâncias com maior eficiência que as amostras com 5%, e permitiram uma matriz com menos porosidade e fragilidade que as amostras com 15% de finos de minério.

4 CONCLUSÕES

Para as condições de trabalho realizadas, conclui-se que:

Foram obtidos compósitos reforçados com finos de resíduos de minério de manganês com resistência mecânica superior ao alumínio puro.

A homogeneização das amostras foi satisfatória, uma vez que não se observou regiões com aglomeração de partículas do reforço.

Devido à oxidação do alumínio, houve ganho de massa e de volume após o processo de sinterização. O maior ganho de massa ocorreu para a temperatura de 600°C, sendo o maior valor ($1,15 \pm 0,59$)% para as amostras contendo 5% de resíduos de minério de manganês.

O maior valor de densidade geométrica encontrado para o compósito com 10% de finos de minério de manganês foi de ($2,34 \pm 0,04$)g/cm³ para sinterização a 550°C e ($2,31 \pm 0,17$)g/cm³ para 600°C, seguidas pelas amostras com 15% de finos, sinterizadas a 550°C.

As amostras contendo 15% de finos de minério de manganês apresentaram maior porosidade, tanto na matriz de alumínio quanto nas interfaces entre a matriz e as partículas de reforço.

Os valores de porosidade da seção longitudinal das amostras aumentaram com a porcentagem dos finos de minério de manganês, chegando ao máximo para 15% de finos em sinterização a 600°C. Os resultados variaram de ($1,25 \pm 0,17$)% para as amostras contendo 5% de finos de minério de manganês sinterizadas a 600°C até ($3,02 \pm 0,83$)% para as amostras contendo 15% de reforço sinterizadas a 600°C.

As amostras contendo 10% de finos de minério de manganês apresentaram o maior limite de escoamento, com aumentos de 121,8%, para a sinterização a 550°C, e de 116,9% para a sinterização a 600°C, quando comparadas ao alumínio puro. Para todas as amostras, o maior limite de escoamento foi observado nas amostras sinterizadas a 550°C.

Considerando-se o encruamento, a maior resistência mecânica foi encontrada para o compósito reforçado com 10% de finos de minério de manganês, sinterizado a 600°C.

5 AGRADECIMENTOS

À ALCOA de Poços de Caldas-MG pela doação e análise química do pó de alumínio utilizado neste trabalho. À FAPEMIG, VALE, CNPq e a Universidade Federal de Ouro Preto.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1973.

AKBARI, M. K.; BAHARVANDI, H. R.; MIRZAEI, O. Investigation of particle size and reinforcement content on mechanical properties and fracture behavior of A356-Al₂O₃ composite fabricated by vortex method. **Journal of Composite Materials**, v. 48, n. 27, p. 3315-3330, 2014.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 594 p.

BARBOSA, L. P.; MOURISCO, A. J.; AMBROZIO FILHO, F. Microestrutura de compósitos alumínio carbetos de silício obtidos por moagem de alta energia, (2000), 19301 - 19309.

BROPHY, J. H.; PEARSALL, G. W.; ROSE, R. M.; SHEPARD, L.; MOFFAIT, W. G.; WULFF, J.; HAYDEN, H. **Ciência dos materiais: estrutura, propriedades termodinâmicas**. Rio de Janeiro: LTC, 1972.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CHAWLA, K. K. **Composite Materials: Science and Engineering**. New York USA, 1987.

FARIA, Geraldo Lúcio de. **Estudo geometalúrgico de granulados e pelota de minério de manganês**. 302 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

FERREIRA, Lygia Maria Policarpo. **Fabricação e caracterização de compósitos de alumínio reforçado com nano partículas magnéticas, via metalurgia do pó**. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

FOGAGNOLO, João Batista. **Estudo do processo de fabricação de materiais compósitos de matriz de alumínio por metalurgia do pó, via moagem de alta energia e extrusão**. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia da Fabricação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 416 p.

LIMA, M. M. F.; ANDRADE, E. M.; LIMA, R. M. F.; GONÇALVES, D. H.; LIMA, G. F. **Characterization and sintering of low-manganese ore fines**, 2010. Local: Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto; Cidade: Ouro Preto – MG – Brasil. In: IX Brazilian MRS Meeting; Inst. promotora/financiadora: Sociedade Brasileira de pesquisa em Materiais.

LIMA, M. M. F.; VALDUGA, F.; LIMA, R. M. F. **Sintering of manganese ore tailings under an argon atmosphere**. Materials Science Forum (Online). v. 869, p. 1013 - 1017, 2016.

LINHARES, É. P.; LIMA, M. M. F.; LIMA, R. M. F. **Making Sinter from Low-Grade Manganese Ore**, 2012. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT 2012). 04 a 08 novembro de 2012. Joinville - Santa Catarina-Brasil. Inst. promotora/financiadora: <http://www.metallum.com.br/20cbecimat/>.

MOURISCO, Aroldo José. **Preparação e caracterização de compósito de matriz de alumínio 1100 com partículas de sic por metalurgia do pó**. 1995. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Ipen, São Paulo, 1995.

PEREIRA, M. J.; LIMA, M. M. F.; LIMA, R. M. F. **Calcination and characterization studies of a Brazilian manganese ore tailing**. International Journal of Mineral Processing, [s.l.], v. 131, p. 26-30, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2014.08.003>.

RAHIMIAN, Mehdi; PARVIN, Nader; EHSANI, Naser. **Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy**. Materials Science And Engineering: A, [s.l.], v. 527, n. 4-5, p. 1031-1038, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2009.09.034>.

REIS, Érica Linhares. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês silico-carbonatado da RDM – Unidade Morro da Mina**. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

REZENDE, Mirabel C.; BOTELHO, Edson C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. Polímeros, [s.l.], v. 10, n. 2, p.4-10, jun. 2000. UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282000000200003>.

SANTANA, A. L. **Sumário mineral 2014**. DNPM, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

SOUZA, L. G. P. **Aplicação de resíduos de minério de manganês na forma de uma peça obtida pela metalurgia do pó**. Monografia de Graduação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

WANG, Hongming; LI, Guirong; ZHAO, Yutao; CHEN, Gang. **In situ fabrication and microstructure of Al₂O₃ particles reinforced aluminum matrix composites**. Materials Science and Engineering: A, [s.l.], v. 527, n. 12, p.2881-2885, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2010.01.022>.

EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO APLICADA AO PROCESSO DE REFINO DE ETANOL COMBUSTÍVEL

Data de submissão: 01/09/2021

Data de aceite: 29/09/2021

Gabriel Manso Kozlowski Pitombeira

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Instituto de Química
Araraquara - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4155951232378764>

Leinig Antonio Perazolli

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Instituto de Química
Araraquara - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3822723627284619>

Elias de Souza Monteiro Filho

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Instituto de Química
Araraquara - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8345369170292667>

RESUMO: O etanol da cana-de-açúcar tem a sua importância destacada por ser um componente relevante da matriz energética brasileira, além da sua tecnologia de produção já estar consolidada. Por ser uma alternativa aos combustíveis fósseis, a cadeia produtiva do etanol da cana de açúcar é responsável pela geração de muitos postos de trabalho e possui um mercado consumidor dentro e fora do país. Na indústria sucroalcooleira o etanol é

produzido pela fermentação alcoólica do caldo de cana seguida pela destilação para obtenção do produto final. Neste trabalho avalia-se a implementação da extração líquido-líquido como etapa pré-processo para a destilação com o intuito de diminuir o requerimento energético do processo e aproveitar subprodutos descartados com a vinhaça como o butanol, o qual é um componente do óleo fúsel. O trabalho foi desenvolvido utilizando o simulador de processos químicos Coco Simulator versão 3.4 e do ChemSep, ambos softwares livres e de distribuição gratuita. Tanto o processo tradicional quanto o processo proposto foram simulados em um desktop por meio desses simuladores. Ao comparar os processos, constatou-se que há uma economia energética de 53,36%. Entretanto, para obter resultados mais precisos, são necessários mais estudos que, por exemplo, apresentem melhor proposta de integração energética feita pelo método de Pinch Point, contenham maiores detalhamentos de projeto, desenvolvam uma análise de viabilidade técnico-econômica e considerem a aplicação de outras operações unitárias.

PALAVRAS-CHAVE: Combustíveis renováveis. Etanol. Extração líquido-líquido. UNIFAC.

LIQUID-LIQUID EXTRACTION APPLIED TO THE FUEL ETHANOL REFINING PROCESS

ABSTRACT: Sugarcane ethanol is an important contributor to the Brazilian energy mix and its production technology is already consolidated.

Beyond being an alternative to the fossil fuel, the sugarcane ethanol commodity chain is responsible for the offer of multiple workstations and it has a large domestic market in Brazil and outwards. In the sugarcane industry the ethanol produced from the sugarcane's alcoholic fermentation proceeds from a distillation stage to the obtaining of the final product. In this work the introduction of a liquid-liquid extraction operation is evaluated as a pre-stage for the distillation aiming to decrease the process' energetic demand and to utilize possible subproducts of the process like the fuse oil compounds discarded with the vinasse like the butanol. The work was developed with the Coco Simulator version 3.4 and the ChemSep, both free distribution softwares. The original process and the process here proposed were simulated with the two softwares. Comparing the process, there is an energy saving of 53,36%. Nevertheless for more accurate results it needs more studies like, a Pinch Point Analysis, more project detailing and a technical and economic viability analysis.

KEYWORDS: Renewable fuels. Ethanol. Liquid-liquid extraction. UNIFAC.

1 INTRODUÇÃO

O etanol se destaca como uma fonte de combustível renovável no Brasil devido ao vasto território deste país, ao clima favorável e à tecnologia de produção de álcool a partir da cana já estar consolidada. Os problemas relacionados ao petróleo, como a instabilidade política dos países produtores, questões ambientais e o esgotamento desta fonte de energia, também contribuem para o destaque do etanol como fonte alternativa de energia [1]. O etanol no Brasil também apresenta importância estratégica uma vez que as fontes de energias renováveis compõem cerca de 37% da matriz energética nacional, da qual os derivados da cana contribuem com aproximadamente 18% [2]. A produção de etanol também fomenta outros aspectos benéficos para o país, como a geração de empregos, o desenvolvimento interno, a rentabilidade e o aumento de relações comerciais com o exterior [1].

94% do etanol produzido no Brasil é destinado ao mercado interno, deste, 40% é misturado à gasolina e o restante é disponibilizado como etanol hidratado usado diretamente como combustível. Do etanol exportado, 50% é destinado para os Estados Unidos, 25% para a Coreia do Sul e o restante é destinado para diversos países do mundo [4]. A produção de etanol anidro no Brasil em 2019 foi de 35.156 mil metros cúbicos, o que representa um aumento de 5,6% em relação ao ano anterior [2].

Segundo Antero et. al (2019, p. 399), variadas matérias primas que podem ser utilizadas com o intuito de produzir etanol são classificadas em três categorias: Sacaríneas, Amiláceas e Celulósicas. As matérias primas sacaríneas compreendem as fontes que possuem sacarose como, por exemplo, a cana-de-açúcar; As amiláceas, por sua vez, envolvem as fontes que possuem amido como, por exemplo, mandioca e cereais; As celulósicas são oriundas de fontes que possuem celulose em sua composição como,

por exemplo, o bagaço de cana, o eucalipto e a casca do arroz, que produzem o etanol de segunda geração [3].

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2015), o etanol combustível é classificado como Etanol Combustível - EAC, Etanol Hidratado Combustível - EHC e Etanol Hidratado Combustível Premium - EHCP, de acordo com a sua composição [5]. As especificações para as concentrações de etanol e de água para cada classe de etanol combustível são ilustradas na **Tabela 1** [4].

Tabela 1. Especificações do EAC, EHC e EHCP.

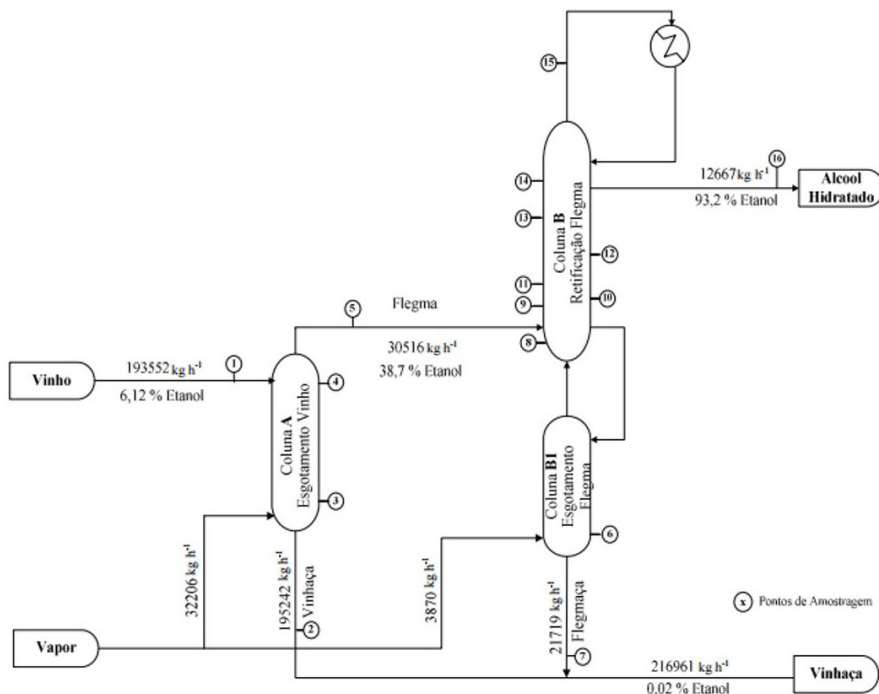
Classificação do Etanol Combustível	Teor de Etanol Mínimo (% em massa)	Teor de Água Máximo (% em massa)
EAC	99,3 (mínimo)	0,7%
EHC	92,5 a 94,6	7,5%
EHCP	95,5 a 96,5	4,5%

Fonte: Adaptado da Resolução ANP N° 19, DE 15. 4. 2015.

O processo de purificação do etanol produzido a partir da fermentação da cana de açúcar é ilustrado na **Figura 1**, onde o vinho obtido a partir da fermentação apresenta porcentagem de álcool etílico de 4 a 8% em massa (PAYNE, 1976). No processo analisado por Marquini et. al (2007, p. 23) este vinho com 6,12% de etanol alimenta a Coluna A em seu topo. A Coluna A dispõe de 22 estágios reais, opera a 112°C e a uma pressão manométrica de 57369 Pa, sendo alimentada também por vapor d'água saturado a 166713 Pa. Praticamente todo o etanol é arrastado pelo vapor, formando o produto de topo, o flegma, que consiste numa solução alcoólica com concentração de 35 a 45% de etanol. O produto de base da Coluna A é a vinhaça, contendo 0,02% em massa de etanol. O flegma segue para as colunas B e B1. A Coluna B, ou Coluna de Retificação de Flegma, é alimentada pelo flegma em sua base e opera a uma pressão manométrica de 38932 Pa, a 91°C e dispendo de 45 estágios reais. O álcool hidratado, contendo 92,2% de etanol, é extraído no penúltimo estágio, condensado e armazenado. Todo o produto de topo da coluna B é condensado e retorna a coluna. O produto de base líquido desta coluna alimenta a Coluna B1, ou Coluna de Esgotamento de Flegma, a qual possui 18 estágios práticos e opera a uma pressão manométrica de 46974 Pa e uma temperatura de 109°C, aquecida por vapor saturado a 166713 Pa, assim como a Coluna A. O produto de topo da Coluna B1, que é constituído de vapor enriquecido com etanol, retorna para a Coluna B, e o produto de base da Coluna B1, a Flegmaça, que contém 0,02% de etanol em massa, é destinado à corrente final de vinhaça da unidade produtora [5].

As informações sobre as pressões e concentrações das colunas e correntes foram obtidas a partir dos pontos de coleta representados pelas numerações na **Figura 1**.

Figura 1. Processo Tradicional de Obtenção de Etanol Hidratado.



Fonte: MARQUINI et. al, 2007.

De acordo com Marquini et. al (2007, p. 23), um dos aspectos que podem ser abordados na produção de etanol consiste no consumo energético da planta industrial, visto que as usinas de cana-de-açúcar atualmente são cada vez mais empresas produtoras de energia como forma de diversificar seus serviços. Um dos principais gargalos energéticos está centrado no processo de destilação, um grande consumidor de energia.

Com o intuito de diminuir a energia requerida para o processo de purificação de etanol, a inserção de uma operação de extração foi estudada neste trabalho.

1.1 DESTILAÇÃO

A destilação é um processo físico-químico de separação de misturas líquidas homogêneas baseado na volatilidade relativa entre os seus componentes [6]. A volatilidade relativa pode ser definida pela relação demonstrada na equação (1), em que x

é a fração mássica ou molar no estado líquido, y é a fração mássica ou molar no estado gasoso e os sub-índices se referem as espécies químicas presentes no sistema [7].

$$\alpha_{12} = \frac{y_1/x_1}{y_2/x_2} \quad (1)$$

De acordo com McCabe et. al (1993, p. 521), a destilação pode ser realizada por dois métodos distintos: O primeiro é baseado na produção de vapor aquecendo a mistura líquida a ser separada e condensando o vapor produzido sem que nenhum líquido produzido retorne à mistura aquecida, sem nenhum refluxo (flash líquido-vapor). No segundo método é permitido que parte do líquido condensado retorne à mistura original sob condições em que o condensado entre em contato com o vapor que segue para o destilador. Ambos os processos podem ser contínuos ou em batelada [6].

1.2 EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

A Extração Líquido-Líquido é uma operação de separação que se baseia na diferença de solubilidade de um composto de interesse entre diferentes solventes imiscíveis entre si [8]. Quando a destilação é ineficiente ou muito difícil, a extração líquido-líquido é uma alternativa a se considerar. Misturas com substâncias cujos pontos de ebulição sejam próximos, ou substâncias instáveis no seu ponto de ebulição, mesmo com o emprego do vácuo, talvez possam ser separadas de suas impurezas por uma extração que utilize diferentes produtos químicos ao invés de vapor a diferentes pressões [6].

1.3 MODELAGEM TERMODINÂMICA

De acordo com Reid (1987), a termodinâmica do equilíbrio de fases fornece equações que relacionam aquelas propriedades físico-químicas às composições das fases, à temperatura e à pressão, como os modelos NRTL, UNIQUAC e VAN LAAR para o cálculo de coeficientes de atividade. Este tipo de modelagem é muito útil para auxiliar na otimização e simulação de processos de separação físico-químicas como destilação, extração líquido-líquido ou extração supercrítica [9].

1.3.1 UNIFAC

Para a estimacão de coeficientes de atividade, o método UNIFAC depende do conceito de que uma mistura líquida pode ser considerada uma solução das unidades estruturais (subgrupos) a partir das quais as moléculas são formadas, ao invés de uma solução das próprias moléculas (SMITH, 2007).

No método UNIFAC, uma molécula pode ser construída por um conjunto de um ou mais subgrupos. O conjunto correto consiste no conjunto composto pelo menor número de subgrupos, desde que representativos das funções químicas presentes nas moléculas envolvidas. A grande vantagem deste método é que um número relativamente pequeno de subgrupos combina-se para formar uma grande quantidade de moléculas [7].

Cada subgrupo é identificado por um número k , as suas propriedades são o volume relativo R_k e a área superficial relativa Q_k . Neste método consideram-se, além das propriedades R_k e Q_k , as interações entre os subgrupos para a determinação dos coeficientes de atividade. Relacionam-se subgrupos similares a um grupo principal. Consideram-se idênticos em relação às interações entre grupos todos os subgrupos, logo os parâmetros que caracterizam interações entre grupos são identificados com pares dos grupos principais [7]. Os grupos, os subgrupos e as suas propriedades podem ser demonstrados na **Tabela 2** [10].

Tabela 2. Parâmetros UNIFAC-ELV de Subgrupos.

Grupo principal	Subgrupo	k	R_k	Q_k
	CH3	1	0,9011	0,848
CH2	CH2	2	0,6744	0,540
	CH	3	0,4469	0,228
	C	4	0,2195	0,000
ACH	ACH	10	0,5313	0,400
AC = Carbono Aromático				
ACCH2	ACCH3	12	1,2363	0,968
	ACCH2	13	1,0396	0,660
OH	OH	15	1,0000	1,200
H2O	H2O	17	0,9200	1,400
CH2CO	CH3CO	19	1,6724	1,488
	CH2CO	20	1,4457	1,180
CH2O	CH3O	25	1,1450	1,088
	CH2O	26	0,9183	0,780
	CH-O	27	0,6908	0,468
CNH	CH3NH	32	1,4337	1,244
	CH2NH	33	1,2070	0,936
	CHNH	34	0,9795	0,624
CCN	CH3CN	41	1,8701	1,724
	CH2CN	42	1,6434	1,416

Fonte: HANSEN, 1991.

O método UNIFAC é baseado no método UNIQUAC, o qual descreve os coeficientes de atividade de acordo com a equação (2) [7].

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^c + \ln \gamma_i^R \quad (2)$$

O modelo é representado por uma série de equações matemáticas aqui não representadas.

1.4 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS

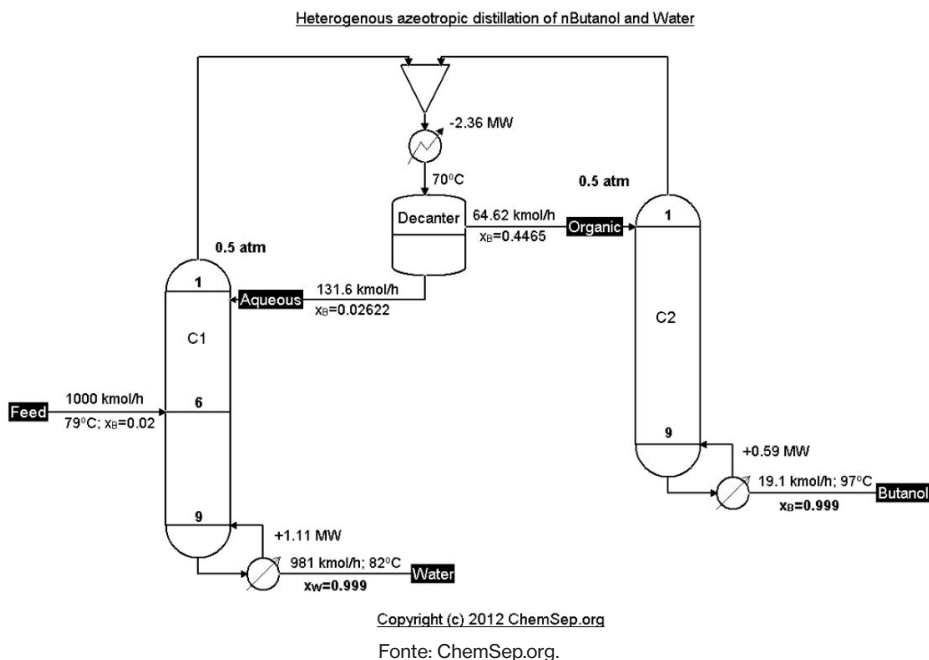
A partir de um extenso banco de dados de ferramentas, simuladores de processos químicos permitem estimar propriedades físicas e químicas de misturas e prever o comportamento de um processo para um projeto ou ampliação de escala [5].

Devido à grande complexidade, a maioria dos problemas reais demandam esforço computacional na sua solução. Um simulador de processos, seja comercial como o ASPEN, o CHEMCAD ou o HYSYS, ou mesmo gratuito como o COCO, DWSim ou EMSO, pode disponibilizar procedimentos para a análise de processos químicos [11].

1.4.1 COCO SIMULATOR

A confiabilidade do COCO Simulator pôde ser verificada mediante comparação de simulações desenvolvidas pelo software disponíveis no próprio site da organização desenvolvedora do software. Por exemplo, a descrição do processo de destilação do sistema água e butanol utilizando o equilíbrio líquido-líquido como forma de quebrar a azeotropia líquido-vapor. Este processo foi simulado adaptando o processo descrito por Luyben et al. (2011, p. 1427-1263). O fluxograma do processo é ilustrado na **Figura 2**. O processo simulado no COCO Simulator apresentou resultados compatíveis com o processo original [12] [13].

Figura 2. Processo de Destilação do Sistema Água-Butanol.



2 OBJETIVO

Simular um sistema de purificação de etanol utilizando a extração líquido-líquido como pré-etapa da destilação e comparar ao processo de separação tradicional (destilação).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados para este trabalho os simuladores COCO Simulator versão 3.4 e ChemSep “Lite” versão 8.2. Além de softwares de planilhas eletrônicas como o Microsoft Excel.

Para a simulação dos processos foi escolhido o modelo termodinâmico UNIFAC devido à limitação de parâmetros de processos disponíveis no COCO Simulator. Há no banco de dados do simulador dados sobre a interação água-etanol e água-butanol, porém não há para a interação etanol-butanol. O UNIFAC é um modelo disponível pelo simulador sem limitações de dados para este trabalho.

O processo tradicional de purificação do etanol teve como base o processo ilustrado na **Figura 1**. Considerou-se uma vazão mássica de $1,93 \cdot 10^5$ kg/h de vinho, sendo este simplificado para uma mistura de água e etanol contendo 0,9388 e 0,0612 em fração mássica, respectivamente. Para o processo tradicional também foi considerada uma integração energética para melhor aproveitamento das energias envolvidas no processo.

As especificações das colunas simuladas no processo tradicional estão descritas na **Tabela 3**.

Tabela 3. Especificações das Colunas A, B e B1.

	Estágios	Alimentação	Razão de Refluxo	Fração de Recuperação*	Pressão (Bar)	
					Topo	Base
Coluna A	22	1 e 2	-	-	1,59	1,67
Coluna B	45	45	5	-	1,40	1,48
Coluna B1	18	1 e 18	-	-	1,48	1,67

*A grandeza *Fração de recuperação* é informada pelo Simulador como *Fraction of Combined Feeds Recovered*, definida como a fração da corrente de alimentação almejada como produto principal. [14]

Fonte: Os Autores.

O processo de extração líquido-líquido proposto também baseou-se no trabalho de Marquini et. al (2007, p.23) utilizando a mesma vazão mássica de alimentação de vinho do processo tradicional e também considerando o vinho como uma mistura de etanol e água com as mesmas frações mássicas utilizadas no processo tradicional.

O solvente escolhido para este trabalho foi o butanol por ser um componente presente no óleo fúsel, o que minimizaria as perdas de solvente durante a operação, uma vez que os vestígios de butanol perdidos poderiam ser recuperados no próprio óleo fúsel. Dos álcoois de cadeia curta e intermediária presentes no banco de dados do

Coco Simulator, o butanol apresentou melhores resultados em simulações de testes de extração. Das outras possibilidades de solventes cujo emprego foi pensado, haveria a possibilidade de problemas para a separação, portanto o Butanol também apresentou melhor balanço, apesar da sua solubilidade em água.

As especificações das colunas simuladas no processo com a extração líquido-líquido estão descritas na **Tabela 4**.

Tabela 4. Especificações do Extrator e das Colunas de Destilação.

	Estágios	Alimentação	Razão de Refluxo	Fração de Recuperação*	Pressão (Bar)	
					Topo	Base
Extrator	8	1 e 8	-	-	1,01	1,01
Destilador 1	30	9	5,00000	0,85000	1,78	1,87
Destilador 2	16	11	4,84500	0,37500	1,78	1,83
Rec Solvente	8	4	4,42175	0,90000	1,18	1,20

*A grandeza *Fração de recuperação* é informada pelo Simulador como *Fraction of Combined Feeds Recovered*, definida como a fração da corrente de alimentação almejada como produto principal.[14].

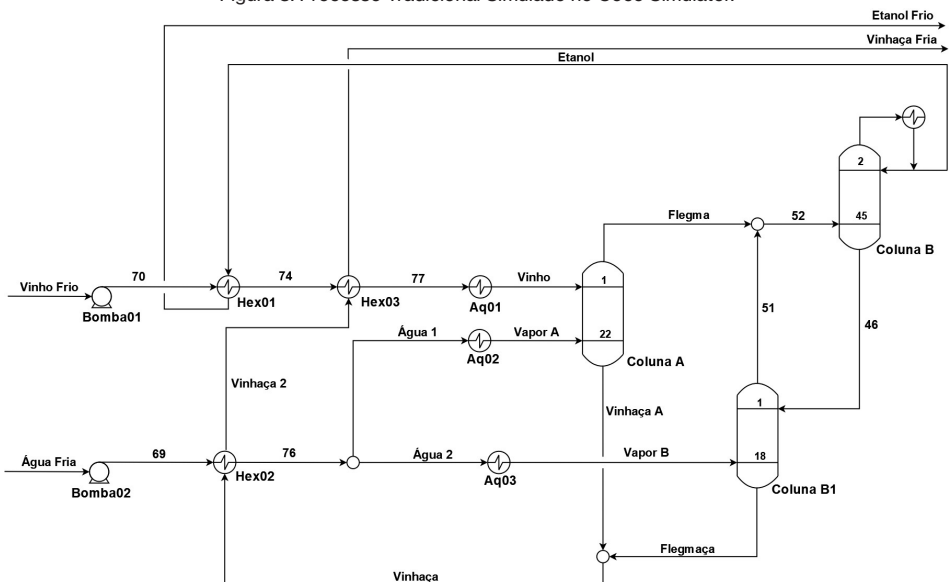
Fonte: Os Autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SIMULAÇÃO DA PLANTA TRADICIONAL

O fluxograma de processos, ilustrado na **Figura 3**, foi desenvolvido utilizando os dados do artigo *Simulação e Análise de um Sistema Industrial de Colunas de Destilação de Etanol*, de Marquini et al. (2007, p.23). O processo simulado na **Figura 3** foi baseado no processo ilustrado na **Figura 1**, porém com uma integração energética.

Figura 3. Processo Tradicional Simulado no Coco Simulator.



Fonte: Os Autores.

Neste processo, o vinho segue simplesmente para um sistema de 3 colunas de destilação. As propriedades das correntes podem ser verificadas na **Tabela 5**. As potências de bombas e térmicas do processo são detalhadas na **Tabela 6**.

Tabela 5. Propriedades das Correntes do Processo Tradicional.

Corrente	Pressão (Pa)	Temperatura (°C)	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica de Água	Fração Mássica de Etanol
Vinho Frio	101325,00	25,00	193552,00	0,94	0,06
Vinho	158694,00	96,00	193552,00	0,94	0,06
Água Fria	101325,00	25,00	36076,00	1,00	0,00
Flegma	158694,00	107,75	33467158,00	0,65	0,35
Flegmaça	166713,00	114,57	24628,36	1,00	0,00
70	158694,00	25,02	193552	0,94	0,06
74	158694,00	28,18	193552	0,94	0,06
77	158694,00	100,40	193552,00	0,94	0,06
51	148299,00	106,58	4342,20	0,69	0,31
52	148299,00	107,61	37809,36	0,65	0,35
46	148299,00	104,62	25100,55	0,95	0,05
69	166713,00	25,02	36076,00	1,00	0,00
76	166713,00	114,57	36076,00	1,00	0,00
Água 1	166713,00	114,57	32206,00	1,00	0,00
Água 2	166713,00	114,57	3870,00	1,00	0,00
Vapor A	166713,00	114,57	32206,00	1,00	0,00
Vapor B	166713,00	114,57	3870,00	1,00	0,00
Vinhaça A	166713	114,57368	192290,84	1,00	0,00
Vinhaça	166713	114,57	216919,2	1,00	0,00
Vinhaça 2	166713,00	100,40	216919,20	1,00	0,00
Vinhaça Fria	166713,00	37,20	216919,20	1,00	0,00
Etanol	140257,00	86,86		0,07	0,93
Etanol Frio	140257,00	25,02	12708,80	0,07	0,93

Fonte: Os Autores.

Tabela 6. Propriedades das Correntes de Energia do Processo Tradicional.

Corrente	Potência Térmica e Potência de Bomba (W)
B01	-3,29E+03
B02	-6,85E+02
Aq01	1,04E+06
Aq02	-1,99E+07
Aq03	-2,39E+06
CondB	1,85E+07

Fonte: Os Autores.

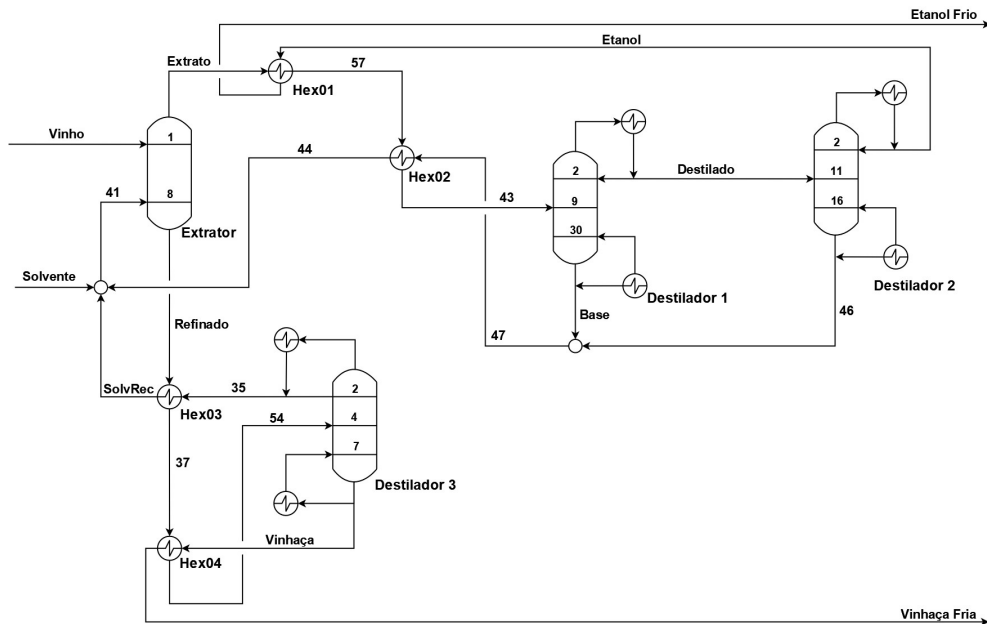
Percebe-se que a simulação da planta obteve êxito em reproduzir os resultados obtidos por Marquini et al. (2007, p.23), além de demonstrar a confiabilidade do Coko Simulator, também valida o modelo termodinâmico escolhido para o estudo.

4.2 EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

A planta desenvolvida está ilustrada na **Figura 4**. Nesta proposta de processo, há a inserção de um extrator onde o vinho é misturado a um solvente por meio de uma corrente de alimentação e de um sistema de recuperação de solvente. A fase extrato,

rica em butanol e etanol, segue para destilação onde estes compostos são separados, obtendo o produto de interesse, o etanol, e recuperando o solvente utilizado.

Figura 4. Processo de obtenção de etanol com a extração líquido-líquido.



Fonte: Os Autores.

A fase refinada, rica em água e com traços dos outros dois álcoois, segue para uma coluna de destilação para recuperação do butanol e do etanol e também para a purificação da vinhaça, que é o efluente deste tipo de processo. Os dados das correntes das plantas podem ser conferidos na **Tabela 7**. Os dados das potências térmicas necessárias para a operação dos condensadores e refervedores do processo podem ser verificados na **Tabela 8**.

Tabela 7. Propriedades das Correntes com a Extração Líquido-Líquido.

Corrente	Pressão (Pa)	Temperatura (°C)	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica de Água	Fração Mássica de Etanol	Fração Mássica Butanol
Vinho	101325,00	25,00	193552	0,9388	0,0612	0
Solvente	101325,00	25,00	0,0186	0	0	1
Extrato	101325,00	25,02	128750,52	0,27	0,10	0,62
Refinado	101325,00	28,37	217128,33	0,90	0,02	0,08
41	101325,00	30,97	152326,85	0,32	0,04	0,64
44	182740,00	31,84	115909,12	0,30	0,01	0,69
47	182740,00	108,72	115909,12	0,30	0,01	0,69
43	101325,00	90,51	128750,52	0,27	0,10	0,62
Destilado	177700,00	95,81	17605,17	0,22	0,67	0,10
Base	187444,00	109,49	111146,27	0,28	0,01	0,70
46	182740,00	108,54	4762,86	0,61	0,01	0,38
35	117700,00	93,42	36417,71	0,38	0,14	0,48
37	101325,00	37,97	217128,33	0,90	0,02	0,08
54	101325,00	92,82	217128,33	0,90	0,02	0,08
SolvRec	117700,00	28,37	36417,71	0,38	0,14	0,48
Vinhaça	119716,00	104,73	180710,46	1,00	0,00	0,00
Vinhaça Fria	119716,00	37,97	180710,46	1,00	0,00	0,00
Etanol	177700,00	93,36	12842,31	0,08	0,92	0,00
Etanol Frio	177700,00	25,02	12842,31	0,08	0,92	0,00

Fonte: Os Autores.

Tabela 8. Propriedades das Potências Térmicas com a Extração Líquido-Líquido.

Corrente	Potência Térmica (W)
Cond01	3,30E+07
Reb01	-3,37E+07
Cond02	1,94E+07
Reb02	-1,82E+07
Cond03	7,00E+07
Reb03	-7,18E+07

Fonte: Os Autores.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS

O processo proposto apresenta uma necessidade de mais equipamentos e, portanto, mais etapas de processo. Porém, ao aplicar um balanço de energia no processo tradicional, obtém-se um consumo de 2,75 megawatts, enquanto a energia requerida para o processo com a extração líquido-líquido é de 1,28 megawatts.

5 CONCLUSÃO

De acordo com as simulações apresentadas, o processo é tecnicamente viável e comparado ao processo original descrito por Marquini et al (2007, p.23) e, mediante balanço das energias envolvidas, apresenta economia energética de 53,36%. No entanto, para a implementação da alternativa de processo, alguns estudos ainda são necessários.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, T. B. A., SELIG, P. M., BARBOSA, V. M., CAMPOS, L. M. S., BORNIA, A. C. & OLIVEIRA, M. W. 2012. **Tecnologia e custos de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola**. Latin American Journal of Business Management, 3, 1, 150 – 1727.
- [2] **Balanço Energético Nacional, Relatório Final 2020.**, disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acessado em 30 de dezembro de 2020 às 14:36.
- [3] ANTERO et al. **Balanço Energético da Produção de Etanol a Partir da Cana de Açúcar e Aspectos da Produção Brasileira Atual**, / Journal of Biotechnology and Biodiversity /v. 7n.3 (2019) 399-412.
- [4] Agência Nacional do Petróleo, do Gás Natural e Biocombustíveis, **RESOLUÇÃO ANP Nº 19, DE 15.4.2015**, DOU 16.4.2015- REPUBLICADA DOU 17.4.2015- REPUBLICADA DOU 20.4.2015. Disponível em <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-19-2015?origin=instituicao&q=19/2015>>. Acessado dia 30 de dezembro de 2020 às 15:02.
- [5] MARQUINI, M. F.; D. C.; MEIRELLES, A. J.; DOS SANTOS, O. A. A.; JORGE. L. M. M. **Simulação e Análise de um Sistema Industrial de Colunas de Destilação de Etanol**. Acta Sci. Technol. 20, 1 (2007) 23-28.

- [6] MCCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOTT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5th edition. McGraw Hill, 1993.
- [7] SMITH, J.M. & VAN NESS, H.C. - “**Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**”, 7ª. edição, LTC Editora, 2007.
- [8] GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 4.ed. Prentice Hall International Editions, USA. 2003.
- [9] GOMES, D. C. A. **Modelagem Termodinâmica do Equilíbrio de Fases Entre Componentes Graxos e Dióxido de Carbono Supercrítico** / Daniela Caio André Gomes. -- Campinas, SP: [s.n], 2011.
- [10] H. K. Hansen, P. Rasmussen, Aa. Fredenslund, M. Schiller e J. Gmehling, **IEC Research**, vol. 30, pp. 2352-2355, 1991.
- [11] Perlingeiro, Carlos Augusto G. **Engenharia de processos: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos** / Carlos Augusto G. Perlingeiro – São Paulo: Blucher, 2005.
- [12] **ChemSep Modeling Separation Process**. <<http://www.chemsep.org/downloads/index.html>>. Acessado dia 20 de janeiro de 2021 às 16:00 horas.
- [13] OASMAA, A; KUOPPALA, E. **Solvent Fractionation Method With Brix for Rapid Characterization of Wood Fast Pyrolysis Liquids**. *Energy Fuels* 2008, 22, 6, 4245–4248, 2008.
- [14] KOOIJMAN, H.A.; TAYLOR, R. **Chemsep User Manual**. 1998. Disponível em <<http://www.chemsep.org/downloads/docs/manual.htm>>. Acessado dia 31 de janeiro de 2021 às 16:51.

EVIDENCING THE MAGNETOELECTRIC COUPLING IN BI1-XNDXFE03 COMPOSITIONS THROUGH FERROIC CHARACTERIZATIONS

Data de submissão: 21/09/2021

Data de aceite: 29/09/2021

Anuar Jose Mincache

Department of Physics
State University of Maringá
Maringá – PR

<http://lattes.cnpq.br/9526608938362113>

Lilian Felipe da Silva Tupan

Department of Physics
State University of Maringá
Maringá – PR

<http://lattes.cnpq.br/8021047566603985>

Odair Gonçalves de Oliveira

Department of Physics
State University of Maringá
Maringá – PR

<http://lattes.cnpq.br/8601597056594779>

Ivair Aparecido dos Santos

Department of Physics
State University of Maringá
Maringá – PR

<http://lattes.cnpq.br/3989136572460030>

Luiz Fernando Cótica

Department of Physics
State University of Maringá
Maringá – PR

<http://lattes.cnpq.br/0807675554407664>

ABSTRACT: The study of multiferroic crystalline materials is of great technological and academic interest due to the correlation between their ferroelectric and ferromagnetic properties. In this work, ferroic properties of Nd-modified (A-site substitution) BiFeO_3 (BNFO) compounds were studied. Ceramic compositions of $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.10$ and 0.20) were obtained through a route that included high-energy ball milling, isostatic pressing (to obtain the ceramic shape) and sintering in air. The X-ray diffraction data showed that these compositions have a distorted perovskite structure, with relative densities reaching 93%. Dielectric measurements showed a frequency independent step-like relaxation for the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ composition and indicative indications of thermally activated conduction processes for the $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ composition. Magnetic studies showed a breakdown of the typical magnetic cycloidal structure of BiFeO_3 . **KEYWORDS:** BiFeO_3 composites. A-site substitutions. Ferric properties.

1 INTRODUCTION

Multiferroic materials have been the focus of great research interest since last decade due to the possibility of coexistence of two or more ferroic properties in a single material [1, 2]. As an example, the ability of reorienting of spins in the magnetic phase

and electric dipoles in the ferroelectric phase has opened paths to new technologies that can explore both electrical and magnetic polarizations to store and manipulate information [2]. Single-phased materials are the most suitable for the study of the origin of the magnetoelectric coupling. Among single-phased multiferroics, BiFeO_3 (BFO) has been widely studied because the coupling between the ferroelectric and magnetic orders occurs at room temperature. At room temperature, bulk BFO crystallizes in a rhombohedrally distorted perovskite structure with $R3c$ space group [3]. Due to the existence of the $6s^2$ lone pair mechanism in this structure, both Bi^{3+} and Fe^{3+} cations are displaced along the three fold $[111]_p$ polar axis and off-centered with respect to the center of the oxygen polyhedra, which in turn gives rise to a ferroelectric state with a high Curie temperature ($T_C = 1103$ K). When magnetic ordering occurs, Fe^{3+} magnetic moments have a G-type canted antiferromagnetic ordering with an incommensurate space modulated spiral spin structure, due to partially filled 3d-orbitals [4]. As a result, a residual non-zero magnetization was observed with an antiferromagnetic ordering Néel transition temperature at $T_N = 643$ K [4].

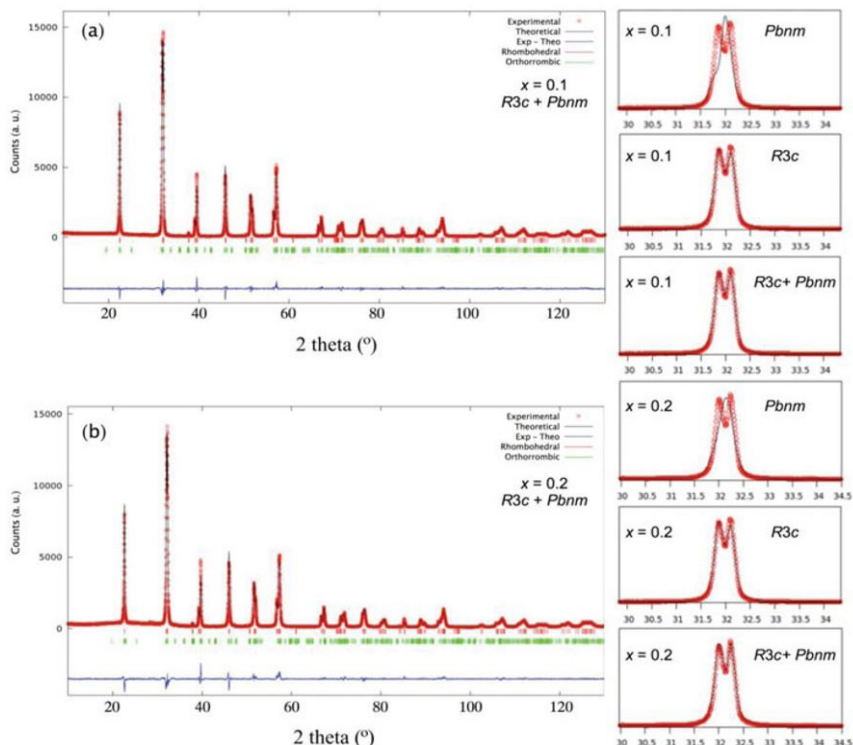
However, BFO has some drawbacks that need to be addressed to further explore the coupling between its ferroic orders, such as conductivity issues and undesired parasitic phases (in polycrystal processing case), which cause the experimentally reduced remnant polarization and the low (or absent) net magnetization. These issues cause BFO to show a weak experimental magnetoelectric response. In the search for a solution to these problems, chemical substitution on the Bi^{3+} cationic site has been exploited using the partial replacement by rare earth cations such as La^{3+} , Nd^{3+} , Eu^{3+} and Ho^{3+} in order to help eliminate undesired phases, promote structural phase transformations and improve the magnetic and ferroelectric properties [5, 6]. In fact, the replacement of larger Bi^{3+} ions (considering Shannon's 12-fold co-ordination ionic radii for Bi^{3+} ion = 1.40 \AA) by smaller Nd^{3+} ions (considering Shannon's 12-fold co-ordination ionic radii for Nd^{3+} ion = 1.27 \AA) in BFO can effectively modulate the crystal structure parameters and the Goldschmidt tolerance factor (t), improving the conditions for the emergence of ferroelectricity and breaking the cycloidal magnetic structure that gives rise to a weak ferromagnetic state [6]. Thus, in this work the partial cationic replacement of Bi^{3+} by Nd^{3+} in the BiFeO_3 crystal structure was studied, i. e., $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ (BNFO) compositions ($x = 0.1$ and 0.2) were obtained. As a two-step synthesis route, BNFO ceramic bodies were obtained by using high-energy ball-milling and conventional sintering. The obtained samples were characterized by X-ray diffraction (followed by a structural refinement using the Rietveld method) and by measurements of dielectric permittivity and loss tangent as a function of temperature and frequency and magnetic measurements as a function of applied magnetic field at room temperature.

2 EXPERIMENTAL

In order to synthesize the $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ compositions, analytical grade Fe_2O_3 (Sigma-Aldrich), Bi_2O_3 (Vetec) and Nd_2O_3 (Sigma-aldrich) oxide powders were used. The precursor powders were stoichiometrically mixed to achieve the desired compositions ($x = 0.1$ and 0.2). The mixed powders were placed in a 125 ml hardened steel grinding vessel charged with 20 hardened steel balls and then milled in a Retsch PM 100 high-energy planetary ball-mill in dry air atmosphere. The oxides/ball mass ratio (1:10), the mill speed (250 RPM) and processing time (1 h) were kept constant for all the samples. The resulting powders were uniaxially cold-pressed in a disc shape (10 mm in diameter and 1 mm thick) and then isostatically pressed at 120 MPa during 30 minutes. Subsequently, the samples were subjected to sintering processes using different temperatures for each sample, i. e., 830°C for $x = 0.1$ and 850°C for $x = 0.2$, during 1 h.

The X-ray diffraction (XRD) analyses were performed using a Shimadzu XRD-7000 diffractometer with Cu K_α radiation. To confirm the formation of the desired phases, the XRD patterns were subjected to a structural refinement using the Rietveld method in the FullProf program [7].

Figure 1. Two-phase model, with $R3c$ and $Pbnm$ space groups, obtained from the Rietveld refinements of X-ray diffraction patterns for a) $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and b) $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions. Insets: the most intense XRD peaks showing the experimental and theoretical results for the studied structural models.



The dielectric measurements as a function of temperature ($T = 50$ to 400 K) and frequency ($f = 100$ to 1 MHz) were carried out in an Agilent E4980 LCR meter. A cryostat (Sumitomo cryogenics) and a temperature controller (Lake Shore 331) were used to keep a constant heating/cooling rate of 2 K/min during the measurements.

The study of the magnetic properties of the obtained compositions was performed in a homemade vibrating sample magnetometer (VSM) at room temperature.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The XRD results for $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions are shown in Figure 1. In order to study the structural changes promoted by Nd substitution in the perovskite A-site, Rietveld refinements were conducted using three different models: a rhombohedral model ($R3c$ space group), an orthorhombic model ($Pbnm$ space group) and a two-phase model ($R3c+Pbnm$ space groups). Table 1 shows the structural parameters obtained in the Rietveld refinements. As can be seen from Figure 1 and Table 1, the best agreement between experimental and theoretical results was obtained using the two-phase model for both $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions. Therefore, the Nd substitution in A-site promoted a structural distortion best understood as a mixing among rhombohedral and orthorhombic symmetries.

Table 1. Structural parameters obtained in the Rietveld refinements for $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions.

$\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$					
structural model	space group	a (Å)	b (Å)	c (Å)	χ^2
rhombohedral	$R3c$	5.5727(5)		13.806(3)	2.84
orthorhombic	$Pbnm$	5.5661(2)	5.6287(1)	7.8932(1)	28.00
rhomb. + orthor.	$R3c(89.7\%) + Pbnm(10.3\%)$	5.5722(1)		13.808(2)	2.26
		5.5893(1)	5.6429(5)	7.8618(1)	
$\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$					
structural model	space group	a (Å)	b (Å)	c (Å)	χ^2
rhombohedral	$R3c$	5.5767(5)		13.815(2)	3.38
orthorhombic	$Pbnm$	5.5784(2)	5.6363(4)	7.9018(5)	21.05
rhomb. + orthor.	$R3c(75.5\%) + Pbnm(24.5\%)$	5.5769(1)		13.802(5)	2.95
		5.5784(2)	5.6364(4)	7.8387(1)	

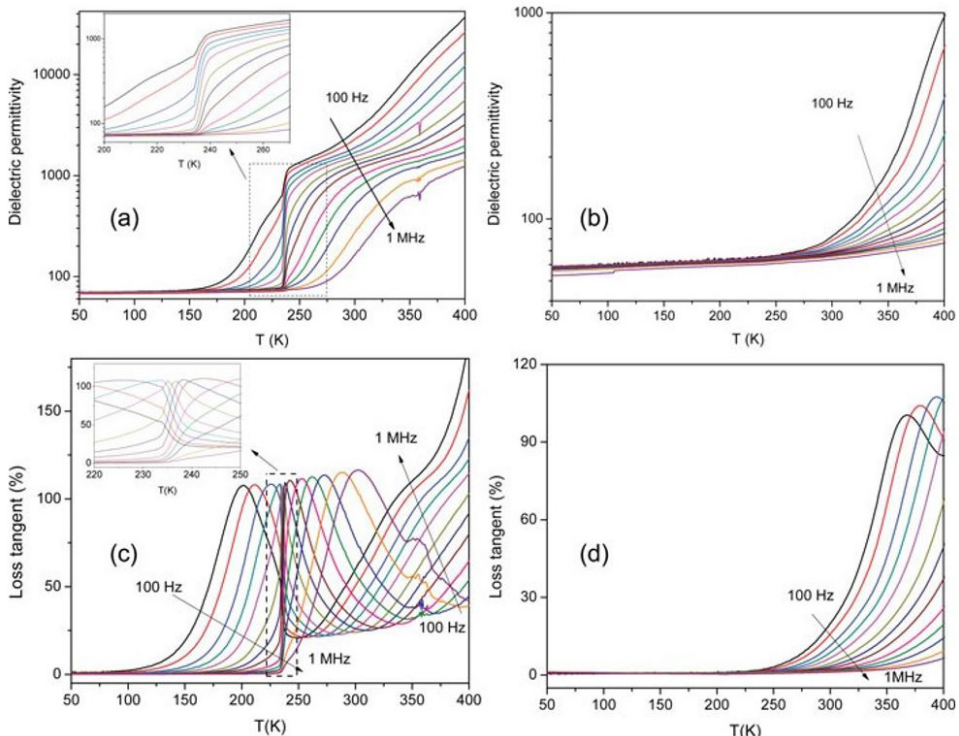
Relative density results (the ratio between the total apparent density – obtained by the Archimedes' method – and the theoretical density – obtained from the X-ray diffraction results) confirmed that highly densified ceramics ($\sim 93\%$ for both samples) were obtained.

The temperature and frequency dependent relative dielectric permittivity and loss tangent for $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions are shown in Figure 2. At

room temperature, the dielectric permittivity for $x=0.1$ (Figure 2a) reaches values close to 70 (1 kHz). A frequency independent step-like relaxation takes place close to 238 K, where the dielectric permittivity increases from a lower temperature plateau to a higher temperature plateau. By increasing the Nd amount to $x=0.2$ (Figure 2b), the dielectric permittivity decreases to 50 (1 kHz) at room temperature. No relaxation could be observed in the studied temperature range for the $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ composition. The loss tangent for the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ composition (Figure 2c) shows frequency dependent peaks in the same temperature range where the dielectric step takes place. The loss tangent for the $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ composition (Figure 2d) attained very high values for temperatures higher than 250 K and all frequencies at least 200 kHz below. This is a clear indication of thermally activated conduction processes.

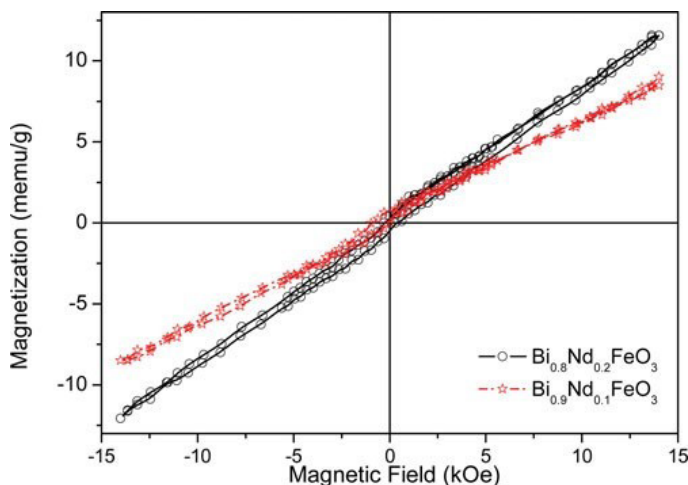
Figure 3 shows the magnetization curves obtained from the vibrating sample magnetometry (VSM) analysis of the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions. Although both samples show a very low magnetization, the behavior is strong enough to reveal a breakdown in the magnetic cycloidal structure of the BiFeO_3 .

Figure 2. Dielectric permittivity and loss tangent as a function of temperature and frequency of the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ ((a) and (c)) and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ ((b) and (d)) ceramic compositions.



In this sense, the very low magnetization can be explained as a weak ferromagnetic behavior due to the Nd substitution in A-site. In addition, a gradual increase in the samples' magnetization to applied magnetic fields up to 15 kOe can be observed. This shows that an enhancement in the net magnetization takes place when the content of Nd is increased.

Figure 3. Magnetic hysteresis loops, at room temperature, for $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ compositions.



4 CONCLUSIONS

High-energy ball milling and conventional sintering were used to successfully obtain $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ multiferroic ceramic compositions. Both samples presented a perovskite-like crystal structure with a mixture of rhombohedral and orthorhombic symmetries. Dielectric measurements showed a frequency independent step-like relaxation for the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ composition and indications of thermally activated conduction processes for the $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ composition. Magnetic studies showed a breakdown in the magnetic cycloidal structure typical of BiFeO_3 . In summary, this study demonstrates that the effects of A-site cationic substitution influence the physical properties of $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ ceramics.

However, further work, such as temperature dependent magnetic and magnetodielectric measurements, is necessary to reveal the origin of the step-like behavior found in the $\text{Bi}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{FeO}_3$ composition.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Brazilian agencies funding CNPq (procs. 446565/2014-8 and 445837/2014-4) and CAPES (Procad 88881.0658506/2014-01 and

88881.068509/2014-01, PVE 88881.030465/2013-01, and PAEP 23038.002278/2015-84) for the financial support. R.G. 120 and A.S.B. acknowledge NSF/INAMM and ONR W911NF-12-1-0082 for the financial support.

REFERENCES

1. R. Ramesh, N. A. Spaldin Multiferroics: progress and prospects in thin films. *Nature Materials* 6, 21–29 (2007).
2. G. Catalan, and J. F. Scott Physics and Applications of Bismuth Ferrite. *Adv. Mater.* 21, 2463–2485 (2009).
3. L. F. Cotica, V. F. Freitas, I. B. Catellani, I. A. Santos, D. Garcia, and J. A. Eiras High-resolution structural studies and covalent bond interactions in BiFeO₃-PbTiO₃ compounds: The role of ferroism. *Appl. Phys. Lett.* 101, 172903 (2012).
4. L. F. Cotica, F. R. Estrada, V. F. Freitas, G. S. Dias, I. A. Santos, J. A. Eiras, and D. Garcia Ferroic states in La doped BiFeO₃-PbTiO₃ multiferroic compounds. *J. Appl. Phys.* 111, 114105 (2012). 130
5. V. V. Shvartsman, W. Kleemann, R. Haumont, and J. Kreisel Large bulk polarization and regular domain structure in ceramic BiFeO₃. *Appl. Phys. Lett.* 90, 172115 (2007).
6. V. F. Freitas, H. L. C Grande, S. N. De Medeiros, I. A. Santos, L. F. Cotica, and A. A. Coelho Structural, microstructural and magnetic investigations in high-energy ball milled BiFeO₃ and Bi_{0.95}Eu_{0.05}FeO₃ powders. *J. Alloys Compd.* 461, 48–52 (2008).
7. J. Rodriguez-Carvajal Recent advances in magnetic structure determination by neutron powder diffraction. *Physica B* 192, 55–69 (1993).

CAPÍTULO 17

EFEITO DO COBALTO E ZINCO EM VARISTORES À BASE DE SnO₂

Data de submissão: 10/09/2021

Data de aceite: 28/09/2021

Maria Aparecida Zaghete Bertochi

Instituto de Química de Araraquara

Universidade Estadual Paulista

Araraquara - SP

<http://lattes.cnpq.br/3233942511496583>

Elson Longo

Universidade Federal de São Carlos

São Carlos - SP

<http://lattes.cnpq.br/9848311210578810>

**Glauco Meireles Mascarenhas Morandi
Lustosa**

Instituto de Química de Araraquara

Universidade Estadual Paulista

Araraquara - SP

<http://lattes.cnpq.br/1197348944362139>

<https://orcid.org/0000-0002-5069-4544>

João Paulo de Campos da Costa

Instituto de Química de Araraquara

Universidade Estadual Paulista

Araraquara - SP

<http://lattes.cnpq.br/8858936007411264>

Leinig Antônio Perazzoli

Instituto de Química de Araraquara

Universidade Estadual Paulista

Araraquara - SP

<http://lattes.cnpq.br/3822723627284619>

Biljana Stojanovic

Institute for Multidisciplinary Research

University of Belgrade

Belgrado - Sérvia

<https://orcid.org/0000-0002-7484-9555>

RESUMO: De acordo com dados da Agência Nacional de Mineração o Brasil possui a quarta maior reserva do mundo de estanho, sendo o 6º maior produtor mundial de SnO₂ (com pureza analítica 99,9%). Sendo assim é necessário o conhecimento de processamento do estanho para a obtenção de novos materiais a partir de uma matéria prima nacional para ter aplicação tecnológica, como exemplo os dispositivos varistores, que tem importante função protetora em equipamentos eletrônicos contra picos de tensão no sistema de energia elétrica. Neste trabalho preparamos filmes espessos através da técnica de deposição eletroforética de dois sistemas nanoparticulados [(Zn,Nb)-SnO₂ e (Co,Nb)-SnO₂] sintetizados por rota química, seguido por sinterização via microondas e aplicação de íons cromo para difusão e modificação da barreira de potencial formada para funcionalização como varistor. O sistema dopado com cobalto e sinterizado em atmosfera de O₂ apresentou melhor resultado

de coeficiente de não-linearidade (α) entre 11,4 e 15,1; tensão de ruptura ($V_R < 245$ V) e corrente de fuga ($I_F \sim 10^{-8}$ A/cm²), valores estes que indicam sua potencialidade aplicação como varistor de baixa tensão.

PALAVRAS-CHAVE: Óxido de estanho. Deposição Eletroforética. Difusão de Cromo. Sinterização Microondas Varistores.

CO- AND ZN- EFFECT ON SnO_2 -BASED VARISTOR

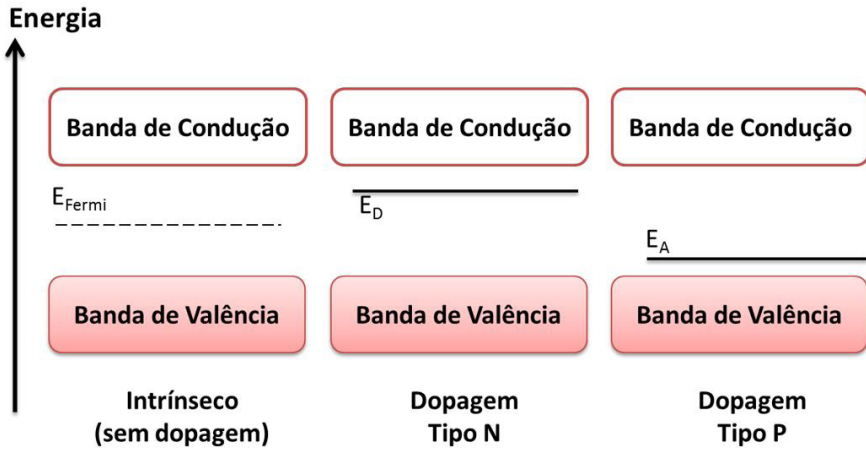
ABSTRACT: According to the National Mining Agency, Brazil has the fourth largest tin reserve in the world, being the 6th largest world producer of SnO_2 (with analytical purity 99.9%). Therefore, the knowledge/expertise of tin processing is necessary to obtain new materials from a national raw material to have technological application, such as varistor devices, which have an important protective function in electronic equipment against voltage peaks in the power system electric. In this work we prepare thick films using the electrophoretic deposition technique of two nanoparticulate systems [(Zn,Nb)- SnO_2 and (Co,Nb)- SnO_2] synthesized by chemical route, followed by microwave sintering and application of chromium ions for diffusion and modification of the potential barrier formed for functionalization as a varistor. The system doped with cobalt and sintered in an O_2 atmosphere showed the best result for the non-linearity coefficient (α) between 11.4 and 15.1; breakdown voltage ($V_R < 245$ V) and leakage current ($I_F \sim 10^{-8}$ A/cm²), values that indicate its potential application as a low voltage varistor.

KEYWORDS: Tin dioxide. Electrophoretic deposition. Chromium diffusion. Microwave sintering. Varistors.

1 INTRODUÇÃO

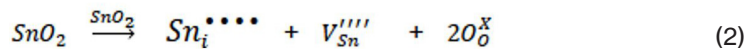
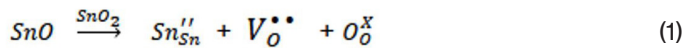
O dióxido de estanho puro é classificado como um semicondutor do tipo n, apresentando condução eletrônica intermediária entre os elementos condutores e isolantes, ou seja, apresenta uma região de energia proibida (E_{gap} ou E_g , *band gap*) entre as bandas de valência e a banda de condução na faixa de 1 eV até 5 eV. A introdução de dopantes para modificação da estrutura eletrônica do SnO_2 pode ser realizada na etapa de síntese dos semicondutores e podem ser de elementos que tenha um excesso de elétrons (gerando um nível de energia doadora de elétrons E_D - dopagem do tipo n) ou por elementos com menor quantidade de elétrons (neste caso gerando buracos em um nível de energia aceitador de elétrons E_A - dopagem do tipo p), em relação ao semicondutor em questão. Os defeitos gerados alteram o nível da Energia de Fermi (energia do nível ocupado mais energético em um sistema quântico fermiônico à temperatura de zero absoluto) dentro da estrutura eletrônica, como mostrado na Figura 1. (VIANA JUNIOR, 2014)

Figura 1 - Representação da estrutura das bandas dos tipos de semicondutores de acordo com o tipo de dopagem.

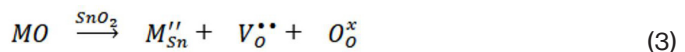


Fonte: o autor.

A condução eletrônica no SnO_2 ocorre pela presença de defeitos intrínsecos (vacância de oxigênio, átomos de estanho intersticiais) e também por defeitos originários a partir da adição de dopantes em sua estrutura que vão atuar como aceitadores ou doadores de elétrons (LEITE et al., 2010), como mostra as Equações 1 e 2. A notação utilizada foi a de Kröger e Vink.



Dopantes bivalentes (tipo-p) como, por exemplo, CoO (PUNGINSANG et al., 2015), ZnO (LEE, H. et al., 2006), CuO (CHOI et al., 2013), substituem os íons de estanho na rede cristalina e atuam gerando defeitos aceitadores de elétrons (como vacância de oxigênio), como mostrado na Equação 3, e induzem o transporte de massa na rede, aumentando a densificação e crescimento de grãos na etapa sinterização (altas temperaturas). Os defeitos do tipo M_{Sn}'' capturam os elétrons liberados por outros dopantes e criam uma barreira de potencial na região de contorno de grão, contribuem para o aumento da resistividade do SnO_2 .

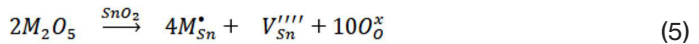


Dopantes trivalentes (tipo-p), por exemplo Cr_2O_3 (ZANG, G.-Z. et al., 2014), Er_2O_3 (QI et al., 2005), Sc_2O_3 (ZANG, G. et al., 2004), também atuam como aceitadores de elétrons e tem principal atuação na região de contorno de grão aumentando a resistividade,

devido a uma maior adsorção de espécies aceitadores de elétrons na superfície do grão, contribuindo para o aumento da barreira de potencial formada na região, como mostra a Equação 4.



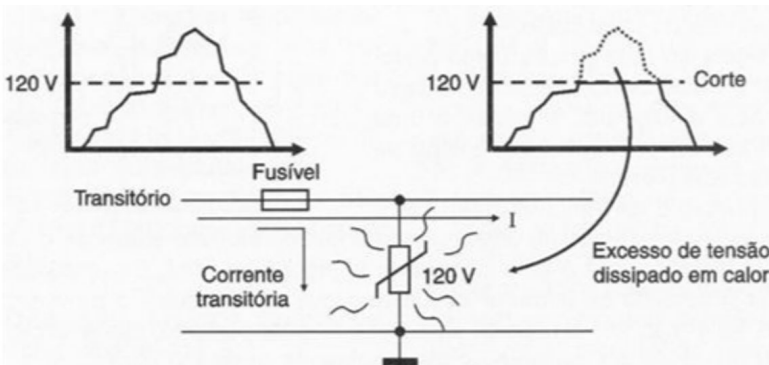
Dopantes pentavalentes (tipo-n) como, por exemplo, Nb_2O_5 (BRANKOVIC et al., 2004), V_2O_5 (GAPONOV et al., 2007), Ta_2O_5 (DHAGE; RAVI; YANG, 2008), doam elétrons para a rede cristalina, geram vacâncias de estanho, e contribuem para elevar a condutividade elétrica devido ao aumento da concentração de elétrons, como demonstrado na Equação 5.



Neste trabalho foi realizado o estudo da síntese e processamento do dióxido de estanho dopado através de rota química úmida para a obtenção de um pó nanoparticulado, conformado como filme espesso através da deposição eletroforética (EPD), com posterior tratamento térmico em forno microondas. Ao filme sinterizado realizou-se deposição de íons cromo, também via EPD, para modificação da barreira de potencial, e realizada as caracterizações pertinentes para a verificação da influência da modificação do dopante bivalente durante a etapa de sinterização e na obtenção de sua propriedade elétrica para aplicação como varistor.

Um varistor é um dispositivo elétrico utilizado como protetor em equipamentos eletrônicos quando ocorre picos de tensão no sistema de energia elétrica (FURTADO, 2005; PIANARO et al., 1998), como exemplificado na Figura 2. Como pode ser observado, quando ocorre aumento da tensão acima da operação da rede elétrica (no caso 120 V), o varistor passa a armazenar o excesso de tensão no interior dos grãos do semiconductor e dissipa em forma de calor, protegendo assim o equipamento elétrico.

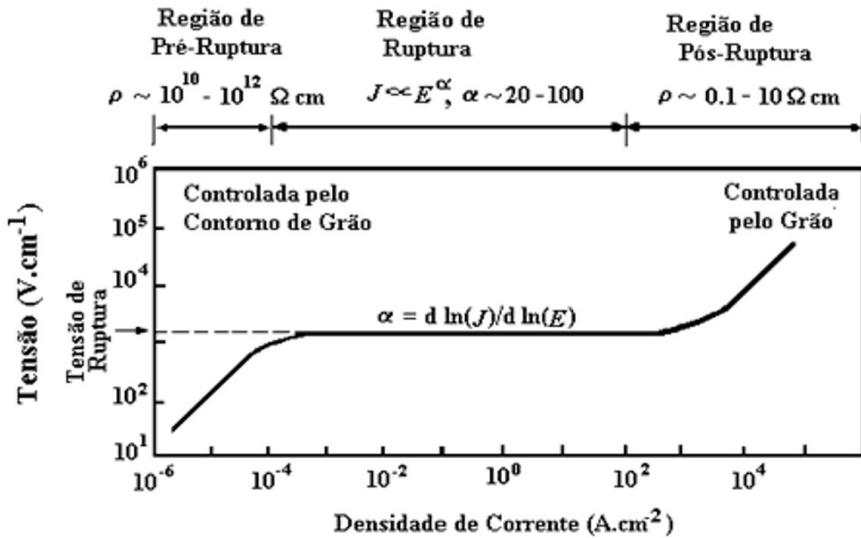
Figura 2 - Princípio de funcionamento de um varistor.



Fonte: Capelli (2016).

Os varistores possuem comportamento não-linear entre a tensão vs corrente elétrica, ou seja, não variam de forma constante, como determinado pela Lei de Ohm, sendo esse comportamento conhecido como não-ohmico. Na curva característica de um varistor (Figura 3) observam-se as regiões Pré-Ruptura, Ruptura e Pós-Ruptura, todas apresentando comportamento distinto (CLARKE, 1999; PIANARO et al., 1998; GUPTA, 1990).

Figura 3 - Curva do comportamento não-linear da entre campo elétrico (E) vs densidade de corrente (J). Curva característica de um varistor.



Fonte: Adaptação de Clarke (1999).

- ✓ A região de pré-ruptura de comportamento linear ocorre quando não há variação da tensão normal de operação. O varistor tem característica resistiva e somente há uma pequena corrente (denominada corrente de fuga I_F) que é dispersa pelo dispositivo.
- ✓ A região de ruptura de comportamento não-linear é caracterizada por um aumento abrupto da passagem de corrente elétrica quando há uma pequena variação da tensão de operação, este sendo determinado como campo elétrico de ruptura (E_R). O varistor tem característica condutora.
- ✓ A região de pós-ruptura de comportamento linear é caracterizada pela alta densidade de corrente elétrica.

O coeficiente de não-linearidade (α) é um dos parâmetros importantes na qualidade de um dispositivo varistor e é determinado pelo comportamento da curva na Região de Ruptura, podendo ser calculado a partir da Equação 6 (MA et al., 2015; ZANG, G.-Z. et al., 2016).

$$\alpha = (\text{Log}J_2 - \text{Log}J_1)/(\text{Log}E_2 - \text{Log}E_1) \quad (6)$$

sendo J a densidade de corrente e E o campo elétrico, calculados através dos dados de corrente elétrica (I) e tensão (V) a partir das equações 7 e 8:

$$E = V/d \quad (7)$$

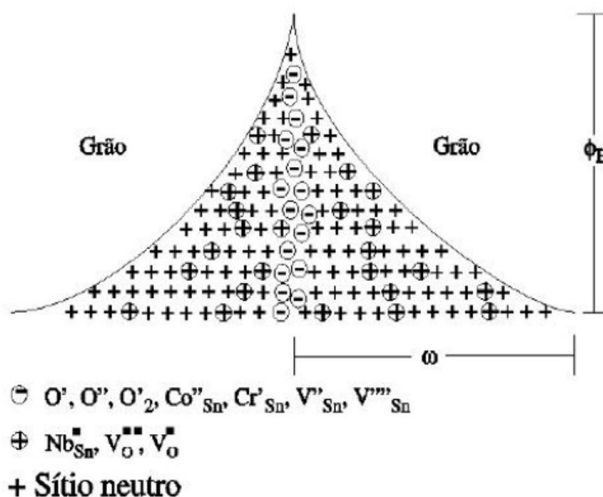
$$J = I/A \quad (8)$$

em que d é a espessura da amostra e A é a área do eletrodo depositado para realização da caracterização elétrica. Para o cálculo do α , adota-se o intervalo da densidade de corrente de 1 mA/cm² a 10 mA/cm², tendo-se então que $J_1 = 1$ e $J_2 = 10$, simplificando a Equação 9 na seguinte equação:

$$\alpha = (\log E_2 - \log E_1)^{-1} \quad (9)$$

A propriedade varistora é dependente de uma barreira de potencial que é formada na região de contorno de grão a partir da introdução dos dopantes que induzem os defeitos na região, como as vacâncias de estanho (V_{Sn}'' e V_{Sn}''''), átomos de estanho intersticial (Sn_1' e Sn_1''''), vacâncias de oxigênio (V_O' e V_O'') e dopantes doadores (D_{Sn}'), assim como no modelo proposto por Bueno ilustrado na Figura 4, incluindo os defeitos causados pelas espécies de oxigênio adsorvido (O' , O'' e O_2') e dopantes doadores (Co_{Sn}'' e Cr_{Sn}') para a formação da barreira de potencial. A natureza física é descrita como uma dupla barreira do tipo Schottky devido à presença de oxigênio na região dos contornos de grãos (BUENO et al., 1998; FENG et al., 2011; LI, C. P. et al., 2001; ORLANDI et al., 2003).

Figura 4 - Modelo da barreira de potencial de varistores de SnO₂.



Fonte: Bueno et al. (1998).

2 EXPERIMENTAL

2.1 SÍNTESE DO PÓ NANOPARTICULADO

O método dos precursores poliméricos (LUSTOSA et al., 2016; STOJANOVIC et al., 2001) consiste na formação de um quelato entre os cátions metálicos com ácido carboxílico (geralmente solução aquosa de ácido cítrico) e posterior adição de etilenoglicol, mantendo sob agitação e aquecimento a 130 °C para promover a poliesterificação. A imobilização dos íons metálicos na forma de complexo reduz consideravelmente o grau de segregação dos metais durante pirólise do material orgânico, assegurando a homogeneidade composicional.

Para cada íon de interesse foi preparada uma solução utilizando a razão molar de 1:4:16 (metal:ácido cítrico:etilenoglicol). A partir da mistura de quantidades estequiométricas das soluções poliméricas dos metais, dois sistemas (soluções matrizes) foram preparados:

A - (Zn,Nb)-SnO₂ - 98,95 %mol de SnO₂, 1 %mol de Zn²⁺, 0,05 %mol de Nb⁵⁺

B - (Co,Nb)-SnO₂ - 98,95 %mol de SnO₂, 1 %mol de Co²⁺, 0,05 %mol de Nb⁵⁺

A mistura estequiométrica das soluções, correspondentes a cada sistema foi mantida em aquecimento a 130 °C e agitação constante por 1 hora. A temperatura foi então elevada para 250 °C e mantida até poliesterificação do material, que foi posteriormente levado à calcinação parcial em forno tipo mufla a 400 °C por 2 horas, seguido por uma etapa de moagem em meio etílico a uma velocidade de 500 rpm durante 1 hora em moinho Szegvari Attritor Tipo 01HD para transformar o resíduo polimérico pré-calcinado (puff) em um pó fino que retornou para calcinação final em forno tipo mufla a 600 °C por 2 horas. O pó obtido após calcinação foi moído novamente a 500 rpm durante 1 hora em meio etílico e posteriormente levado para secagem.

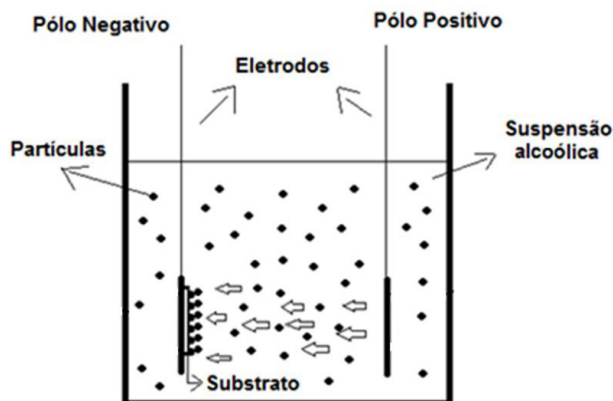
2.2 DEPOSIÇÃO ELETROFORÉTICA E SINTERIZAÇÃO

O pó dos sistemas foi utilizado para obtenção do filme através da técnica de deposição por eletroforese (EPD), um processamento de filmes de baixo custo que apresenta facilidade de controle da espessura, de forma uniforme e em um curto período de tempo. Para que ocorra a deposição é necessário que as partículas tenham carga superficial para serem atraídas pela corrente elétrica que é gerada a partir da aplicação de um campo elétrico na célula de deposição (BESRA; LIU, 2007; CAPRONI; MUCILLO, 2012; CORNI; RYAN; BOCCACCINI, 2008). Para melhor deposição dos filmes os solventes orgânicos são mais indicados para tal uso pois são mais viscosos (auxiliando na suspensão das partículas) e também evitam eletrólise, que gera desprendimento de

gases nos eletrodos e prejudica na formação de filmes densos e de espessura regular (HARBACH, 1998a; HARBACH 1998b).

Foram utilizadas 20 mg do pó em 20 ml de álcool isopropílico para preparar a suspensão, como mostrado na Figura 5. Foi utilizada uma fonte de alta tensão FUG DC Power Supply, a tensão aplicada foi de 2 kV durante diferentes tempos. O substrato para a deposição das partículas e formação do filme foi acoplado no pólo negativo.

Figura 5 – Sistema de deposição por eletroforese para obtenção dos filmes.



Fonte: o autor.

Os filmes obtidos foram então levados para sinterização em forno microondas de 750 W, adaptado pelo próprio grupo de pesquisa, e realizados testes com variação de temperatura e de tempo: 900 e 1000 °C por 30 e 40 minutos com o intuito de promover o crescimento dos grãos. O uso de microondas é uma tecnologia recente com vantagens em relação à sinterização convencional: (1) aquecimento rápido e homogêneo da amostra que promove difusão de massa e (2) menor tempo e temperatura de sinterização que minimiza o crescimento de grãos e o aparecimento de formas irregulares, reduzindo custos energéticos do processo (MENEZES et al., 2007; SANTOS et al., 2006).

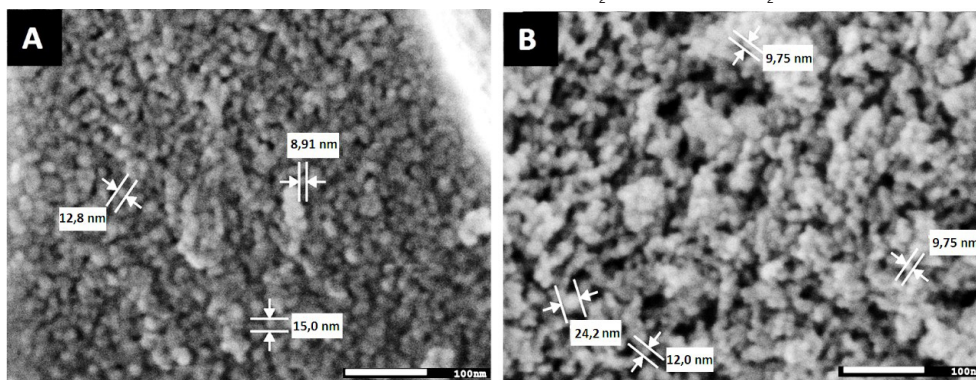
Após a etapa de sinterização, cátions cromo foram depositados na superfície dos filmes, visto que a ação deste íon é na região de contorno de grão, a aplicação direta na superfície do material reduz tempo e temperatura de tratamento térmico para a difusão destes íons para a região do contorno de grão caso fossem introduzidos na matriz cerâmica durante a etapa de síntese. Os filmes sinterizados foram levados novamente ao sistema de deposição por eletroforese (Figura 5), acoplado no pólo negativo e imerso em 20 mL de uma solução de Cr^{3+} 0,3 M, com tensão aplicada de 2 kV durante 3 min. Após a retirada do substrato, os filmes foram levados para secagem em estufa e posteriormente a tratamento térmico (1000 °C/15 minutos) em forno microondas para promover a difusão dos íons Cr^{3+} e modificar a barreira de potencial que se forma na região do contorno de grão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E ESTRUTURAL

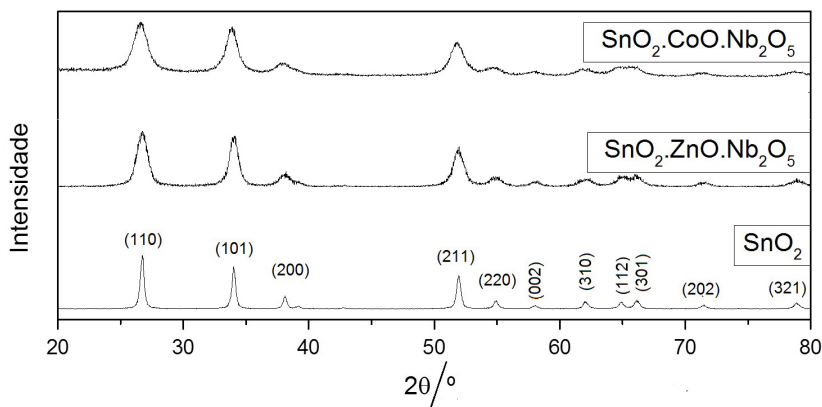
Os pós sintetizados (Zn,Nb)-SnO₂ e (Co,Nb)-SnO₂ foram caracterizados estrutural e morfologicamente. A partir da microscopia eletrônica foi possível observar partículas esféricas de tamanho nanométrico. Utilizando a base de dados JCPDS-ICDD para analisar os picos cristalinos apresentados na Figura 7, foi possível atribuir a fase cristalina rutilo do dióxido de estanho (JCDPS n° 41-1445). Não foram observados picos referentes à formação de fases secundárias, indicando a obtenção uma solução sólida homogênea. A partir dos dados obtidos nas análises de DRX foi realizado refinamento através do método de Rietveld para obtenção de informações sobre a composição cristalina e sobre as distorções de rede geradas pela adição dos agentes modificadores à rede cristalina do SnO₂, dados apresentados na Tabela 1.

Figura 6 - MEV_FEG dos pós (a) (Zn,Nb)-SnO₂ e (b) (Co,Nb)-SnO₂.



Fonte: o autor.

Figura 7 - Difratogramas de Raios-X dos pós calcinados a 600 °C por 2 horas.



Fonte: o autor.

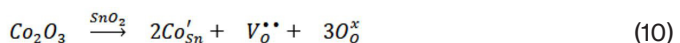
Tabela 1 - Parâmetros a, b e c (Å), volume da célula unitária (Å³) e densidade (g/cm³).

Amostra	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Volume da célula (Å ³)	Densidade (g/cm ³)
*SnO ₂	4,7397	4,7397	3,1877	71.610	6.990
SZN	4.7550 ±0.0005	4.7542 ±0.0005	3.1983 ±0.0004	72.291 ±0.024	6.923
SCN	4.7350 ±0.0008	4.7350 ±0.0008	3.1865 ±0.0006	71.445 ±0.034	7.005

*cif. 92552 ICSD (YAMANAKA; KURASHIMA; MIMAKI, 2000).

No GSAS é fornecido o fator R_F^2 para avaliar a qualidade geral dos refinamentos, sendo obtidos os valores de 3,61% para o SZN e 2,51% para o SCN, mostrando que as curvas se ajustaram àquelas que serviram para originar o padrão de difração. O fator de perfil ponderado (R_{wp}) foi de 9,47% para SZN e 8,02% para SCN, dentro do limite de 10% para consideração de um refinamento otimizado. Outro indicador de qualidade do ajuste é o χ^2 , e os valores observados foram de 1,312 e 1,005 respectivamente para os sistemas SZN e SCN, indicando coerência dos dados obtidos e analisados, visto que valores acima de 1,5 para χ^2 indicam modelo inadequado.

A Tabela 1 indica os parâmetros de rede, bem como o volume da célula unitária e de sua densidade teórica, de acordo com a natureza do agente modificador utilizado durante a síntese que indica a ocorrência da dopagem/substituição desses íons nos sítios do Sn⁴⁺ (raio iônico: 0,69 Å; raio covalente: 1,4 Å) na rede da matriz cerâmica. Observa-se que o sistema dopado com íon Zn²⁺ (raio iônico: 0,74 Å; raio covalente: 1,3 Å) há um aumento dos parâmetros de rede, evidenciado pelo aumento do volume da célula unitária e diminuição de sua densidade. Já para o sistema dopado com cobalto observa-se uma retração da célula unitária do estanho e conseqüentemente um aumento de sua densidade teórica, sugerindo que o cobalto se encontra no estado de oxidação 3+ (raio iônico: 0,64 Å), já que o mesmo é pertinente à faixa de temperatura de 300-680 °C (CERRI et al., 1996) gerando vacâncias de oxigênio, proporcionando o aumento do coeficiente de difusão dos íons e promovendo a sinterização, de acordo com a Equação 10, sendo que acima dessa faixa de temperatura o estado de oxidação é +2 (raio iônico: 0,74 Å). Embora haja a modificação dos parâmetros de rede não foi observada mudança na estrutura cristalina da matriz do SnO₂.



Para o estudo da propriedade varistora os filmes foram depositados por EPD em substratos de Si (100)/SiO₂ (10000 Å°)/Ti (200 Å°)/Pt (1500 Å°) com a aplicação

de 2 kV durante 1, 2, 3, 4 e 5 minutos em uma célula contendo uma suspensão alcóolica com 20 mg do pó suspenso, como mostrado na Figura 13. A sinterização no forno microondas ocorreu a 1000 °C para os filmes de (Zn,Nb)-SnO₂ e 900 °C para as amostras de (Co,Nb)-SnO₂, pois ocorreu que estas se fundiram quando submetidas à maior temperatura.

As micrografias de MEV, apresentadas nas Figuras 8 e 9, foram obtidas para verificar a espessura dos filmes depositados e a presença qualitativa de poros na amostra sintetizada com o dopante zinco. É possível observar que a deposição por eletroforese permite a obtenção de filmes mais espessos para a amostra sintetizada com o dopante cobalto.

Para os filmes de (Zn,Nb)-SnO₂ sinterizados em atmosfera de ar ambiente. Observa-se os efeitos da sinterização como o crescimento dos grãos com tamanhos maiores que 100 nm e formação dos pescoços entre os grãos. Também ocorre o aumento da espessura com o tempo de deposição utilizado na eletroforese: 11,8 µm (1 minuto), 12,9 µm (2 minutos), 24,5 µm (3 minutos), 27,2 µm (4 minutos) e 30 µm (5 minutos). Observou-se que os filmes sinterizados em atmosfera rica de oxigênio apresentaram espessuras similares de acordo com o tempo de deposição: 11,4 µm (1 minuto), 12,7 µm (2 minutos), 27,5 µm (3 minutos), 29,5 µm (4 minutos) e 31,8 µm (5 minutos).

Para os filmes de (Co,Nb)-SnO₂ foram determinadas as espessuras de 68,6 e 78,8 µm para os filmes sinterizados em atmosfera ambiente depositados por 30 e 40 segundos, respectivamente; e quando sinterizados em atmosfera rica em oxigênio temos a espessura de 69,2 e 77,4 µm para os filmes depositados por 30 e 40 segundos, respectivamente.

Figura 8 - MEV_FEG do filme SZN depositado com 2 kV durante 1 minuto e sinterizado em forno microondas a 1000 °C por 40 minutos. (a) vista da superfície; (b) vista transversal.

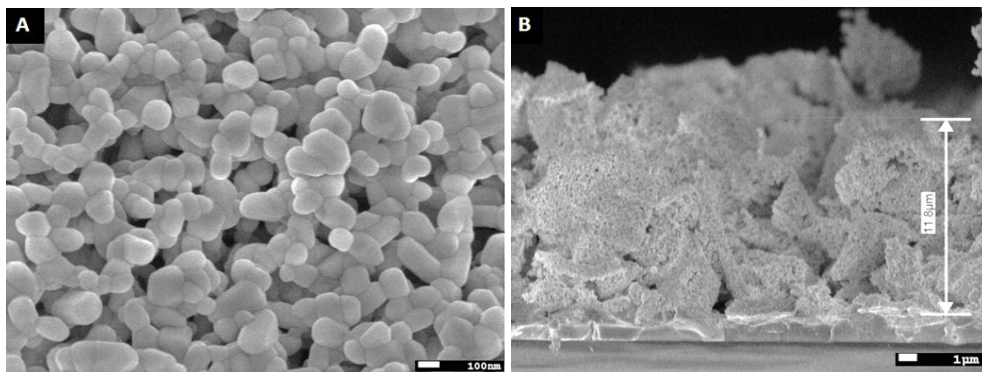
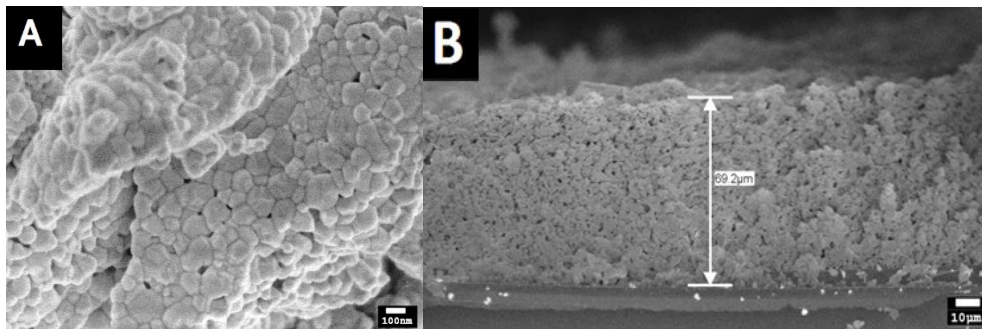
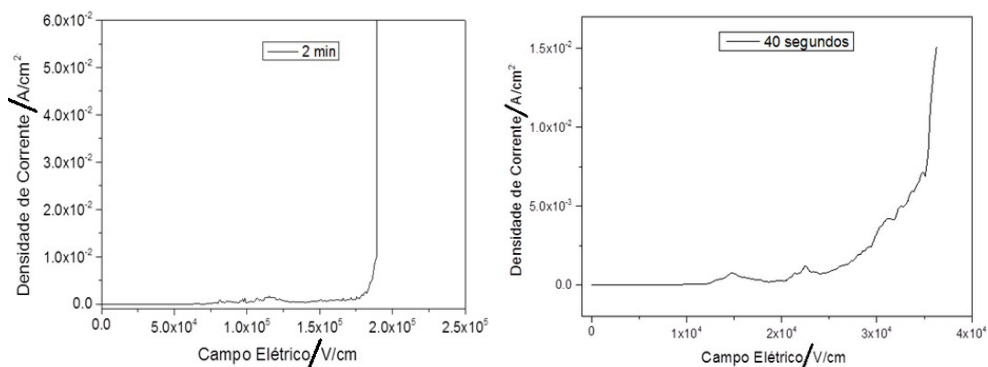


Figura 9 - Filmes de (Co,Nb)-SnO₂ depositados a 2 kV durante 40 segundos e sinterizados em forno microondas a 900 °C por 30 minutos. (a) vista da superfície; (b) vista transversal.



Após a sinterização, os filmes foram levados para o sistema de eletroforese para a deposição de íons cromo na superfície dos filmes, seguidos por secagem a 100 °C e posterior aplicação de tratamento térmico para difusão do cromo, e por fim foram levados para caracterização elétrica por Tensão vs Corrente. Nas amostras representadas na Figura 10 é possível observar a curva característica de um varistor: um caráter resistivo inicial mantido até um momento em que ocorre uma pequena variação de tensão em função de uma variação significativa da corrente, ou seja, o filme adquire caráter condutivo.

Figura 10 - Gráficos de Densidade de Corrente vs Campo Elétrico para: (A) filme (Zn,Nb)-SnO₂ depositado com 2 kV durante 2 minutos, sinterizados a 1000 °C por 40 min; (B) filme (Co,Nb)-SnO₂ depositados com 2 kV durante 40 segundos, sinterizados a 900 °C/40 min.



Para todas as amostras preparadas e caracterizadas, diferentes de acordo com os parâmetros de processamento de deposição e sinterização, os dados obtidos foram tratados e então calculados os parâmetros de coeficiente de não linearidade (α), campo elétrico (E_R), voltagem de ruptura (V_R), corrente de fuga (I_p). Os resultados são apresentados nas Tabelas 2 e 3. A tensão nominal de um varistor é proporcional à quantidade de barreiras e o campo elétrico de ruptura (E_R) é equivalente ao campo

quando a densidade de corrente for de 1 mA/cm², a corrente de fuga (I_F) é equivalente à corrente quando a tensão for 70% da tensão de ruptura. A barreira de potencial é formada pelos dopantes e depende da quantidade e do tipo de defeito induzido pelos dopantes na região de contorno de grãos.

Tabela 2 - Propriedades elétricas calculadas para os filmes de (Zn,Nb)-SnO₂.

Filmes	Deposição	α	$E_R / \text{kV.cm}^{-1}$	V_R / Volts	$I_F / \text{A.cm}^{-2}$
(Zn,Nb)-SnO ₂ (Atmosfera de ar)	2 kV/1 min	6,8	95	114	$1,2 \times 10^{-4}$
	2 kV/2 min	22	170,7	222	$1,3 \times 10^{-4}$
	2 kV/3 min	19	100,8	242	$1,3 \times 10^{-4}$
	2 kV/4 min	3,8	5,6	15	$1,5 \times 10^{-4}$
	2 kV/5 min	4	28	84	$2,9 \times 10^{-4}$
(Zn,Nb)-SnO ₂ (Atmosfera de O ₂)	2 kV/1 min	11,1	119,2	143	$1,5 \times 10^{-5}$
	2 kV/2 min	8,3	175,7	228	$2,8 \times 10^{-4}$
	2 kV/3 min	9,1	104,6	251	$4,6 \times 10^{-5}$
	2 kV/4 min	9,8	94,8	255	$1,6 \times 10^{-5}$
	2 kV/5 min	1,7	33	99	$4,9 \times 10^{-4}$

Tabela 3 - Propriedades elétricas calculadas para os filmes de (Co,Nb)-SnO₂.

Filmes	Deposição	α	$E_R / \text{kV.cm}^{-1}$	V_R / Volts	$I_F / \text{A.cm}^{-2}$
(Co,Nb)-SnO ₂ (Atmosfera de ar)	2 kV/30 seg	4,7	20,9	143,5	$5,75 \times 10^{-7}$
	2 kV/40 seg	7,2	26,1	204,9	$2,44 \times 10^{-7}$
(Co,Nb)-SnO ₂ (Atmosfera de O ₂)	2 kV/30 seg	11,4	33,4	220,7	$1,15 \times 10^{-8}$
	2 kV/40 seg	15,1	32,1	248,4	$1,14 \times 10^{-8}$

Após o tratamento dos dados da caracterização elétrica dos filmes (Zn,Nb)-SnO₂, foi possível calcular os parâmetros e verificou-se que os filmes depositados pelos tempos de 1, 2, 3 e 4 minutos e sinterizados em atmosfera rica em oxigênio apresentaram valor do coeficiente de não-linearidade (α) mais regulares, e todos os filmes apresentaram voltagem de ruptura (V_R) menor que 260 Volts e baixa corrente de fuga ($10^{-4} \text{ A} < I_F < 10^{-5} \text{ A}$), corroborando com o comportamento da curva varistora.

Os filmes de (Co,Nb)-SnO₂ depositados por 30 e 40 segundos e sinterizados em atmosfera de O₂ apresentaram maiores coeficiente de não-linearidade (α) 11,4 e 15 respectivamente, enquanto os filmes depositados a 30 e 40 segundos e sinterizados em atmosfera ambiente apresentaram menor coeficiente de não linearidade de 4,7 e 7,2 respectivamente. Nas duas condições atmosféricas de sinterização foram obtidas voltagem de ruptura (V_R) menor que 250 Volts e baixa corrente de fuga ($10^{-7} \text{ A} < I_F < 10^{-8} \text{ A}$).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior valor de coeficiente de não-linearidade (α) observado para as amostras sinterizadas com atmosfera rica em oxigênio está relacionado à formação de defeitos no contorno de grão que induzem o transporte de massa e favorecem diretamente a uma maior densificação das amostras. A densificação gera contorno de grão, aumentando o número de barreiras de potencial que são responsáveis por oferecer resistência à passagem de corrente elétrica, que é armazenada no interior do grão até atingir a capacidade máxima, ocorrendo então a “ruptura” do material em uma determinada tensão chamada de “tensão de ruptura”. A formação de maior número de barreira de potencial efetiva dificulta a passagem de corrente elétrica e pode ser constatada pelo aumento da tensão de ruptura, indicando o acréscimo da capacidade de bloqueio da corrente elétrica.

É possível também observar que os filmes sinterizados em fluxo de oxigênio apresentaram valores de corrente de fuga (I_F) menor que dos filmes sinterizados em atmosfera ambiente. Sendo assim, os valores calculados para a I_F corroboram com os dados que indicam maior quantidade de barreira de potencial, aumentando a capacidade de bloquear a passagem de corrente elétrica, diminuindo assim a perda de corrente (I_F).

Para a análise da aplicação como varistor os filmes sinterizados em atmosfera de O_2 apresentaram melhor resultado, para os filmes de (Zn,Nb)- SnO_2 foram obtidos coeficiente α na faixa de 8,5 a 11 e para os filmes de (Co,Nb)- SnO_2 coeficiente de não-linearidade de 11,4 e 15,1 respectivamente, para os filme depositado por 30 e 40 segundos. A atmosfera rica em O_2 promove regular crescimento dos grãos, e defeitos que geram transporte de massa que diminuem a porosidade dos materiais. Os filmes dopados com cobalto apresentaram menor corrente de fuga que os filmes dopados com zinco, $\sim 10^{-8}$ A/cm² e $\sim 10^{-5}$ A/cm² respectivamente. Ambos os sistemas apresentam potencialidade para aplicação varistor, apresentando uma tensão de ruptura menor que 250 Volts.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento pelo suporte financeiro deste projeto de pesquisa FAPESP 2014/11314-9, CNPq, CEPID/CDMF-FAPESP 2013/07296-2.

REFERÊNCIAS

BESRA, L.; LIU, M. **A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD)**. Progress in Materials Science, v. 52, n. 1, p. 1-61, 2007.

BRANKOVIC, G.; BRANKOVIC, Z.; DAVOLOS, M. R.; CILENSE, M.; VARELA, J. A. **Influence of the common varistor dopants (CoO, Cr₂O₃ and Nb₂O₅) on the structural properties of SnO₂ ceramics**. Materials Characterization, v. 52, n. 4/5, p. 243-251, 2004.

BUENO, P. R.; PIANARO, S. A.; PEREIRA, E. C.; BULHÕES, L. O. S.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Investigation of the electrical properties of SnO₂ varistor system using impedance spectroscopy.** Journal of Applied Physics, v. 84, n. 7, p. 3700-3705, 1998.

CAPRONI, E.; MUCILLO, R. **Aplicação da técnica de deposição eletroforética para a obtenção de tubos cerâmicos de zircônia-ítria.** Cerâmica, v. 58, p. 131-136, 2012.

CERRI, J. A.; LEITE, E. R.; GOUVÊA, D.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Effect of cobalt (II) oxide and manganese (IV) oxide on sintering of tin (IV) oxide.** Journal of the American Ceramic Society, v. 79, n. 5, p. 799-804, 1996.

CORNI, I.; RYAN, M. P.; BOCCACCINI, A. R. **Electrophoretic deposition: from traditional ceramics to nanotechnology.** Journal of the European Ceramic Society, v. 28, n. 7, p. 1353-1367, 2008.

CLARKE, D. R. **Varistor ceramics.** Journal of the American Ceramic Society, v. 82, n. 3, p. 485-502, 1999.

CHOI, S. W.; KATOCH, A.; ZHANG, J.; KIM, S. S. **Electrospun nanofibers of CuO-SnO₂ nanocomposite as semiconductor gas sensors for H₂S detection.** Sensors and Actuators, B: Chemical, v. 176, p. 585-591, 2013.

DHAGE, S. R.; RAVI, V.; YANG, O. B. **Varistor property of SnO₂-CoO-Ta₂O₅ ceramic modified by barium and strontium.** Journal of Alloys and Compounds, v. 466, n. 1/2, p. 483-487, 2008.

FENG, H.; PENG, Z.; FU, X.; FU, Z.; WANG, C.; QUI, L.; WAO, H. **Effect of SnO₂ doping on microstructural and electrical properties of ZnO-Pr₆O₁₁ based varistor ceramics.** Journal of Alloys and Compounds, v. 509, n. 25, p. 7175-7180, 2011.

FURTADO, J. G. M. **Correlações entre fenômenos de grão e de contornos de grão e o desempenho de cerâmicas varistoras.** 2005. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GAPONOV, A. V.; GLOT, A. B.; IVON, A. I.; CHACK, A. M.; JIMENEZ-SANTANA, G. **Varistor and humidity-sensitive properties of SnO₂-Co₃O₄-Nb₂O₅-Cr₂O₃ ceramics with V₂O₅ addition.** Materials Science and Engineering B, v. 145, n. 1/3, p. 76-84, 2007.

GUPTA, T. K. **Application of zinc oxide varistors.** Journal of the American Ceramic Society, v. 73, n. 7, p. 1817-1840, 1990.

HARBACH, F.; NIENBURG, H. **Homogeneous functional ceramic components through electrophoretic deposition from stable colloidal suspensions-I. Basic concepts and application to zirconia.** Journal of the European Ceramic Society, v. 18, n. 6, p. 675-683, 1998a.

HARBACH, F.; NIENBURG, H. **Homogeneous functional ceramic components through electrophoretic deposition from stable colloidal suspensions – II. Beta-alumina and concepts for industrial production.** Journal of the European Ceramic Society, v. 18, n. 6, p. 685-692, 1998b.

LEE, H. J.; KIM, C. D.; KANG, S. H.; KIM, W.; LEE, J. S.; CHUNG, G. S. **Influence of sintering temperature on conduction behaviors for CoO- and ZnO- doped SnO₂ varistor ceramics.** Journal of the Korean Physical Society, v. 49, n. 6, p. 2423-27, 2006.

LEITE, D. R.; CILENSE, M.; ORLANDI, M. O.; BUENO, P. R.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **The effect of TiO₂ on the microstructural and electrical properties of low voltage varistor based on (Sn,Ti)O₂ ceramics.** Physica Status Solidi A: Applications and Materials Science, v. 207, n. 2, p. 457-461, 2010.

LI, C. P.; WANG, J. F.; SU, W. B.; CHEN, H. C.; WANG, W. X.; ZHUANG, D. X.; XU, L. **Nonlinear electrical properties of cobalt doped $\text{SnO}_2\text{-Ni}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ varistors**. The European Physical Journal Applied Physics, v. 16, n. 1, p. 3-9, 2001.

LUSTOSA, G. M. M. M.; COSTA, J. P. C.; PERAZOLLI, L. A.; STOJANOVIC, B. D.; ZAGHETE, M. A. **Potential barrier of $(\text{Zn,Nb})\text{SnO}_2$ -films induced by microwave thermal diffusion of Cr^{3+} for low-voltage varistor**. Journal of the American Ceramic Society, v. 99, n. 1, p. 152-157, 2016.

MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. **Sinterização de cerâmicas em microondas. Parte I: aspectos fundamentais**. Cerâmica, v. 53, p. 1-10, 2007.

MA, S.; XU, Z.; CHU, R.; HAO, J.; LI, W.; CHENG, L.; LI, G. **Influence of SnO_2 on $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3\text{-Co}_2\text{O}_3$ based varistor ceramics**. Ceramics International, v. 41, n. 9, p. 12490-12494, 2015.

PIANARO, S. A.; BUENO, P. R.; OLIVI, P.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Electrical properties of the SnO_2 -based varistor**. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, v. 9, n. 2, p. 159-165, 1998.

PUNGINSANG, M.; WISITSORA, A.; TUANTRANONT, A.; PHANICHPHANT, S.; LIEWHIRAN, C. **Effects of cobalt doping on nitric oxide, acetone and ethanol sensing performances of FSP-made SnO_2 nanoparticles**. Sensors and Actuators, B: Chemical, v. 210, p. 589-601, 2015.

QI, P.; WANG, J. F.; SU, W. B.; CHEN, H. C.; ZHANG, G. Z.; WANG, C. M.; MING, B. Q. **(Er, Co, Nb)-doped SnO_2 varistor ceramics**. Materials Chemistry and Physics, v. 92, n. 2/3, p. 578-584, 2005.

SANTOS, P. A.; MARUCHIN, S.; MENEGOTO, G. F.; ZARA, A. J.; PIANARO, S. A. **The sintering time influence on the electrical and microstructural characteristics of SnO_2 varistor**. Materials Letters, v. 60, n. 12, 1554-1557, 2006.

STOJANOVIC, B. D.; FOSCHINI, C. R.; CILENSE, M.; ZAGHETE, M. A.; CAVALHEIRO, A. A.; PAIVA-SANTOS, C. O.; VARELA, J. A. **Structural characterization of organometallic-derived 9.5/65/35 PLZT ceramics**. Materials Chemistry and Physics, v. 68, n. 1/3, p. 136-141, 2001.

VIANA JUNIOR, E. R. **Propriedades elétricas e fotoelétricas de nanofitas de SnO_2** . 2014. 99 f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

YAMANAKA, T.; KURASHIMA, R.; MIMAKI, J. **X-ray diffraction study of bond character of rutile-type SiO_2 , GeO_2 and SnO_2** . Zeitschrift fur Kristallographie, v. 215, n. 7, p. 424-428, 2000.

ZANG, G.; WANG, J.; CHEN, H.; SU, W.; WANG, W.; WANG, C.; QI, P. **Effects of Sc_2O_3 on the microstructure and varistor properties of (Co, Ta)-doped SnO_2** . Journal of Alloys and Compounds, v. 377, n. 1/2, p. 82-84, 2004.

ZANG, G.-Z.; ZHOU, F. Z.; CAO, J. X.; WANG, X. F.; WANG, Z. W.; LI, L. B.; LI, G. R. **Varistor and dielectric properties of Cr_2O_3 doped $\text{SnO}_2\text{-Zn}_2\text{SnO}_4$ composite ceramics**. Current Applied Physics, v. 14, n. 12, p. 1682-1686, 2014.

ZANG, G.-Z.; WANG, X. F.; LI, L. B.; ZHOU, F. Z. **Varistor and dielectric properties of SiO_2 doped $\text{SnO}_2\text{-Zn}_2\text{SnO}_4$ ceramic composites**. Ceramics International, v. 42, n. 16, p. 18124-18127, 2016.

CAPÍTULO 18

GRADUAÇÃO HISTOLÓGICA DOS GLIOMAS PELA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE MICROVASCULAR POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Data de submissão: 30/09/2021

Data de aceite: 18/10/2021

Pedro Henrique Raffa de Souza

Instituto Internacional de
Estudos em Saúde
Ribeirão Preto – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6711094912959847>

Rodrigo de Oliveira Plotze

Universidade de Ribeirão Preto
Ribeirão Preto – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4956606071703925>

Lucas Giansante Abud

MEDIG Diagnóstico por Imagem
Ribeirão Preto – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0741880699944775>

Carolina Baraldi Araújo Restini

Michigan State University
East Lansing - Estados Unidos
<http://lattes.cnpq.br/5116056432515389>

RESUMO: Gliomas, tumores encefálicos originários das células da glia, representam os tumores primários mais comuns do Sistema Nervoso Central (SNC). Os astrocitomas correspondem a aproximadamente 80% de todos os gliomas. A maioria dos casos ocorre

em indivíduos com mais de 15 anos, e 70% se localizam no território supratentorial. O diagnóstico preciso dos tumores encefálicos não é um processo fácil e, por isso, é comum que o diagnóstico pré-operatório não seja realizado e ocorra indicação cirúrgica a lesões benignas, as quais poderiam ser tratadas sem a confirmação histológica. A Ressonância Magnética (RM) se destaca na avaliação dos tumores encefálicos devido à capacidade multiplanar e maior resolução de contraste entre os tecidos, e fornece detalhes anatômicos importantes para o diagnóstico e seguimento desses pacientes. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das técnicas avançadas em imagens funcionais, em destaque a permeabilidade por RM, para classificação não invasiva dos gliomas e seus tipos histopatológicos de acordo com a classificação da Organização Mundial de Saúde. Trata-se de um estudo observacional analítico de coorte, em pacientes com glioma pré-operatório, encaminhados por equipes de neurocirurgia ao Departamento de Radiologia da Clínica *Medicina Diagnóstica*, localizada em Ribeirão Preto-SP, avaliados pela RM. A análise da permeabilidade microvascular associada aos resultados fornecidos pelas técnicas avançadas em RM permitiu traçar parâmetros cinéticos confiáveis para classificação não invasiva dos gliomas e seus respectivos tipos histológicos e, com isso, caracterizar a neoangiogênese pela avaliação da integridade da barreira hemato-encefálica,

e melhorar a compreensão dos gliomas e impactar de forma positiva no diagnóstico e prognóstico desses pacientes.

PALAVRAS-CHAVE: Ressonância Magnética. Imagem de Perfusão. Permeabilidade Capilar. Espectroscopia. Glioma Astrocítico.

GRADING OF GLIOMAS BY MICROVASCULAR PERMEABILITY ANALYSIS BY MAGNETIC RESONANCE IMAGING

ABSTRACT: Gliomas, tumors originated from encephalic glial cells, represent the most common primary tumors of the central nervous system. The astrocytoma accounts for about 80% of all gliomas. Most cases occur in individuals over 15 years of age, and 70% is in the supratentorial region. The correct diagnosis of encephalic tumors is not an easy task, and so it is common that the preoperative diagnosis is not done and a surgical is indicated without histological confirmation. Magnetic resonance imaging (MRI) stands out in the evaluation of encephalic tumors by multiplanar capacity and higher contrast resolution through the tissues and provides important anatomical details for the diagnosis and management of the patient. This study aims to evaluate the potential of permeability MRI to act as a complementary method in tumor graduation associated with magnetic resonance imaging (MRI). It is a analytical observational cohort study, in patients with preoperative gliomas will be forwarded and evaluated by MRI by the team of the Neurosurgery Clinic Radiology Department Med Diagnostic Medicine-Ribeirão Preto-SP. The microvascular permeability analysis associated with the results provided by the advanced MR techniques allowed tracing the reliable kinetic system for the noninvasive gliomas classification and their histological types and, therewith, characterize the neoangiogenesis by the evaluation of the integrity of the blood-brain barrier, and improve the understanding of the gliomas and to have a positive impact on the diagnosis and prognosis of these patients.

KEYWORDS: Magnetic Resonance Imaging. Perfusion Imaging. Capillary Permeability. Spectroscopy. Astrocytoma.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Louis et al. (2016), em publicação para a 5ª edição das Diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), os tumores encefálicos são classificados em primários e secundários. Os primários se referem ao local onde os tumores se originam, enquanto os secundários surgem em outra região do corpo e podem produzir metástases para o encéfalo. Gliomas são os tumores primários mais comuns do Sistema Nervoso Central (SNC), representam cerca de 40 a 50% dos tumores primários intracranianos. A incidência anual total é de 7 por 100.000 em todo o mundo (VIGNESWARAN; NEILL; HADJIPANAYIS, 2015). Esses tumores se originam do conjunto das células gliais constituídos por astrócitos, oligodendrócitos e células ependimais. Dessa forma, os gliomas são classificados como astrocitomas, oligodendromas ou ependimomas, respectivamente. Os astrocitomas representam a variedade mais

frequente na população humana e correspondem a aproximadamente, 80% de todos os gliomas (VIGNESWARAN; NEILL; HADJIPANAYIS, 2015).

Os astrocitomas podem ser classificados de acordo com características histológicas e grau de malignidade: Grau I–astrocitoma pilocítico e subependimário de células gigantes; Grau II–astrocitoma difuso; Grau III–astrocitoma anaplásico e Grau IV –glioblastoma (GBM). Os tumores de alto grau apresentam maiores alterações morfológicas e, geralmente, crescem mais rapidamente quando comparados aos tumores de baixo grau (LOUIS et al., 2016). A alta heterogeneidade dos astrocitomas, tumores primários do SNC, dificulta o diagnóstico. Apesar de avanços nas técnicas cirúrgicas, radioterapia e quimioterapia os pacientes com diagnóstico de glioma ainda possuem prognóstico limitado, pela necessidade em definir não apenas os padrões histológicos, mas parâmetros moleculares e genéticos que possam auxiliar na precisão para a classificação, de acordo com malignidade (POPE et al., 2005).

A nova classificação dos tumores do SNC, segundo a OMS (2016), começa a utilizar parâmetros moleculares, além da histologia. Houve uma importante reestruturação na classificação dos gliomas difusos, meduloblastomas e outras lesões embrionárias tumorais, que incorpora novas entidades definidas pela histologia e características moleculares (LOUIS et al., 2016). A angiogênese ou neovascularização é um processo em que os brotos capilares partem de vasos pré-existentes para produzir novos vasos. Esse processo é fisiologicamente importante para formação da circulação colateral e cicatrização, sendo, dessa forma, fundamental para a sobrevivência de novas células tumorais (FERRARA, 2002). Durante a instalação tumoral, a neovascularização promove o aumento da permeabilidade vascular. No SNC este processo determina a perda da integridade da Barreira Hemato-Encefálica (BHE) e leva ao rompimento e extravasamento das células endoteliais, e assim, promove a proliferação tumoral. Portanto, o aumento da permeabilidade vascular caracterizado por perda da integridade da BHE, define um marcador substituto na graduação dos gliomas (PROVENZALE; MUKUNDAM; DEWHIRST, 2005). A graduação histológica dos tumores está baseada no componente de maior malignidade da lesão tumoral (LOUIS et al., 2016).

Os gliomas de alto grau são tumores heterogêneos e infiltrativos, e podem conter múltiplas áreas de variação histológica. Assim, podemos considerar possíveis erros de amostragem devido à coleta ser realizada em regiões limitadas na biópsia, que pode levar à classificação de uma área restrita do tumor a qual não corresponde ao verdadeiro grau contido em outras áreas da lesão tumoral e, impactar diretamente na classificação e prognóstico do paciente (REES et al., 1996; BRISSON; SANTOS, 2014). Por esse motivo, a graduação tumoral por métodos de diagnósticos por imagem não invasiva tem se tornado

importante para a análise histológica complementar, com capacidade para reduzir o número de biópsias e ressecções cirúrgicas desnecessárias. Neste sentido, inovadoras técnicas, tais como a perfusão sanguínea cerebral, permeabilidade e espectroscopia de prótons associada à imagem por Ressonância Magnética (RM), são consideradas extremamente úteis para o diagnóstico complementar (BORJA et al., 2013).

A avaliação dos tumores encefálicos por RM se destaca em relação aos outros métodos de imagens, devido ao alto contraste gerado entre os tecidos e, pela capacidade em avaliar a integridade da BHE pela técnica de permeabilidade microvascular por RM (RIEMANN et al., 2002). Entretanto, a classificação histológica atualmente empregada, para classificar e graduar os astrócitos ainda é a análise de amostra da lesão obtida por biópsia ou ressecção cirúrgica. A partir do ano 2000, a análise da permeabilidade microvascular pela RM (permeabilidade-RM) tem sido explorada como método complementar ao diagnóstico histológico dos tumores encefálicos. Essa técnica, conhecida como Realce por Contraste Dinâmico (RCD), do inglês *Dynamic Contrast Enhanced* (DCE), avalia o tecido cerebral de forma qualitativa e quantitativa. O método utiliza o estudo dinâmico pela RM, após a administração endovenosa do contraste, para quantificar a saída da molécula de gadolínio empregada como meio de contraste através do plasma sanguíneo para o interstício da região tumoral (UEMATSU; MAEDA, 2006). Entre os parâmetros cinéticos fornecidos pela técnica, destaca-se a constante de transferência de volume (K^{trans}), do inglês *Volume Transfer Constant*, que analisa a integridade da BHE, e a fração de volume no espaço extravascular extracelular (V_e), do inglês *Extravascular Extracellular Space Volume Fraction*, por meio da concentração ou volume do agente de contraste no interstício tumoral (ZANG et al., 2012). Assim, a avaliação da microvascularização dos gliomas por meio da permeabilidade-RM e a definição do grau histológico, como métodos de diagnóstico não invasivo, representam valiosa ferramenta para classificação dos subtipos histopatológicos das neoplasias de origem glial intracraniana.

O objetivo deste estudo é de avaliar se o emprego das técnicas que avaliam a microvascularização, destacadamente a análise da permeabilidade microvascular por Ressonância Magnética, oferece parâmetros factíveis para graduação histológica dos gliomas.

2 CASUÍSTICA E MÉTODOS

Trata-se de um estudo observacional descrito de caráter prospectivo. O estudo ocorreu em um centro de diagnóstico por imagem de referência do interior de São Paulo, Brasil. A população do estudo é composta de quatro pacientes com indicação clínica de glioma. Foram incluídos pacientes que tiveram acompanhamento clínico e

de imagem (RM) de glioma. Tais paciente não poderiam ter tido intervenção cirúrgica contra o tumor, e deveriam estar sem qualquer tratamento farmacológico prévio. Foram excluídos pacientes que não concordaram em assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), também aqueles que apresentaram hipofunção renal identificada por meio do clearance de creatinina ou incluídos nas condições para proibição do uso do gadolínio como descritas acima, e ainda com base nas contraindicações absolutas ao exame de RM (MAGNETIC RESONANCE SAFETY TESTING SERVICES, 2014).

Considerando minimizar erro sistemático, houve cuidado técnico em treinar todos os profissionais que integraram a equipe técnica da clínica (locus do presente estudo) que abordaram os pacientes no momento da amostragem para que não ocorresse erro de concordância interprofissionais (concordância do tipo Kappa) (LANDIS; KOCH, 1977).

As imagens foram adquiridas por meio do equipamento de Ressonância Magnética Siemens 1.5 Tesla, modelo Magnetom Aera XQ® 48 canais, versão de software D13. Todos os pacientes foram submetidos a uma nova varredura de RM. Neste protocolo de estudo foram incluídas as sequências convencionais: imagens axiais de Fluid-Attenuated Inversion Recovery (FLAIR), TR/TE/TI = 9000/91/2500, FOV 240 x 216, matriz 256 x 256, espessura de 4 mm; imagens axiais Turbo Spin-Eco (TSE) ponderado em T2, TR/TE = 5600/89, FOV 240 x 216, matriz 448 x 70, espessura de 4,0 mm; imagens axiais ponderadas em difusão (DWI), TR/TE = 4700/83, FOV 230 x 230, matriz 128 x 108, espessura de 4,0 mm; imagens axiais ponderadas em Susceptibilidade (SWI), TR/TE = 49/40, FOV 230 x 207, matriz 256 x 205, espessura de 4,0 mm; e imagem sagitais T1 3D gradiente eco isotrópico com Inversão Recuperação, TR/TE/TI = 1400/1.92/900 ms, FOV 250 x 205, matriz 256 x 256, espessura de 1,0 mm, realizando reformatações multiplanares nos planos axial, coronal e sagital com 25 cortes cada série e espessura de 4 mm. Nas técnicas avançadas, o estudo de permeabilidade foi realizado pela sequência TWIST ((Time-resolved angiography With Interleaved Stochastic Trajectories), técnica 3D ponderada em T1, TR/TE = 3.75/1.50 ms, FOV 240 x 210, matriz 192 x 80, espessura de 3,5 mm. Essa série teve a cobertura de todo encéfalo e adquirida em 04 minutos e 11 segundos. A injeção endovenosa do agente paramagnético (Dotarem® Guerbet) foi realizada a uma velocidade de 4,0 ml/s com dose equivalente a 0,1 mmol/kg, após decorrer 5 segundos do início da aquisição das imagens, seguido da infusão de 20 ml de solução salina (soro fisiológico 0,9%) com objetivo de promover wash-out do meio de contraste. O estudo da perfusão foi realizado com a sequência SE_EPI, ponderada em T2, TR/TE = 1610/30 ms, FOV 230 x 100, matriz 128 x 100, espessura de 5,0 mm. Essa série teve a cobertura de todo encéfalo e foi adquirida em 01 minuto e 27 segundos. A injeção endovenosa do agente paramagnético (Dotarem® Guerbet) foi realizada a uma velocidade de 4,0 ml/s com dose equivalente a 0,2 mmol/kg,

após decorrer 5 segundos do início da aquisição das imagens, seguido da infusão de 20 ml de solução salina (soro fisiológico 0,9%) com objetivo de promover wash-out do meio de contraste (descrição das técnicas).

As imagens foram transferidas e processadas em uma estação de trabalho (Workstation) Syngovia server versão de software VB10. Nesta Workstation foram realizadas a avaliação da permeabilidade microvascular pela RM, pelo mapa (A) e gráfico de K^{trans} (B), em conjunto com a análise dos valores de volume sanguíneo cerebral relativo (rCBV). As análises dos mapas e valores de K^{trans} e rCBV foram obtidos por meio das medidas nas áreas sólidas tumorais e hemisférios contralateral simétricos de aparência normal, após a seleção de regiões de interesse (ROI), em locais com maior permeabilidade e perfusão nos mapas de cores. Após o exame os pacientes prosseguiram a investigação para estudo histopatológico. Os resultados obtidos foram compilados e agrupados de acordo com o sistema de classificação de tumores do SNC, disponibilizado pela OMS. Os casos foram relatados evidenciando as características dos quadros clínicos dos pacientes, bem como, as informações obtidas com os exames de imagens.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados quatro casos clínicos, por meio de biópsias, os quais foram classificados de acordo com o grau histológico.

3.1 CASO CLÍNICO CLASSIFICADO COMO GRAU II

Paciente do gênero masculino, 39 anos, apresentando quadro clínico de crise convulsiva de início recente. O primeiro exame de imagem realizado evidenciou lesão expansiva. O estudo foi complementado por RM com utilização das técnicas avançadas e indicação de cirurgia. Na avaliação da sequência ponderada em T1, para obter o brilho do contraste nos tecidos e vasos do encéfalo, observou-se ausência de realce significativo do contraste paramagnético na lesão tumoral axial (A) e coronal (B) da Figura 1. O resultado da técnica de perfusão por RM, não evidenciou aumento no volume sanguíneo cerebral, observado na Figura 2. A escala de cores indica a concentração do fluxo sanguíneo. Dessa forma, a área do tumor circundada em branco, na região tumoral, não evidenciou aumento do fluxo sanguíneo pela maior concentração de tons em azul destacado no mapa de perfusão.

A Figura 3, apresenta o gráfico processado pela técnica de perfusão T2 por RM, que pela relação da área sobre a curva destacada no gráfico, e dessa forma, fornece o volume sanguíneo cerebral relativo (rCBV). Nesse caso, o estudo de perfusão T2 por RM foi realizado, para analisar o volume sanguíneo cerebral relativo nas áreas circundadas

no tecido cerebral normal (ROI amarela) e área tumoral (ROI vermelho), em destaque na Figura 3A. A análise demonstrou não ter ocorrido aumento do volume sanguíneo cerebral relativo na medida da região tumoral (curva amarela), quando comparado a medida contralateral no tecido cerebral normal (curva vermelha) (Figura 3B).

Figura 1 – Imagens axial (A) e coronal (B) pós-contraste para avaliação do realce tumoral. Formação expansiva na região dos núcleos da base, cápsula externa e insula à esquerda, envolvendo as regiões fronto-basal e temporal adjacente (círculo vermelho), sem realce significativo após a administração endovenosa do contraste paramagnético.

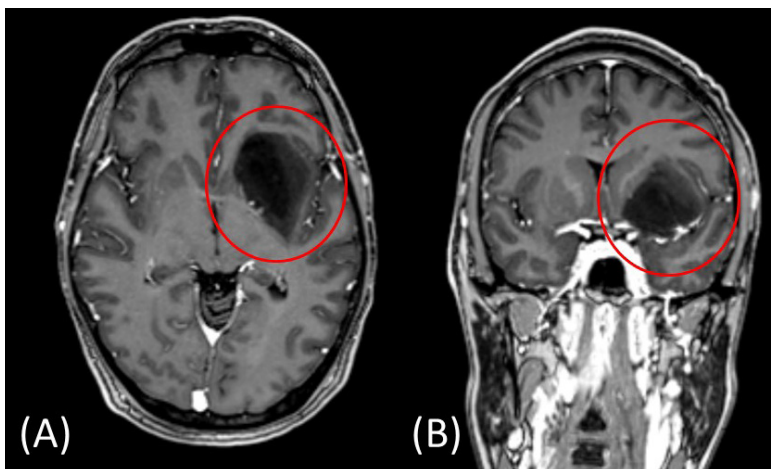
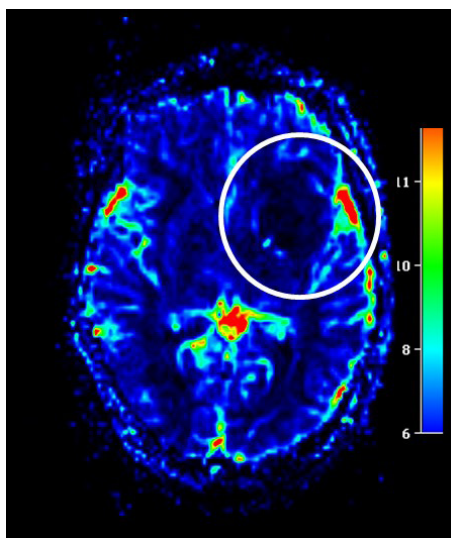
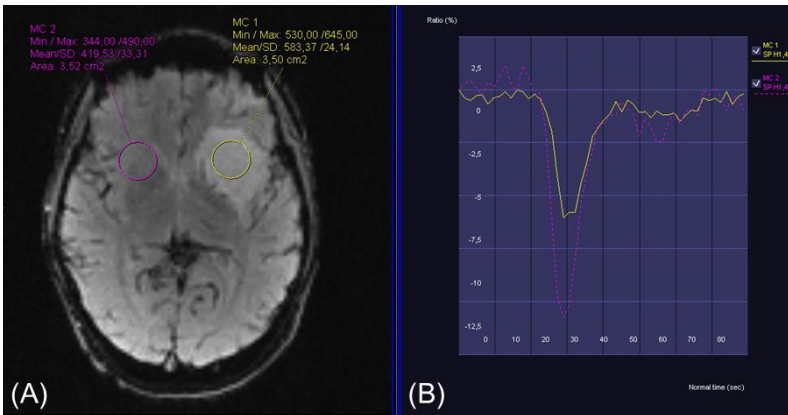


Figura 2 – Mapa de perfusão para avaliação do volume sanguíneo cerebral, em destaque as regiões em vermelho com aumento do fluxo sanguíneo e, em azul, com redução do fluxo sanguíneo. Área circundada em branco na região tumoral, evidencia baixo volume sanguíneo cerebral pela maior concentração de tons de cores em azul escuro observados no mapa.



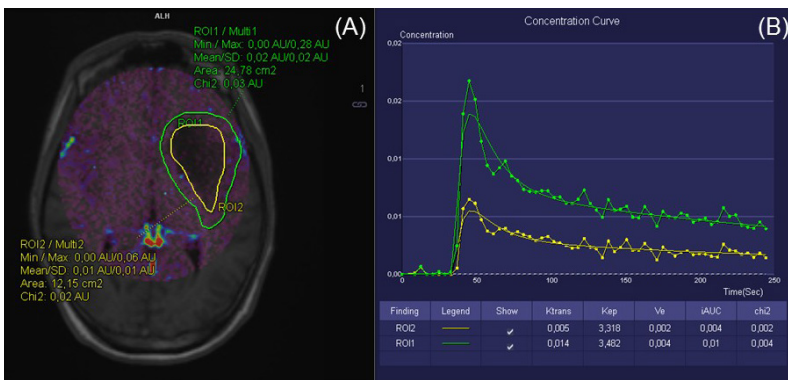
A avaliação da permeabilidade microvascular pela RM, permitiu evidenciar pelo mapa (A) e gráfico de K^{trans} (B), que não houve quebra da BHE, pela menor concentração identificada curva verde que corresponde à análise da região tumoral, em destaque na Figura 5B.

Figura 3 – Imagem e gráfico do volume sanguíneo cerebral relativo (rCBV).



O parâmetro cinético K^{trans} , demonstrou que houve menor concentração na medida da área tumoral na ROI 1 verde ($K^{trans}=0,005$) em comparação com a medida do tecido normal na ROI 2 vermelho ($K^{trans}=0,018$). Na biópsia da lesão tumoral foram coletados fragmentos de tecido pardo-claro e macio, medindo em conjunto cerca de 2,5 x 2,50 x 0,4 cm. No exame microscópico foram avaliados cortes histológicos da neoplasia de linhagem glial formada por proliferação difusa de células fusiformes com leve pleomorfismo nuclear. Notou-se fundo fibular sem sinais de necrose com produção de múltiplos espaços microcísticos e vascularização capilar típica não proliferada. A conclusão da biópsia foi Astrocitoma difuso grau II, segundo a OMS, em região de ínsula esquerda.

Figura 4 – Variação no tamanho da ROI para análise da permeabilidade microvascular Diferença no valor de K^{trans} , em destaque a medida na ROI verde ($K^{trans}=0,014$) comparada a medida na ROI amarelo ($K^{trans}=0,005$) para avaliação da permeabilidade microvascular por RM.



3.2 CASO CLÍNICO CLASSIFICADO COMO GRAU IV

Paciente do gênero feminino, 67 anos, encaminhado ao serviço de radiologia com indicação clínica para pesquisa de tumor glial por RM. Apresentava quadro clínico de afasia transitória. Na avaliação da sequência ponderada em T1, demonstrou a presença de realce anelar na lesão localizada no giro frontal inferior, após a administração do contraste paramagnético (Figura 5). A análise da técnica de perfusão T2 por RM na área da região tumoral evidenciou maior fluxo sanguíneo pela alta concentração de tons verde e vermelho, destacados no mapa de perfusão (Figura 6). No estudo de perfusão T2 por RM também foi avaliado o volume sanguíneo cerebral relativo nas áreas circundadas no tecido normal (ROI vermelho) e região tumoral (ROI amarelo), em destaque na figura 7A. Essa análise evidenciou aumento no volume sanguíneo cerebral relativo, por meio da medida realizada na região tumoral (curva amarela) quando comparado à medida contralateral no tecido cerebral normal (curva vermelha) (Figura 7B).

Figura 5 – Imagens axial (A) e coronal (B) T1 pós contraste para avaliação do realce tumoral. Lesão expansiva nodular localizada no giro frontal inferior esquerdo, em topografia córtico-subcortical, associada a área de edema vasogênico do parênquima cerebral adjacente.

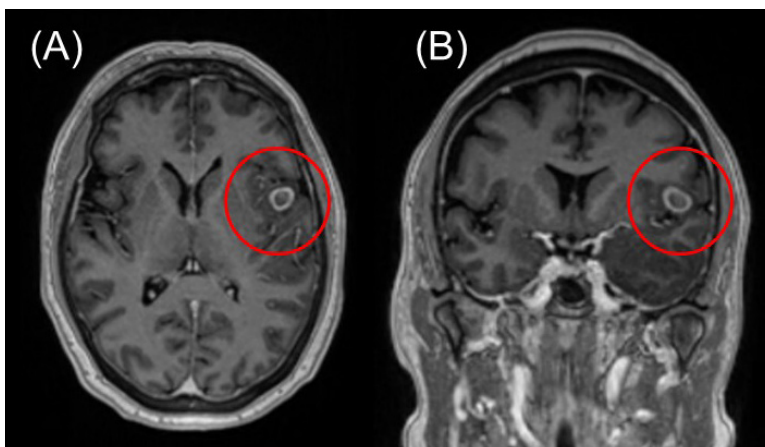
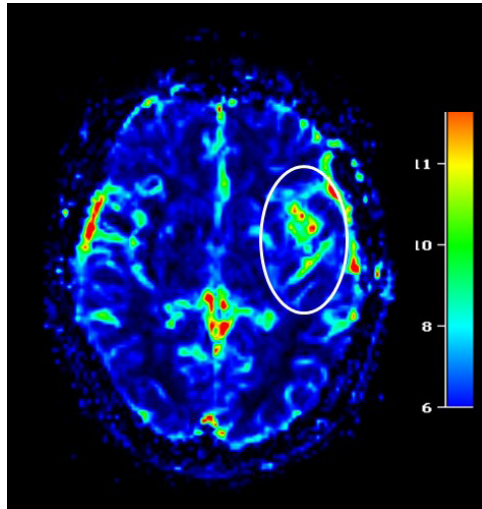


Figura 6 – Mapa de perfusão para avaliação do volume sanguíneo cerebral, em destaque as regiões em vermelho com aumento do fluxo sanguíneo e, em azul, com redução do fluxo sanguíneo. Área em branco na região tumoral, evidencia aumento no volume sanguíneo cerebral pela maior intensidade das cores em verde e vermelho observadas no mapa.



A avaliação da permeabilidade microvascular pela RM, permitiu evidenciar pelo mapa (A) e gráfico de K^{trans} (B), a presença de quebra da BHE devido à diferença observada nas curvas destacadas em amarelo e verde (Figura 8). O parâmetro cinético K^{trans} , apontou aumento na concentração das curvas do tecido normal na ROI amarela ($K^{trans}=0,024$) quando comparamos às medidas da região tumoral na ROI 1 verde ($K^{trans}=0,063$).

Figura 7 – Imagem gráfico do volume sanguíneo cerebral relativo (rCBV). Análise do volume cerebral sanguíneo em função do tempo na medida da região tumoral (ROI e curva amarela), em comparação com a área do tecido normal (ROI e curva vermelha).

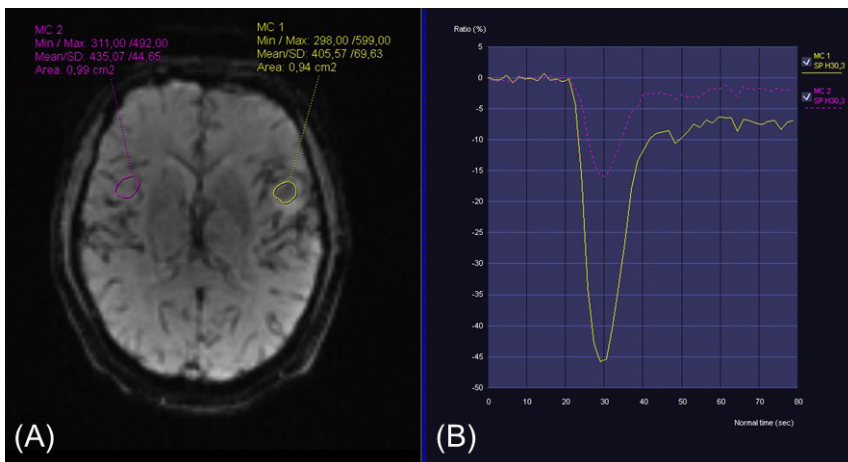
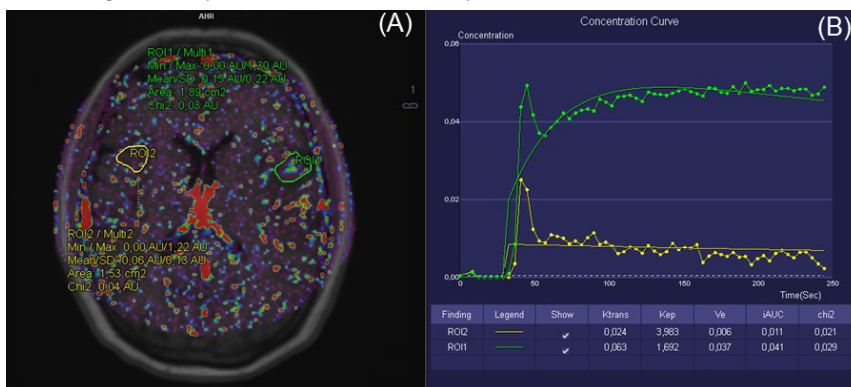
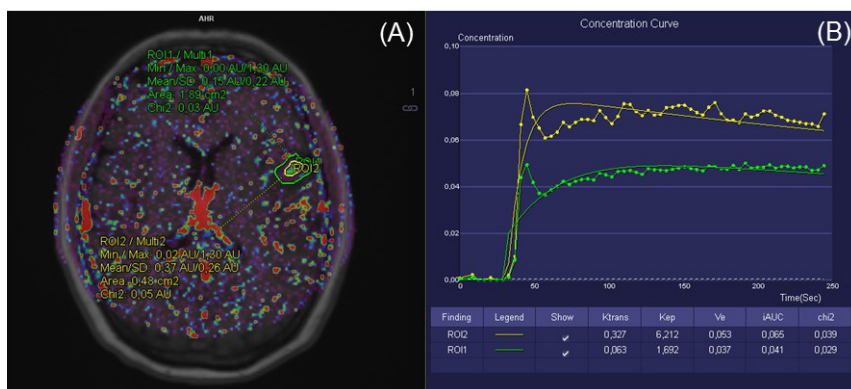


Figura 8 – Mapa (A) e Gráfico de Ktrans (B) pela técnica de Permeabilidade-RM.



Neste caso clínico, observou-se que existe diferença nas curvas de K^{trans} , quando utilizamos medidas na ROI diferentes na região tumoral em destaque no mapa de permeabilidade (Figura 9A). Ao realizar a medida de área menor na ROI 2 amarelo (área central), em comparação com a medida de área maior indicada na ROI 1 verde, que incluiu toda lesão para análise da permeabilidade microvascular, observou-se diferença na concentração das curvas verde e amarela (Figura 9B). Essa diferença na concentração das curvas indicou maior valor na área de medida menor da ROI 2 amarelo ($K^{trans}=0,327$), que inclui apenas a área central da lesão, em comparação com a área de medida maior da ROI 1 verde ($K^{trans}=0,063$), que incluiu toda lesão tumoral, para análise da permeabilidade microvascular pela RM (Figura 9B).

Figura 9 – Variação no tamanho da ROI para análise da Permeabilidade-RM. Diferença no valor de K^{trans} em destaque na área de medida da ROI 1 verde comparado à medida da ROI 2 amarela para avaliação da permeabilidade microvascular.



Na biópsia realizada da lesão tumoral foram coletados múltiplos fragmentos irregulares, esbranquiçados e macios, medindo cerca de 4,0 x 3,0 x 1,2 cm. O exame

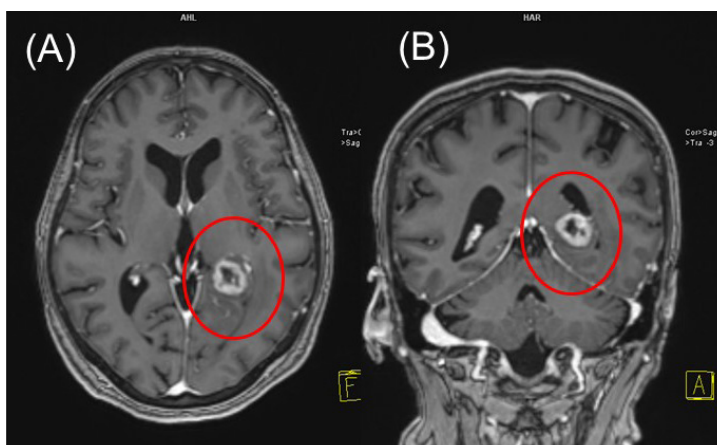
microscópico revelou fragmentos de parênquima cerebral, apresentando focos com vasos proliferados, elevada celularidade, atipias e frequentes mitoses atípicas. A conclusão da biópsia foi Astrocitoma grau IV (GBM), segundo a OMS (2016).

3.3 CASO CLÍNICO CLASSIFICADO COMO GRAU IV

Paciente do gênero feminino, 73 anos, encaminhada ao serviço de radiologia com indicação clínica para pesquisa de tumor glial pela RM. Apresentava quadro clínico de hipertensão controlada por medicamento e crise convulsiva focal com afasia transitória. O exame de RM evidenciou lesão tumoral na transição têmporo-occipital mesial esquerda. Avaliação da sequência ponderada em T1 evidenciou realce anelar na lesão após a administração do contraste paramagnético, com área central de baixo sinal (escuro), que sugere presença de áreas de necrose (Figura 10). A característica de realce observada na imagem ponderada em T1, pela indicação de tumor glial, pode corresponder à proliferação vascular, e indicar aumento da perfusão ou volume sanguíneo na região tumoral.

Análise da técnica de perfusão T2 por RM, evidenciou aumento no volume sanguíneo cerebral. Devido ao elevado fluxo sanguíneo (hiperperfusão), a lesão possui sinais de aumento na proliferação vascular, (Figura 11). Dessa forma, a área do tumor circundada em branco, região tumoral, indicou aumento do fluxo sanguíneo pela maior concentração de tons verde e vermelho, destacados no mapa de perfusão (Figura 11).

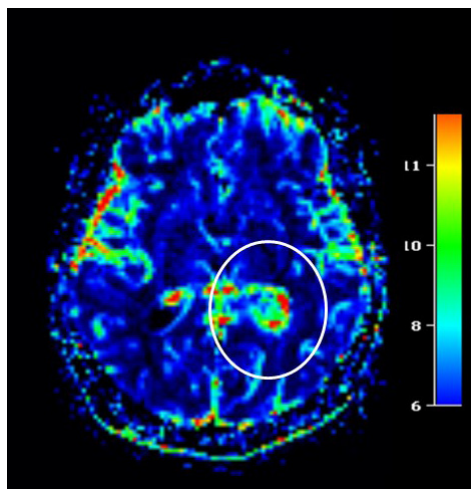
Figura 10 – Imagem axial (A) e coronal T1 (B) pós contraste para avaliação do realce tumoral. Imagens ponderadas em T1 pós contraste permite observar o realce do contraste na região tumoral.



No estudo de perfusão T2 por RM ainda foi avaliado o volume sanguíneo cerebral relativo nas áreas circundadas no tecido normal (ROI vermelho) e região tumoral (ROI

amarelo), em destaque na figura 12A. Esse estudo demonstrou aumento no volume sanguíneo cerebral relativo, por meio das medidas realizadas no tecido normal (curva vermelha), quando comparado à região tumoral (curva amarela) (Figura 12B).

Figura 11 – Mapa de perfusão para avaliação do volume sanguíneo cerebral, em destaque as regiões em vermelho com aumento do fluxo sanguíneo e, em azul, com redução do fluxo sanguíneo. Área em branco na região tumoral, evidencia aumento no volume sanguíneo cerebral pela maior intensidade das cores em verde e vermelho observadas no mapa.



A avaliação da permeabilidade microvascular pela RM, demonstrou pelo mapa (A) e gráfico de K^{trans} (B), presença de quebra da BHE por meio da diferença evidenciada nas curvas destacadas em amarela e verde (Figura 13B). O parâmetro cinético K^{trans} , apontou aumento na concentração das curvas da região tumoral na ROI 1 verde ($K^{\text{trans}}=0,136$) quando comparado às medidas do tecido cerebral normal na ROI 2 amarela ($K^{\text{trans}}=0,08$), descritos na Figura 13B.

Neste caso, observou-se que existe diferença entre curvas de K^{trans} , quando utilizamos medidas diferentes na ROI da região tumoral em destaque no mapa de permeabilidade-RM (Figura 14A). Ao realizar a medida de área menor na ROI 2 amarelo (área central), em comparação com a medida de área maior indicada na ROI 1 verde, que incluiu toda lesão para análise da permeabilidade microvascular, observou-se diferença na concentração das curvas verde e amarela (Figura 14B). Foi identificado ao realizar a medida de maior área na ROI 1 verde ($K^{\text{trans}}=0,136$), em comparação com a medida utilizada de menor área na ROI 2 amarela ($K^{\text{trans}}=0,013$), diferença na concentração das curvas, que reflete em aumento da permeabilidade microvascular pelos valores de K^{trans} apresentados pelo gráfico da permeabilidade microvascular (Figura 14B).

Figura 12 – Imagem e gráfico do volume cerebral sanguíneo relativo (rCBV). Análise evidencia aumento do volume cerebral sanguíneo em função do tempo na medida da área tumoral (ROI amarela), em comparação com a área do tecido normal (ROI vermelha).

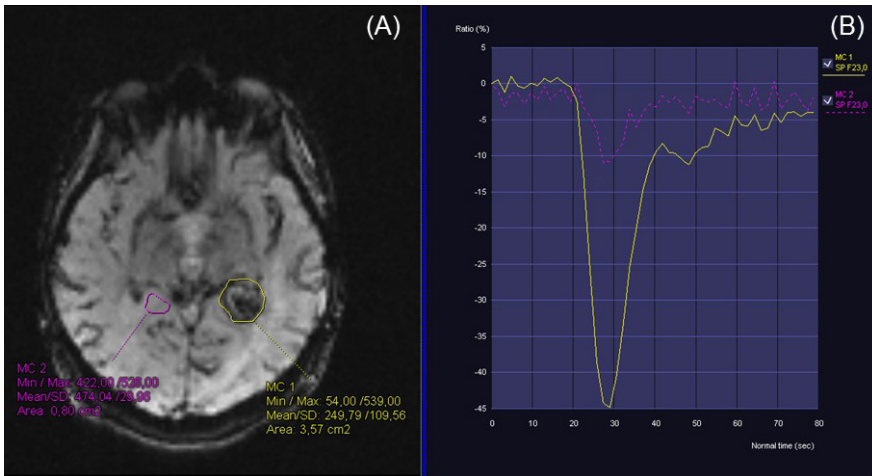
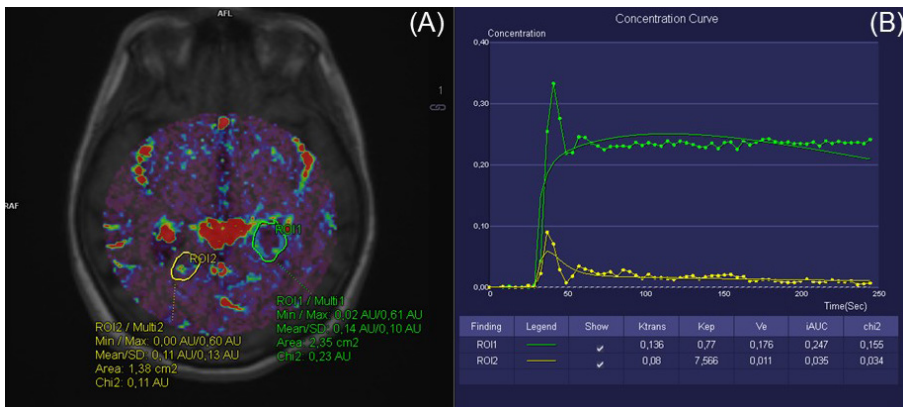
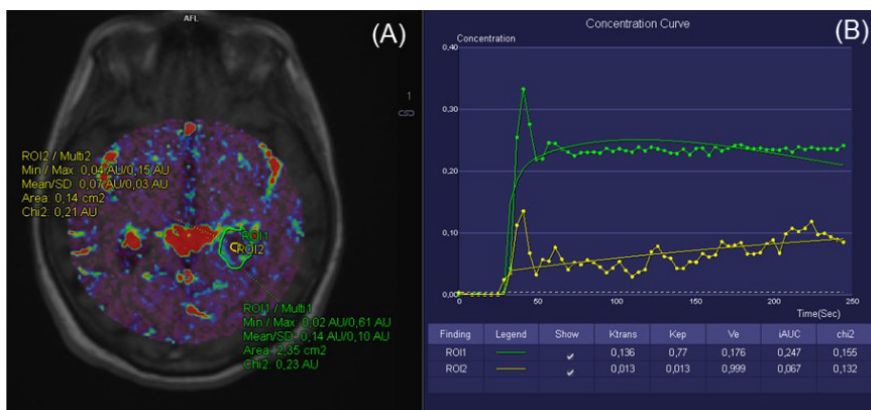


Figura 13 – Mapa (A) e Gráfico de K^{trans} (B) pela técnica de Permeabilidade-RM. Presença de quebra da BHE pela análise de K^{trans}, de acordo com as medidas em destaque na ROI 2 amarela do tecido normal (K^{trans}=0,08) e ROI 1 verde da região tumoral (K^{trans}=0,136).



Para a biópsia da lesão tumoral foram coletados múltiplos fragmentos irregulares, esbranquiçados e macios, medindo em conjunto 1,5 x 1,0 x 0,5 cm. O exame microscópico revelou múltiplos fragmentos de parênquima cerebral. Esse dado sugere neoplasia maligna de padrão glial com acentuado pleomorfismo nuclear, mitoses atípicas, proliferação vascular e zonas de necrose tumoral. A conclusão da biópsia foi astrocitoma de grau IV (GBM), e está de acordo com a OMS (2016).

Figura 14 – Variação no tamanho da ROI para análise da Permeabilidade-RM. Diferença no valor de Ktrans em destaque na área da ROI 1 verde comparado à ROI 2 amarela que incluiu uma área menor para avaliação da permeabilidade microvascular.



3.4 CASO CLÍNICO CLASSIFICADO METÁSTASE

Paciente do gênero feminino, 52 anos, encaminhado ao serviço de radiologia com indicação clínica para pesquisa de tumor glial. A paciente apresentava quadro clínico de hemiparesia à esquerda. Foi submetido ao exame de RM que evidenciou a presença de lesão expansiva nodular de contornos relativamente regulares e conteúdo heterogêneo, localizada na topografia córtico-subcortical no giro frontal médio direito. A avaliação pela sequência ponderada em T1 indica o realce heterogêneo periférico, mas sem realce na porção central da lesão tumoral após a administração do contraste paramagnético (Figura 15). Nota-se (seta amarelas na Figura 15) acentuado edema vasogênico do parênquima adjacente à lesão, caracterizado pela área de baixo sinal ao redor da lesão tumoral e determina redução dos sulcos corticais adjacentes, bem como discreto desvio da linha média para o lado contralateral. Esta característica é habitualmente mais encontrada em lesões neoplásicas secundárias do SNC. Análise da técnica de perfusão T2 pela RM evidenciou aumento no volume sanguíneo cerebral. Dessa forma, o mapa de perfusão mostra que a área do tumor circundada em branco na região tumoral, apresentou aumento do volume sanguíneo indicado pela maior concentração de tons em verde e vermelho, em destaque na figura 16. O elevado fluxo sanguíneo (hiperperfusão) indica que a lesão possui sinais de aumento na proliferação vascular, típicos nos casos de neoangiogênese tumoral.

Figura 15 – Imagens axial (A) e coronal (B) T1 pós contraste para avaliação do realce tumoral. Imagens ponderadas em T1 pós contraste, permite observar realce de contraste na periferia da lesão com ausência de realce central e importante área de edema vasogênico ao redor da lesão tumoral.

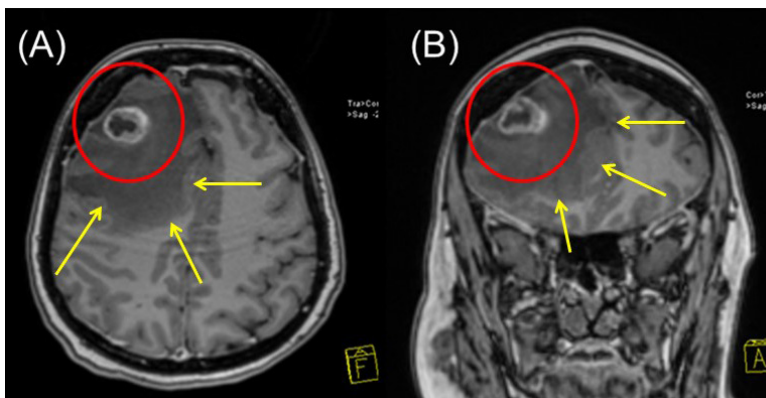
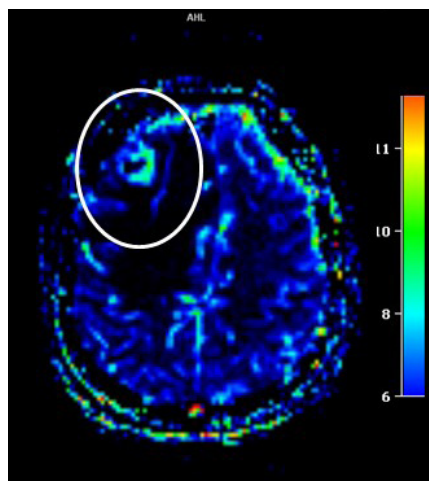


Figura 16 – Mapa de perfusão para avaliação do volume sanguíneo cerebral, em destaque as regiões em vermelho com aumento do fluxo sanguíneo e, em azul, com redução do fluxo sanguíneo. Área em branco na região tumoral, evidencia aumento do volume sanguíneo cerebral pela maior intensidade das cores em verde observadas no mapa.



No estudo de perfusão T2 por RM foi avaliado o volume sanguíneo cerebral relativo nas áreas circundadas no tecido normal (ROI vermelho) e região tumoral (ROI amarelo), em destaque na figura 20A. Esse estudo demonstrou aumento do volume sanguíneo cerebral relativo, por meio das medidas realizadas no tecido normal (curva vermelha), quando comparado à região tumoral (curva amarela) (Figura 17B).

A avaliação da permeabilidade microvascular pela RM, demonstrou pelo mapa (A) e gráfico de K^{trans} (B), a presença de quebra da BHE por meio da diferença evidenciada nas curvas destacadas em amarela e verde (Figura 18). O parâmetro cinético K^{trans} , evidenciou aumento na concentração das curvas da região tumoral na ROI 1 verde ($K^{trans}=0,063$)

quando comparado à medida do tecido normal na ROI 2 amarela ($K^{trans}=0,025$), descritos na Figura 18B.

Figura 17 – Imagem e gráfico da relação do volume sanguíneo cerebral (rCBV). Análise demonstra aumento no volume cerebral sanguíneo na medida da área tumoral (ROI amarela), em comparação com a área do tecido normal (ROI vermelha).

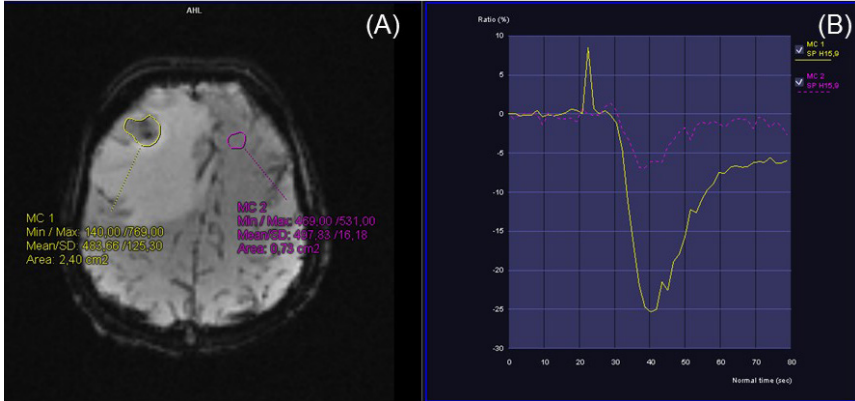
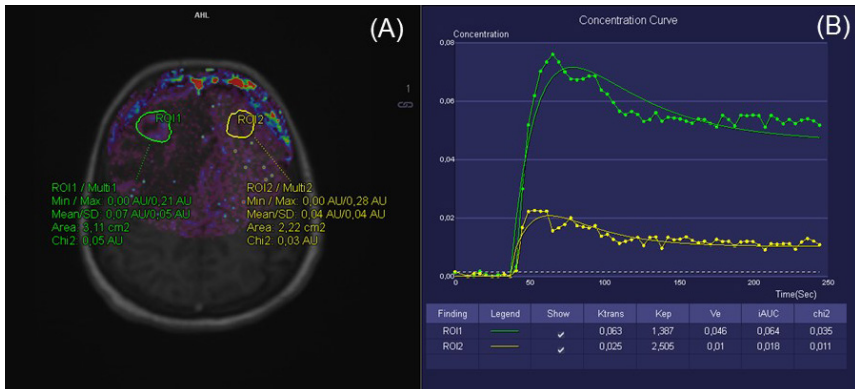


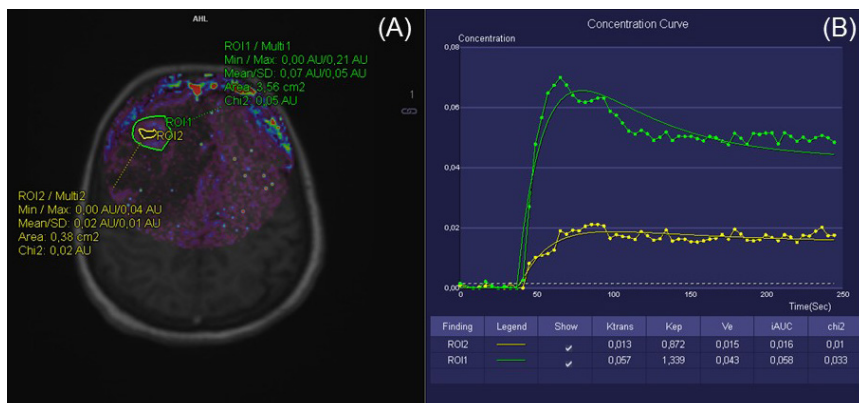
Figura 18 – Mapa (A) e Gráfico de K^{trans} (B) pela técnica de Permeabilidade-RM. Mapa de permeabilidade, evidenciou presença de quebra da BHE pela análise de K^{trans} , de acordo com as medidas destacadas na ROI 2 amarelo do tecido normal ($K^{trans}=0,025$) e na ROI 1 verde da área tumoral ($K^{trans}=0,063$).



Neste caso, observou-se que existe diferença entre curvas de K^{trans} , quando utilizamos medidas diferentes na ROI da região tumoral em destaque no mapa de permeabilidade-RM (Figura 19A). Destaca-se que a medida de maior área na ROI 1 verde ($K^{trans}=0,057$), em comparação com a medida de menor área da ROI 2 amarelo ($K^{trans}=0,013$), apresentou diferença nas curvas de permeabilidade. A área do menor ROI (amarelo), corresponde à região de necrose central na lesão tumoral, pela ausência de cores e valor de K^{trans} observados no estudo de permeabilidade-RM. Para a biópsia realizada da lesão tumoral foi coletado nódulo bem delimitado, com superfície de corte branco-acastanhado e firme, medindo em conjunto cerca de 1,8 x 1,4 x 1,1 cm. O exame microscópico revelou

fragmento nodular de parênquima cerebral apresentando metástase de adenocarcinoma pouco diferenciado de grandes células. A conclusão da biópsia foram que os achados da imuno-histoquímica associados ao quadro morfológico são compatíveis com metástase cerebral de adenocarcinoma pouco diferenciado de origem pulmonar.

Figura 19 – Variação no tamanho da ROI para análise da permeabilidade-RM. Diferença no valor de K^{trans} , em destaque na área do ROI 1 verde, que incluiu toda a lesão tumoral, comparado ao ROI 2 amarelo, que incluiu apenas a área central da lesão tumoral.



3.5 ANÁLISE CRÍTICA DOS CASOS

Dados resultantes da técnica de permeabilidade-RM demonstraram que as neoplasias de alto grau (glioma grau IV e metástase) apresentaram maior quebra da BHE, pela diferença apresentada nos valores de K^{trans} , quando comparadas pelas medidas nas áreas do tumor e tecido normal. Nestas regiões também foram encontradas aumento da perfusão T2 pela RM (CBVr), assim como realce após a administração endovenosa de contraste. Já na neoplasia de glial de baixo grau (glioma grau II) não se observou maior quebra da BHE nos valores de K^{trans} , assim como não se identificou aumento da perfusão T2 pela RM (CBVr), nem realce após a administração endovenosa de contraste.

4 CONCLUSÃO

A perfusão por RM, notadamente a permeabilidade-RM, destacou-se pela capacidade em avaliar a quebra da BHE associada ao aumento da angiogênese tumoral cujas alterações foram descritas nos mapas de permeabilidade e valores de K^{trans} . Conseqüentemente, esse método pode ser realizado rotineiramente para auxiliar na elucidação e graduação das neoplasias encefálicas. Contudo, estudos com população mais representativa são necessários para confirmar essa afirmação da variação nos valores de K^{trans} ao utilizar diferentes tamanhos nas medidas das ROI nas regiões tumorais,

de acordo com a graduação tumoral. Nesse estudo a análise por meio das técnicas de perfusão em RM, com destaque para a permeabilidade-RM, permite propor que a utilização desses parâmetros evidenciados pelos achados de imagem, nos tumores gliais de alto grau e lesão metastática, apresentam algumas características em comum, em destaque, aumento da perfusão e permeabilidade microvascular, assim como, aumento no pico de concentração da colina em relação a creatina com presença de lipídio.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 185, de 22 de outubro de 2001**. 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

BORJA, M. J.; PLAZA, M. J.; ALTMAN, N.; SAIGAL, G. Conventional and advanced MRI features of pediatric intracranial tumors: supratentorial tumors. **American Journal of Roentgenology**, 200, n. 5, p. W483-W503, 2013.

BRISSON, R. T.; DOS SANTOS, A. A. S. M. A ressonância magnética no diagnóstico e estadiamento dos gliomas cerebrais: a aplicação da técnica da espectroscopia de prótons. **Revista de Medicina**, 93, n. 3, p. 135-145, 2014.

COSTA, F. M.; VIANNA, E. M.; DOMINGUES, R. C.; SETTI, M. *et al.* Espectroscopia de prótons e perfusão por ressonância magnética na avaliação dos tumores do sistema musculoesquelético. **Radiologia Brasileira**, 42, p. 215-223, 2009.

LI, X.; ROONEY, W. D.; VÁRALLYAY, C. G.; GAHRAMANOV, S. *et al.* Dynamic-contrast-enhanced-MRI with extravasating contrast reagent: rat cerebral glioma blood volume determination. **Journal of Magnetic Resonance**, 206, n. 2, p. 190-199, 2010.

LOUIS, D. N.; PERRY, A.; REIFENBERGER, G.; VON DEIMLING, A. *et al.* The 2016 World Health Organization classification of tumors of the central nervous system: a summary. **Acta neuropathologica**, 131, n. 6, p. 803-820, 2016.

OTERO, U. B.; DE CAMPOS MELLO, M. S. Fração atribuível a fatores de risco ocupacionais para câncer no Brasil: evidências e limitações. **Revista Brasileira de Cancerologia**, 62, n. 1, p. 43-45, 2016.

POPE, W. B.; SAYRE, J.; PERLINA, A.; VILLABLANCA, J. P. *et al.* MR imaging correlates of survival in patients with high-grade gliomas. **American Journal of Neuroradiology**, 26, n. 10, p. 2466-2474, 2005.

REES, J. H.; SMIRNIOTOPOULOS, J. G.; JONES, R. V.; WONG, K. Glioblastoma multiforme: radiologic-pathologic correlation. **Radiographics**, 16, n. 6, p. 1413-1438, 1996.

RIEMANN, B.; PAPKE, K.; HOESS, N.; KUWERT, T. *et al.* Noninvasive grading of untreated gliomas: a comparative study of MR imaging and 3-(Iodine 123)-L- α -methyltyrosine SPECT. **Radiology**, 225, n. 2, p. 567-574, 2002.

UEMATSU, H.; MAEDA, M.; SADATO, N.; MATSUDA, T. *et al.* Blood volume of gliomas determined by double-echo dynamic perfusion-weighted MR imaging: a preliminary study. **American Journal of Neuroradiology**, 22, n. 10, p. 1915-1919, 2001.

VIGNESWARAN, K.; NEILL, S.; HADJIPANAYIS, C. G. Beyond the World Health Organization grading of infiltrating gliomas: advances in the molecular genetics of glioma classification. **Annals of translational medicine**, 3, n. 7, 2015.

ZHANG, N.; ZHANG, L.; QIU, B.; MENG, L. *et al.* Correlation of volume transfer coefficient K_{trans} with histopathologic grades of gliomas. **Journal of Magnetic Resonance Imaging**, 36, n. 2, p. 355-363, 2012.

CAPÍTULO 19

MONITORAMENTO DE ENCALHES DE ANIMAIS MARINHOS NA GESTÃO DA PESCA EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Data de submissão: 24/09/2021

Data de aceite: 14/10/2021

Viviane Korres Bisch

Universidade Federal do Paraná

Centro de Estudos do Mar

Pontal do Sul - PR

<http://lattes.cnpq.br/2732917756160901>

Roberto Sforza

NGI ICMBio Santa Cruz

Vitória - ES

<http://lattes.cnpq.br/0275630136552061>

RESUMO: Esse trabalho aplicou uma ferramenta de Sistema de Informações Geográficas para análise espaço-temporal de ocorrências de encalhes de quelônios marinhos relacionados à interação com atividade pesqueira nas praias das Unidades de Conservação (UCs) Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e do Refúgio de Vida Silvestre (RVS) de Santa Cruz (Brasil), as quais são diariamente monitoradas pelo Programa de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e do Espírito Santo - PMP BC/ES. Para análise dos resultados, gráficos foram gerados no Excel e mapas produzidos no software ArcGis (ArcMap 10). Os resultados indicam que a região costeira

das UCs apresentaram encalhes devidos a interação com pesca, avaliados pelas marcas e materiais de pesca encontrados nos organismos encalhados, mostrando que, no período observado, o setor referente à localidade das UCs apresentou mais que o dobro do somatório de encalhes no setor ao norte e ao Sul do mesmo. Além disso, o número de ocorrências de encalhe por interação com a pesca também demonstrou um aumento significativo ao longo dos anos, saindo de três em 2010 e aumentando gradativamente até alcançar seu máximo registrado em 2017, com 173 registros de encalhe devido à interação com pesca. O maior número de encalhes é representado pela espécie *Chelonia Mydas* (95%). Uma vez verificado o impacto que a pesca de rede em áreas de lateritas tem na população de quelônios, levando os indivíduos afetados à óbito, se sugerem medidas para uma interação sustentável entre a pesca tradicional e a conservação da biodiversidade. **PALAVRAS-CHAVE:** Unidades de Conservação. SIG. Quelônios Marinhos.

MONITORING OF MARINE TURTLE STRANDINGS AND COASTAL MANAGEMENT IN CONSERVATIONS UNITS

ABSTRACT: This work applied a Geographic Information System (GIS) tool for analysis of spatial-temporal occurrences of strandings of marine turtles related to the interaction fishing

on the beaches of APA Costa das Algae and RVS Santa Cruz. The paper uses data collected by the Campos Basin Beach Monitoring Program and Espírito Santo - PMP BC / ES, which constitutes a program of monitoring of marine animals on the beaches of these sedimentary basins, to assess possible interactions with oil and gas exploration, production and disposal activities, such as environmental licensing processes of these activities. The results indicate that the coastal region of the Protected Areas (PA) presents beaching by interaction with fishing, especially net fishing, which is used mainly in areas with lateritic armor in the region. Besides the the number of occurrences of these strandings is higher in the area of the mentioned units of than in the southern and northern monitored regions of these PAs, the number of occurrences of beaching by interaction with fishing also demonstrated an increase in over the years.

KEYWORDS: Conservation Units. GIS. Marine Turtles.

1 INTRODUÇÃO

Na região costeira do município de Aracruz encontram-se terraços ou plataformas de abrasão da Formação Barreiras, formados por concreções lateríticas, chamados também de couraças lateríticas ou, simplesmente, lateritas. Esses blocos formam um substrato rochoso e extremamente poroso e fragmentado, que até 600m do mediolitoral podem chegar a ficar descobertos na baixa mar, onde permanecem então poças de maré. A importância ecológica da presença dessas plataformas é demonstrada em estudos da região, onde destaca-se o papel de agregação de algas e subsequente recrutamento de animais para a região (Longo, 1997 e Maioli, 2009).

O hábito costeiro de quelônios, em especial a tartaruga verde (*Chelonia mydas*) que são atraídos para regiões tais como as couraças lateríticas, os tornam suscetíveis à interação com a pesca costeira, principalmente a de rede de emalhe, atingindo diretamente a população de juvenis (Sales et al., 2008, Bugoni et al., 2003).

Quelônios marinhos são reconhecidos por seu papel ecológico e, nos últimos anos, as pesquisas e projetos no ramo da conservação destes animais apresentou um grande incremento, uma vez que foi constatado o risco de extinção destes animais, principalmente no Brasil. Atualmente, esse táxon é protegido por leis ambientais, sendo o Brasil um dos países signatários da Convenção sobre Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas da Flora e Fauna Silvestres de Extinção – CITES e da IAC, Convenção Interamericana para a Proteção e Conservação das Tartarugas Marinhas (Almeida, 2011).

Estudos como Reisser (2003) corroboram para a compreensão de que a pesca realizada por comunidades de pescadores é a principal causa de óbito de quelônios marinhos e, na região de Aracruz, Netto (2002) e Assis (2016) confirmam que poluição não é diretamente relacionada ao óbito destes animais, e sim a interferência humana, caracterizada por grande atividade de pesca, inclusive artesanal.

Almeida (2011) sugere que, para manutenção do estado de conservação desses animais, é fundamental a implantação de Unidades de Conservação marinhas e costeiras, realizar estudos para levantamento da interação humana com o táxon e estimular conexão com comunidades pesqueiras para a melhor alternativa viável e ordenamento.

Na área de estudo destaca-se a presença de Unidades de Conservação (UC) Federais de núcleo integrado de gestão, a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e o Refúgio de Vida Silvestre (RVS) de Santa Cruz. A APA localiza-se entre os municípios de Serra, Fundão e Aracruz e é classificada como unidade de conservação de uso sustentável, de forma que entre seus objetivos constam proteger a diversidade biológica e os ambientes naturais, principalmente os fundos colonizados por algas, garantir a valorização das atividades pesqueiras e extrativistas de subsistência e realizar ordenamento do uso dos recursos naturais pesqueiros e demais organismos marinhos. O RVS é uma unidade de conservação de proteção integral, cujos objetivos contam são proteger a diversidade biológica e os ambientes naturais, contribuir para a recuperação dos recursos biológicos e para a sustentabilidade das atividades pesqueiras e extrativistas de subsistência e de pequena escala praticadas pelas comunidades costeiras da região no entorno da Unidade de Conservação, entre outros (Decreto de 17 de junho de 2010).

A fim de cumprir seus objetivos, UCs devem organizar seu Plano de Manejo, documento no qual são definidas as áreas destinadas à proteção integral dos ecossistemas e aquelas onde os recursos biológicos estão passíveis de utilização para atividades pesqueiras, sendo que a arte de pesca também deve ser considerada de forma a serem compatíveis com os objetivos de conservação da UC (Decreto de 17 de junho de 2010).

Nesse contexto, existem ferramentas que podem auxiliar no entendimento dessa interação antrópica com o encalhe e óbito de animais marinhos que estão em risco, tal como o Projeto de Monitoramento de Praias das Bacias de Campos e do Espírito Santo – PMP-BC/ES, que constitui programa de aquisição de dados e confecção de relatórios a respeito de animais encontrados encaçados em praias das bacias de Campos e Espírito Santo. Abrange uma extensão de, aproximadamente, 763 km de linha de praia, os quais se localizam entre o limite norte do município de Conceição da Barra, no Espírito Santo, e o limite sul do município de Saquarema, no Rio de Janeiro.

O intuito do presente estudo é avaliar se há evidência de interação da pesca com rede como causador de mortalidade de quelônios e se essa interação está ligada à presença das couraças lateríticas. Para tal, a ferramenta de comparação dos resultados espacialmente por SIG se torna uma ferramenta importante para a visualização da área a ser analisada e onde estão as ocorrências. O trabalho corrobora, dessa forma, com a validação da importância de projetos como o PMP na geração de informações que subsidiam a gestão de Unidades de Conservação.

2 METODOLOGIA

Foi feita a análise do 7º Relatório Anual do Projeto de Monitoramento de Praias das Bacias de Campos e do Espírito Santo – PMP-BC/ES, consolidando os resultados desde 1º de outubro de 2010 até 30 de setembro de 2017, englobando os sete anos consecutivos da sua execução.

Das 14 áreas que o PMP engloba estabeleceu-se que as áreas de interesse do monitoramento para as Unidades de Conservação (UCs) Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e Refúgio de Vida Silvestre (RVS) de Santa Cruz são as áreas 2B – Linhares e Aracruz (sul da foz do Rio Doce até a foz do rio Riacho-Comboios), 3A – Aracruz e Fundão (sul da foz do Rio Riacho), e 3B – Serra, Vitória e Vila Velha, visto que, devido à proximidade geográfica, essas áreas podem causar influência nos registros dentro das Unidades, além de também sofrerem a influência das UCs.

Para análise dos resultados, gráficos foram gerados através da sistematização dos dados brutos de interesse em tabelas separadas da planilha original, de forma a filtrar as informações consideradas relevantes para o foco do trabalho.

Para as ocorrências não reprodutivas (encalhes) de tartarugas marinhas, as informações consideradas importantes foram data da ocorrência (ano), município e praia, sendo que esses geram como produtos os gráficos da distribuição temporal e distribuição espacial.

É importante ressaltar que, por ser um projeto de ampla extensão e ampla mobilização de funcionários, o PMP pode contar com pequenas discrepâncias como, no caso, a nomenclatura utilizada no preenchimento das fichas no momento de identificação das evidências que o quelônio esteve em contato com a pesca. Dessa forma, o que alguns preencher como “Sim” outros teriam preenchido como “Rede”, entre outros. Mesmo sujeito à melhorias, os dados são muito úteis para avaliação do panorama geral das ocorrências.

Para a criação dos mapas (Figura 1 e 2) foi utilizado também filtro nos dados com foco no critério chamado de interação com a pesca, o qual foi transformado, junto com as coordenadas geográficas, em arquivo de formato .cvs que foi introduzido no software ArcGis (ArcMap 10). No software, então, foi transformado em arquivo shapefile e, a partir de filtro na tabela de atributos, foram criados vários shapefiles, cada um contendo os pontos referentes a um tipo de interação com a pesca. A partir desses dados foram organizados os mapas.

3 RESULTADOS

A região de estudo compreende a área costeira entre os municípios de Vila Velha e Linhares, no Estado do Espírito Santo (Figura 1).

Na área 3A, de maior foco do estudo, a ocorrência de couraças lateríticas propicia o crescimento de algas por propiciar um substrato rochoso e isso acaba por atrair tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) por se alimentarem de algas verdes na fase juvenil e sua distribuição se estender na costa do Espírito Santo (Proietti et al. 2009).

O litoral do Espírito Santo, em sua porção mais norte, representa um importante sítio reprodutivo para as tartarugas cabeçudas (*Caretta caretta*) e outros pontos de desova ocorrem em menor quantidade ao longo de todo o litoral do estado (Marcovaldi & Chaloupka, 2007).

Figura 1 - Mapa da Área de Estudo, em evidência os pontos de divisa entre as áreas 2B, 3A e 3B, as Unidades de Conservação e as ocorrências de couraças lateríticas.

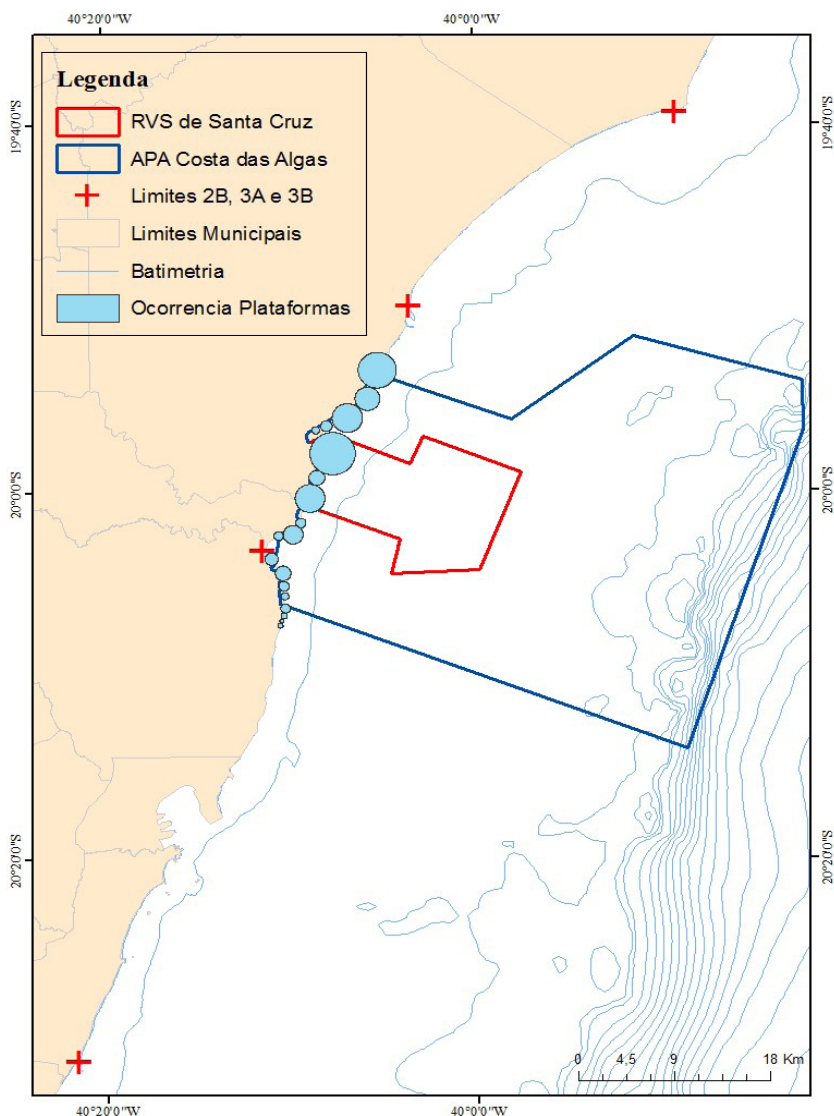
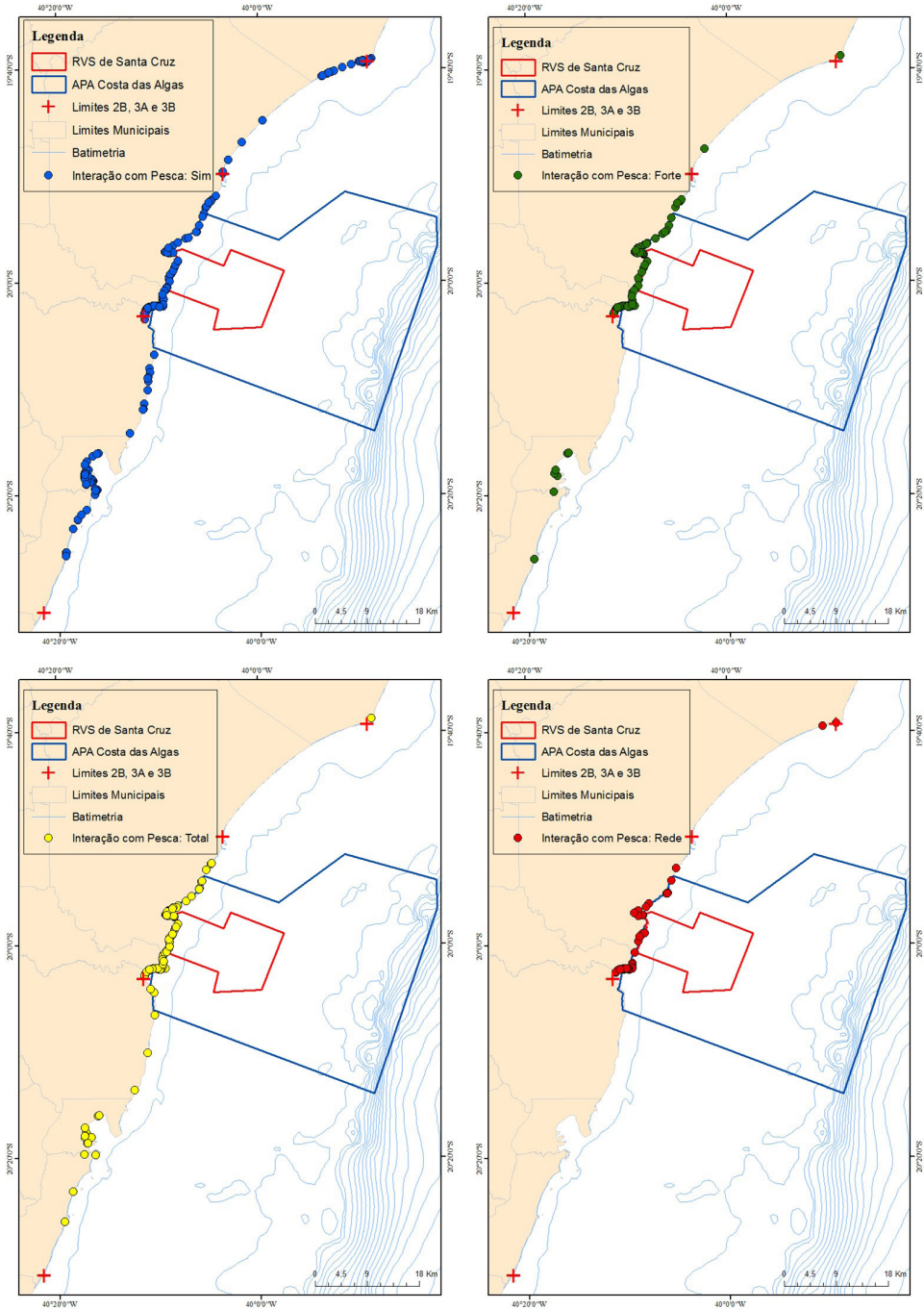


Fig 2 - Ocorrências de encalhe de quelônios marinhos com a determinação do tipo de interação com a pesca (a) Sim, (b) Forte, (c) Total e (d) Rede.



Nos mapas (Figura 2), é perceptível que, à medida que o nível de detalhamento da interação com atividade de pesca e o nível de interação, as ocorrências começam a se

concentrar na área referente à região costeira das unidades de conservação, na qual se tem a presença das couraças lateríticas.

Fig 3 - Distribuição espacial de tipo de ocorrência de interação com pesca durante todos os anos de monitoramento do PMP-BC/ES.

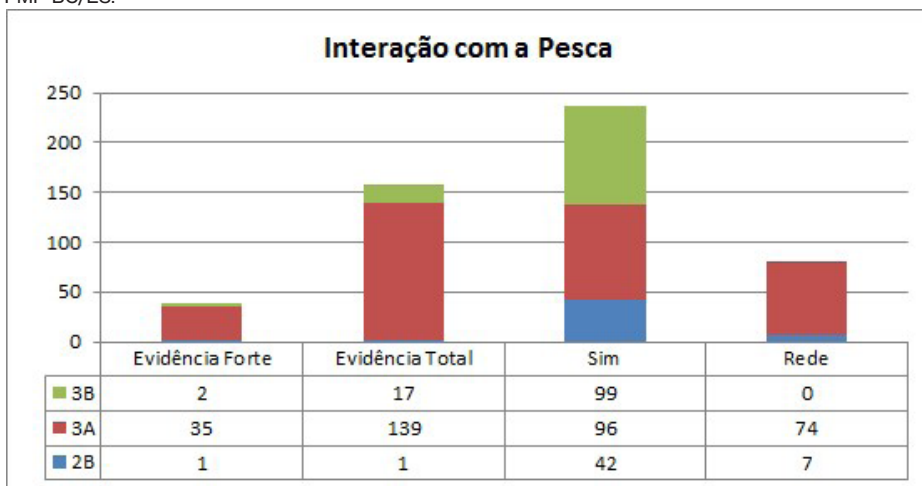
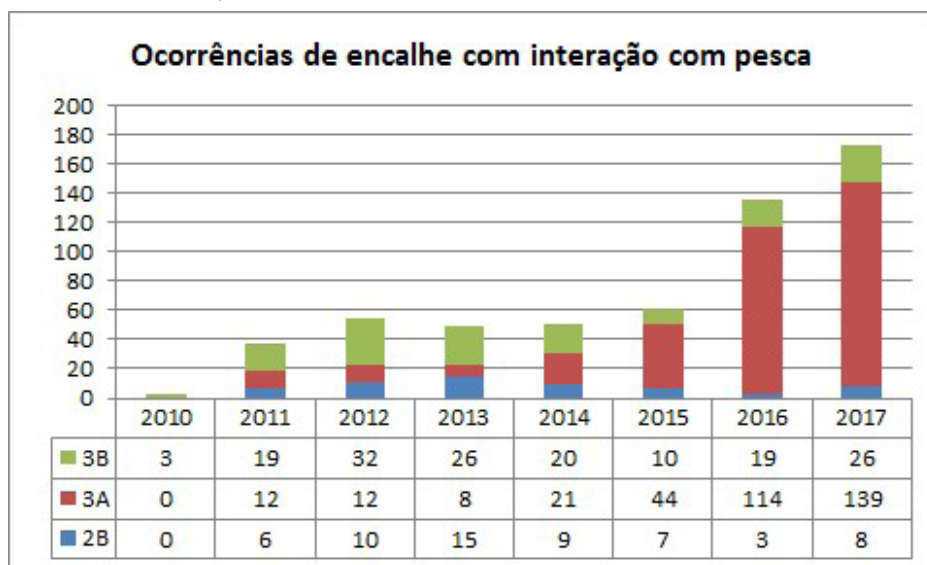


Fig 4 - Distribuição temporal dos encalhes de quelônios relacionados à pesca durante todos os anos de monitoramento do PMP-BC/ES.



Os resultados mostram que, de fato, os registros que contém definição da pesca de rede como causa direta de encalhes de quelônios estão, em sua maior parte, na área 3A, na região que compreende a faixa predominante de couraças lateríticas, região costeira das Unidades de Conservação federais.

Outro fato que a análise de dados realça é que, das ocorrências de encalhe, 95% são de tartarugas da espécie *Chelonia mydas*, a tartaruga verde, o que condiz com o fato de a região costeira ser região de alimentação destes animais. A espécie com segundo maior índice de ocorrência foi a *Caretta caretta*, em conformidade com o fato de a área de estudo apresentar vários pontos de desova dessa espécie registrados pelo Tamar.

Observa-se na Figura 4 que durante os anos de monitoramento do PMP houve um aumento exponencial e muito significativo na quantidade de indivíduos encontrados encalhados com evidência de interação com a pesca. Esse aumento se torna novamente evidente na área 3A, ou seja, na área onde estão incluídas as UCs e as lateritas.

Nos últimos 2 anos de monitoramento houveram as maiores quantidades de ocorrências de encalhe devido à interação com atividade pesqueira, demonstrando uma maior urgência de tomada de decisão com relação à atividade, uma vez que ela está afetando a biodiversidade da região.

4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A análise se mostrou eficiente para a identificação de uma relação forte entre a pesca de rede e a presença das couraças lateríticas na região das Unidades de Conservação estudadas. Esse resultado se mostra com importante necessidade de divulgação de forma que os órgãos ambientais se tornem cientes da problemática da região e possam, com isso, subsidiar as ações, tais como avaliar a proibição da arte de pesca do tipo rede, que traz impacto ambiental grande comprovado e a recomendação da substituição por outra e considerar a forma heterogênea do local, presente nas lateritas, no plano de manejo dos recursos e biodiversidade da região.

A grande mortalidade comprovada de *Chelonia mydas* parece, então, estar diretamente ligada ao processo de, ao virem se alimentar na região das lateritas, onde há acúmulo de algas no substrato rochoso, as tartarugas encontram um habitat favorável para permanecer em sua fase juvenil. Porém, a pesca de rede, na qual o pescador deixa a rede para posterior recuperação, prende as tartarugas de forma que impossibilita a subida para respirar ou impede sua liberação da rede, podendo ficar sem condições de capturar o alimento ou ficar expostas ao sol e sofrer ressecamento, levando eventualmente o animal a óbito.

Compondo a maioria dos registros, é essencial tomar medidas mitigadoras para amenizar o impacto sobre a tartaruga verde, uma vez que a mesma já se encontra classificada como espécie vulnerável, segundo Perez et al. (2011), avaliando pelos critérios da IUCN (2001). Almeida et al. (2011) já alertam que a tartaruga verde é a que possui maior número de encalhes em toda a região costeira devido à pesca de emalhe.

A comprovação da crescente mortalidade de quelônios devido à pesca e a identificação espacial de onde o problema ocorre é fundamental a construção do plano de manejo das referidas UCs, uma vez que as mesmas ainda não o possuem, de forma que se possam implantar as políticas necessárias para a manutenção da biodiversidade e que a atividade de pesca se torne sustentável.

Os dados de PMP apresentam algumas lacunas como ter monitoramento conjunto com o tamar em algumas áreas e não ter nas outras, a incerteza sobre o controle do trabalho de campo devido a possíveis divergências de interpretação do responsável por registrar a ocorrência. Entretanto, o PMP se mostrou relevante para o entendimento de processos em área de interesse de preservação ambiental e gestão sustentável entre a biodiversidade e a atividade humana.

Este trabalho é inovador no quesito de se utilizar análise espacial para a visualização do problema em questão, permitindo uma compreensão mais fácil de como ocorre o problema, o que foi corroborado pelos gráficos. Sendo assim, a sua replicação é possível e interessante, uma vez que dados de PMP são públicas o programa ArcGis possui um similar, o QGis, que é uma plataforma gratuita, podendo ser utilizado para analisar diferentes questões a serem investigadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. P., SANTOS, A. J. B., THOMÉ, J. C. A., BELINI, C., BAPTISTOTTE, C., MARCOVALDI, M. Â., Lopez, M. (2011). **Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil.** *Biodiversidade Brasileira*, (1).
- ASSIS, F. D. P. G., & CALDARA, S. R. L. (2016). **Causa de óbitos de tartarugas marinhas das praias de Aracruz-ES, Brasil.**
- LONGO, L.L. 1997. **Repartição espaço temporal da cnidofauna em arenito de praia em Santa Cruz (Aracruz-ES).** Instituto de Biociências, São Paulo.
- MAIOLI, D. G. (2009). **Composição e abundância da meiofauna bentônica de rodolitos e sedimentos depositados nos recifes de couraças lateríticas de Santa Cruz, Aracruz-ES.** Vitória. *Monografia (Bacharelado em Oceanografia e Ecologia), Universidade Federal do Espírito Santo. 43p.*
- MARCOVALDI, M.A. & CHALOUPKA, M. **Conservation status of the loggerhead sea turtle in Brazil: an encouraging outlook.** *Endangered Species Research*, 3: 133-143.
- NETTO, R. F., NUNES, A. G. A., & ALBINO, J. (2002). **A pesca realizada na comunidade de pescadores artesanais de Santa Cruz/ES-Brasil.** *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 28(1), 93-100.
- PROIETTI, M. C.; LARA-RUIZ, P.; REISSER, J. W.; PINTO, L. S.; DELLAGOSTIN, O. A.; MARINS, L. F. 2009. **Green turtles (*Chelonia mydas*) foraging at Arvoredo Island in Southern Brazil: Genetic characterization and mixed stock analysis through mtDNA control region haplotypes.** *Genetics and Molecular Biology*, 32(3): 613-618.

IUCN. 2001. **IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1.** IUCN Species Survival Commission, IUCN. 30p.

PERES, M.B.; DIAS, B.F.S. & VERCILLO, U.E. 2011. **Avaliação do estado de conservação da fauna brasileira e a lista de espécies ameaçadas: O que significa? Qual sua importância? Como fazer?** Biodiversidade Brasileira, 1: 45-48.

REISSER, J. W; PROIETTI, M. C. & KINAS, P. G. 2003. **Tartarugas marinhas da ilha do arvoredo, reserva biológica marinha do arvoredo, SC.** In: Livro de Resumos da II Jornada de Conservação e Pesquisa de Tartarugas Marinhas no Atlântico Sul Ocidental. NEMA/FURG. Rio Grande do Sul – Brasil.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leinig Antonio Perazolli possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1986), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e doutorado em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Atualmente é professor Livre Docente III do Instituto de Química - Unesp / Araraquara. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica com estudos de Sinterização de Cerâmicos e obtenção de Foto catalisadores Cerâmicos e na área de História da Ciência com ênfase em Química e Engenharia Química. Atua na área de pesquisa nos seguintes temas: óxido de titânio, óxido de estanho, sinterização, voltados para a foto catálise e cerâmicas eletrônicas. Na área de extensão universitária desenvolve trabalhos sobre História da Ciência e da Engenharia Química e sobre a Química das Coisas. Leciona disciplinas na área de Química Tecnológica, Engenharia Química e História da Ciência.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorción 106, 107, 110, 142, 171, 176, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 188
Aceite 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 169
Aguacate 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 158
Aislación térmica 114, 115, 117, 120, 131, 132
Análisis 1, 2, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 16, 20, 23, 24, 26, 30, 32, 69, 86, 87, 89, 90, 95, 116, 129, 131, 134, 136, 137, 138, 139, 141, 142, 144, 162, 163, 167, 173, 186, 188, 189
Antimicrobiana 134, 135, 136, 148, 158, 161, 169
Apatita 186, 187, 188, 189, 191
Aplicaciones 43, 160
A-site substitutions 227
Aspergillus niger 103, 104, 105, 111, 112, 113
Avaliação 47, 58, 59, 63, 64, 66, 67, 68, 250, 253, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 268, 273, 278, 279

B

BiFeO₃ 227, 228, 231, 232, 233
Biomasa 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 160

C

Climas cálidos 114, 117, 129, 130
Cohesión social 69
Combustíveis renováveis 214
Composición proximal 160, 168
Compresión 121, 171, 172, 173, 174, 175, 182, 183, 184
Consumidor ético 1, 2, 7, 11, 14
Consumo energético 114, 115, 116, 117, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 217
Consumo ético 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16
Consumo responsable 1
Contaminación Difusa 18, 19, 22, 33
Control interno 89, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102
Cuprita 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145

D

Densidad 166, 171, 175, 177, 179, 180, 182, 183, 193, 197, 206, 207, 211, 238, 239, 243, 245, 246

Deposição eletroforética 234, 235, 237, 240, 248

Desarrollo 8, 18, 20, 21, 32, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 69, 70, 75, 76, 77, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 102, 149, 153, 154, 155, 167, 170, 171, 172, 176, 179, 187

Difusão 207, 234, 235, 241, 243, 245, 254

Difusão de Cromo 235

E

Ecosistemas de Emprendimiento 36, 37, 38

Emancipatória 47, 58, 59, 64, 66, 68

Emprendimiento 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45

Espectroscopia 200, 251, 253, 268

Etanol 214, 215, 216, 217, 221, 222, 224, 225

Ética del consumo 1

Extração líquido-líquido 214, 218, 221, 222, 223, 224, 225

F

Ferric properties 227

Flotación 186, 187, 188, 189, 190, 191

G

Glioma 250, 251, 252, 253, 254, 267, 268, 269

Glioma Astrocítico 251

I

Imagem de Perfusão 251

M

Materiais compósitos com matriz de alumínio 193, 194

Metales pesados 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111

Moringa oleífera Lam 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169

Municipios locales 89

N

Normas 1, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 89, 95, 97, 100, 102

O

Óxido 109, 134, 135, 136, 137, 145, 146, 196, 235

Óxido de estanho 235

P

Percepção 6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 79, 81, 82, 83, 84, 87, 88

Perfusão 251, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 261, 264, 265, 267, 268

Permeabilidade Capilar 251

Porosidad 171, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184

Potencialidades 65, 147, 148, 149, 169

Procedimiento LU-IV 18, 19, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Q

Quelônios marinhos 270, 271, 275

R

Relave 186, 188, 189, 191, 192

Remoción 98, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110

Resíduos de mineração 194

Ressonância Magnética 250, 251, 253, 254, 268

Roca 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 182, 183, 184

S

Santander 36, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 186

Semillas 147, 155, 159, 160, 161, 162, 164, 169

SIG 18, 20, 270, 272

Sinerização Microondas Varistores 235

Sinterização 193, 194, 196, 197, 206, 207, 208, 210, 211, 234, 236, 237, 240, 241, 243, 244, 245, 246, 249

Sistemas de Información Geográfica 19, 20

Staphylococcus aureus 134, 135, 136, 142, 144, 145, 146

T

Tecnologias 47, 49, 52, 53, 57, 59, 60, 67, 68, 79, 83, 120, 145, 184

U

Unidades de Conservação 270, 272, 273, 274, 276, 277

UNIFAC 214, 215, 218, 219, 221

Universidad compleja 69, 88

Z

Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitrato (ZVN) 18, 19