



VOL 9. NÚMERO 1. ENERO-ABRIL, 2024

ISSN 2588-0764



**UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ**
Fundada en 1992

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Rector

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Vicerrectora Académica

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director del Instituto de Investigación

Equipo editorial

 MSc. Octavio Zorrilla Briones.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director de la revista

 Julio Cesar Torres Puente PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Editor General

Editores por sección

 Carmen Judith Vanegas Espinoza, PhD.

Universidad Yachay Tech, Ecuador

Matemática

 Miguel José Vivas-Cortez, PhD.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Matemática

 Michel Enrique Gamboa Graus, PhD.

Universidad de las Tunas, Cuba

Matemática

 Luis Sánchez, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Matemática

 Oswaldo Larreal, PhD.

Universidad Yachay Tech, Ecuador

Matemática

 Maria del Rosario Brunetto de Galignani, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Química

 Máximo Aurelio Galignani de Bernardi, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Química

 Gilberto Colina, PhD.

Universidad Católica de Santa Maria, Perú

Química

 Stalin Gustavo Santacruz Téran, PhD.

Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Química

 Elvia Victoria Cabrera Maldonado, PhD.

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Química

 Jesús Miguel Contreras Ramírez, PhD.

Universidad de los Andes, Venezuela

Química

 Yulixis Nohemi Cano de Torres, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Química

Apoyo logístico e informático



Rosalba Karen Bravo Saltos, Ing.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Víctor Andrés López Tuarez , Ing.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Jéssica Alexandra Calderero Panchana, Ing.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Corrector de traducción del idioma Español al inglés



Lincon Oliver Echeverría Zurita, MSc.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Corrector de estilo del idioma Español



Vielma Orellana Yonarlli José , Lcdo.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

ÍNDICE

CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENCIA DE *Salmonella* spp. EN ALIMENTOS DE LA COSTA ECUATORIANA

Analysis of the capture of *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) in Ecuador during 2019

Stalin Gustavo Santacruz-Téran

1-5

CIENCIAS QUÍMICAS

Influencia de los tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batata* L) en la producción de vodka

Influence of potato (*Solanum tuberosum*) and sweet potato (*Ipomoea batata* L) on the production of vodka

Damaris Sanchez, Karol Revilla Escobar, Jhonnatan Aldas Morejon, Jonathan Arguello Cedeño, Edgar Caicedo Álvarez, Edgar Caicedo Tapia

6-14

CIENCIAS MATEMÁTICAS

SPECTRAL METHODS ON THE HYDROGEN ATOM

MÉTODOS ESPECTRALES SOBRE EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO

César Daniel Reinoso Reinoso, Ramón Abancin Ospina

15-28

CIENCIAS QUÍMICAS

INVESTIGAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATOS E NITRITOS EM EMBUTIDOS POR MEIO DA REVISÃO DA LITERATURA

INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION OF NITRATES AND NITRITES IN SAUSAGES THROUGH A LITERATURE REVIEW

André Luiz Pereira Fontoura, Geilson Rodrigues Da Silva, Hygor Rodrigues De Oliveira

29-38

AVANCES EN GEOPOLÍMEROS REFORZADOS CON QUITINA: HACIA ALTERNATIVAS SOSTENIBLES AL CEMENTO PORTLAND

ADVANCES IN CHITIN-REINFORCED GEOPOLYMERS: TOWARDS SUSTAINABLE ALTERNATIVES TO PORTLAND CEMENT

Hortencia Asanza, Haci Baykara, David Anzules

39-52



PRESENCIA DE *Salmonella* spp. EN ALIMENTOS DE LA COSTA ECUATORIANA

PRESENCE OF Salmonella spp. IN FOODS FROM THE ECUADORIAN COAST

PRESENÇA DE Salmonella spp. EM ALIMENTOS DA COSTA EQUATORIANA

Autor

✉ **Stalin Santacruz** 

Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnológicas. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador

* Autor para correspondencia.

Editor Académico

Laura Soto Arrieta 

Citacion sugerida: Santacruz, S. (2024) Presencia de *salmonella* spp. en alimentos de la costa Ecuatoriana. *Revista Base de la Ciencias*, 9(1), 1-8. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.5714>

Recibido: 26/04/2023
Aceptado: 02/01/2024
Publicado: 05/01/2024

Resumen

Algunas regiones de Ecuador, especialmente la provincia de Manabí reporta un alto número de casos de salmonelosis. Es por ello que en el presente trabajo se examinó, mediante análisis microbiológicos, la presencia de *Salmonella* spp., en alimentos comercializados en el centro de la ciudad de Manta (provincia de Manabí), de acuerdo a las normas INEN. Ocho de las doce muestras de alimentos analizadas contenían *Salmonella* spp., seguido del jugo de zanahoria (16,7%), agua potable (14,3%), jugo de naranja (13,3%), queso artesanal (7,1%), hamburguesas (6,7%), pescado marinado. (3,6%) y longaniza (2,8%). Los alimentos que no se procesan o almacenan adecuadamente podrían ser responsables de la contaminación por *Salmonella* en Manta, Ecuador.

Palabras clave: Ecuador, comida de la calle, Manta, Salmonelosis

Abstract

Some regions in Ecuador, specially Manabí province, reports high number of Salmonellosis cases. The present work examines the presence of *Salmonella* spp. in food commercialized in the city centre of Manta (Manabí province), according to INEN regulations. Eight of the twelve food analysed samples contained *Salmonella* spp. 30% of the strawberry juice samples showed presence of *Salmonella* spp., followed by carrot juice (16.7%), potable water (14.3%), orange juice (13.3%), artisanal cheese (7.1%), hamburgers (6.7%), marinated fish (3.6%) and sausage (2.8%). Foods that are not properly processed or stored could be responsible of *Salmonella* contamination in Manta, Ecuador.

Keywords: Ecuador, street food, Manta, Salmonellosis

Resumo

Algumas regiões do Equador, especialmente a província de Manabí, relatam alto número de casos de Salmonelose. O presente trabalho examina a presença de *Salmonella* spp. em alimentos comercializados no centro da cidade de Manta (província de Manabí), segundo as normas do INEN. Oito das doze amostras de alimentos analisadas continham *Salmonella* spp. 30% das amostras de suco de morango apresentaram presença de *Salmonella* spp., seguido de suco de cenoura (16,7%), água potável (14,3%), suco de laranja (13,3%), queijo artesanal (7,1%), hambúrguer (6,7%), peixe marinado (3,6%) e linguiça (2,8%). Alimentos que não são processados ou armazenados adequadamente podem ser responsáveis pela contaminação por *Salmonella* em Manta, Equador.

Palavras chave: Equador; comida de rua; Manta; Salmonelose.





1. Introduction

Ecuadorian Ministry of Health has a register of diseases from food intake among others. A high number of people suffering of Salmonellosis has been identified in Ecuador year after year. Only on the last three years, between 1710 and 3373 cases were identified (Ministerio de Salud Pública, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Manabí province showed the highest percentage of Salmonellosis cases within Ecuador. Processing and commercialization conditions of artisanal and street food may not fulfil Ecuadorian regulations, leading to the presence of pathogen microorganisms like *Salmonella* spp. in artisanal cheese among other food products (Zambrano, 2014). Previous studies showed the presence of this microorganism in Ecuadorian food, like eggs (Estrada and Valencia, 2012), meat foods (Rodríguez and Silva, 2017) and chicken (Japón, 2019; Villarreal, 2017; Melo, 2015). However, to date no studies have been done about the presence of commercialized foods in the province of Manabí.

Based on the previous information, the present study examines the presence of *Salmonella* spp. in food commercialized in the city centre of Manta (Manabí, Ecuador).

2. Materials and methods

Food samples for identification of *Salmonella* spp. presence were chosen previously, based on studies in Latin-American countries (Yáñez et al., 2008; Charles-Hernández et al., 2005; Carrera et al., 1998; Calderón, 2006) that identified food as a source of *Salmonella*. Samples of sausage, marinated fish (ceviche), artisanal cheese, mortadella, grilled chicken, meringue for bakery, commercial ice, orange juice, strawberry juice, carrot juice and hamburgers were purchased from restaurants, stores or from street sellers from the center city of Manta, Ecuador. Potable water was collected from houses located in the city center.

The number of third and fourth category restaurants to be used for sampling was obtained from the Municipality of Manta, which was 154 restaurants. Since there was no data about the number of street sales found in the city, a total sample of 154 establishments was established. However, only 125 street sales could be located.

Samples were taken in triplicate for 3 consecutive weeks. The food only entered the laboratory if it met the following criteria: a) Food sample should be at refrigeration temperature (2-8 °C) b) Sample was taken within 24 h before the analysis c) Food sample was packaged in plastic bags within a container.

2.1 Presence of *Salmonella* spp. in food

The analyses to determine presence of *Salmonella* spp. were done according to the norm NTE INEN (INEN, 1996). 25 g of sample were inoculated with 225 ml peptone solution (1 g/L peptone, 8.5 g/l NaCl) and incubated at 37°C for 2 h. 1 mL of the prepared sample was inoculated in Rappaport and tetrathionate solution. Afterwards, the solutions were plated in *Salmonella*-*Shigella* agar culture medium (HiMedia Laboratories, India) and incubated at 37°C for 24 h. *Salmonella* spp. colonies were identified visually.

3. Results and discussion

Table 1 showed that eight of the twelve food samples contained *Salmonella* spp. Strawberry juice had the highest presence of *Salmonella* spp. with 30% of positive samples, followed by carrot juice with 16.7%, Potable water (14.3%), orange juice (13.3%), artisanal cheese (7.1%), hamburgers (6.7%), marinated fish (3.6%) and sausage (2.8%).

The presence of *Salmonella* spp. in fruit juices, cheese, hamburgers, marinated fish and sausages may be due to excessive food handling, lack of potable water for a proper wash of food and cookware and lack of refrigeration conditions to storage cheese and minced meat. Street food are prepared without adequate hygienic conditions such as raw materials of dubious origin, inappropriate storage, use of contaminated clothes such as coats, gloves, hats or face masks, recycling of frying oils or cooking water, inadequate disposal of waste, presence of rodents and the absence of sanitary services for the manipulators, are a perfect setting for the spread of infectious agents. Temperature in Manta vary between 21 and 29 °C along the year, therefore time and temperature may facilitate the reproduction of contaminating microorganisms in raw materials (Méndez et al., 2010).

There are very few studies in Ecuador about the presence of *Salmonella* spp. in food. This information may help to the Ministry of Public Health to prevent and control Salmonellosis in Ecuador by improving processing and storage conditions of commercialized food.

Similar studies carried out in Colombia by Yáñez et al. (2008) and Durango et al. (2004) have shown that between 5.3 and 7.9% cheese samples were contaminated with *Salmonella* spp. Yáñez et al. (2008) found 12.35% of sausages contaminated with *Salmonella* spp., whereas Durango et al. (2004) found presence of the microorganism in 7.9% of the samples. Sausages may show different results due a different kind of sausage used during the study. Despite the low pH of the fruit juices analyzed in this study, *Salmonella* still was present. This was also found in 37.7% of the fruit juices (banana, melon, watermelon and strawberry) with a pH range between 2.25 and 4.39, analyzed by Ávila and Fonseca (2008). Certainly a low pH is not enough to get free of *Salmonella*, therefore people should be alert on consumption of ceviche, based on marinated fish, which is consumed exclusively in Manabí province.

The results obtained in the city of Manta identify street food as a high health risk source. Possibly, this is due to the long time between food preparation and consumption, the limited storage conditions, and the frequent lack of potable water. All these factors should be considered in a seller health training. It is necessary greater control by the corresponding authorities and more information and training for sellers and consumers of this type of food.

Table 1. Presence of *Salmonella* spp. in food commercialized in the city center of Manta

Food	Number of samples	Presence of <i>Salmonella</i> spp. (%)
Sausage	36	2.8
Marinated fish (ceviche)	28	3.6
Ecuadorian artisanal cheese	28	7.1
Potable water	21	14.3
Commercial ice	9	0
Mortadella	36	0
Grilled chicken	27	0
Meringue for bakery	27	0
Orange juice	30	13.3
Strawberry juice	30	30
Carrot juice	30	16.7
Hamburgers	75	6.7
Total	377	5.8

4. Conclusions

The results of this study demonstrate the presence of *Salmonella* spp. in street food commercialized in center city of Manta, Ecuador. Probably raw materials of dubious origin and inadequate processing or food storage are a perfect setting for the spread of infectious agents such as *Salmonella* spp. Strawberry juice had the highest presence of *Salmonella* spp. with 30% of positive samples, followed by carrot juice with 16.7%, potable water (14.3%), orange juice (13.3%), artisanal cheese (7.1%), hamburgers (6.7%), marinated fish (3.6%) and sausage (2.8%). These street foods constitute a risk to public health. It is necessary a greater control by the corresponding authorities and more information and training for sellers and consumers of this type of food.



5. Conflict of interest

We have no conflicts of interest to disclose.

6. References

- Ávila, G. & Fonseca, M. (2008). Calidad microbiológica de jugos preparados en hogares de bienestar familiar en la zona norte de Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Recovered March 18th 2020 from: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis105.pdf>
- Charles-Hernández G., Medina-Solís C., Hernández-Romano J. (2005). Prevalencia de Salmonella sp en alimentos en el Estado de Tamaulipas durante el año 2005. Revista de Investigación Clínica, 59, 437-443. Recovered April 9th 2021 from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revinvcli/nn-2007/nn076e.pdf>.
- Carrera J., Caballero A., Lengomín M. (1998). Vigilancia de Staphylococcus y Salmonella en alimentos. Rev. Cubana Aliment. Nutr. 12, 16-9. Recovered April 9th 2021 from: https://www.adiveter.com/ftp_public/articulo1804.pdf
- Calderón G. (2006). Estudio de caso – Enfermedades Transmitidas por Alimentos en El Salvador. Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico FAO, 2006, 67-118. Recovered April 9th 2021 from: <http://www.fao.org/3/i0480s/i0480s.pdf>
- Durango, J., Arrieta, G. & Mattar, S. (2004). Presencia de Salmonella spp. en un área del Caribe colombiano: un riesgo para la salud pública. Biomédica, 24, 89-96. Recovered June 12th 2018 from <https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/1252/1367>
- Estrada, J. & Valencia, B. (2012). Determinación de Salmonella spp. en huevos frescos de gallina en los principales mercados de la ciudad de Quito. Tesis. Universidad Central del Ecuador. Quito. Recovered March 21st 2020 from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/599/1/T-UCE-0014-20.pdf>
- INEN. (1996). Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1529-15. Control microbiológico de los alimentos. Salmonella. Método de detección. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Recovered June 14th 2018 from <https://archive.org/stream/ec.nte.1529.15.1996#page/n3/mode/2up>
- Japón, M. (2019). Aislamiento y Serotipificación de Salmonella en carcasas de pollo en percha en la ciudad de Quito. Tesis. Universidad Central del Ecuador. Quito. Recovered March 23rd 2020 from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18588/1/T-UCE-0014-MVE-047.pdf>
- Méndez, I., Badillo, C., Parra, G. & Faccini, A. (2010). Caracterización microbiológica de Salmonella en alimentos de venta callejera en un sector universitario de Bogotá, Colombia. Julio a octubre de 2010. Revista de los estudiantes de medicina de la Universidad Industrial de Santander 24, 23-29. Recovered February 7th 2024 from: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistamedicasuis/article/view/2559>
- Melo, D. (2015). Identificación de Salmonella enterica de interés zoonótico serovariedades enteritidis, typhimurium e infantis en pollo bebe de un día de edad en un sistema productivo de pollo de engorde en la provincia de Pichincha. Universidad Central del Ecuador. Quito. Recovered March 23rd 2020 from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6912/1/T-UCE-0014-048.pdf>
- Ministerio de Salud Pública. (2014). Subsistema de vigilancia epidemiológica SIVE–ALERTA. Ministerio de Salud Pública, Ecuador. Recovered June 16th 2018 from: <https://www.salud.gob.ec/gaceta-epidemiologica-ecuador-sive-alerta/>

- Ministerio de Salud Pública. (2015). Subsistema de vigilancia epidemiológica SIVE–ALERTA. Ministerio de Salud Pública, Ecuador. Recovered June 16th 2018 from: <https://www.salud.gob.ec/gaceta-epidemiologica-ecuador-sive-alerta/>
- Ministerio de Salud Pública. (2016). Subsistema de vigilancia epidemiológica SIVE–ALERTA. Ministerio de Salud Pública, Ecuador. Recovered June 16th 2018 from: <https://www.salud.gob.ec/gaceta-epidemiologica-ecuador-sive-alerta/>
- Ministerio de Salud Pública. (2017). Subsistema de vigilancia epidemiológica SIVE–ALERTA. Ministerio de Salud Pública, Ecuador. Recovered June 16th 2018 from: <https://www.salud.gob.ec/gaceta-epidemiologica-ecuador-sive-alerta/>
- Ministerio de Salud Pública. (2018). Subsistema de vigilancia epidemiológica SIVE–ALERTA. Ministerio de Salud Pública, Ecuador. Recovered June 16th 2018 from: <https://www.salud.gob.ec/gaceta-epidemiologica-ecuador-sive-alerta/>
- Rodríguez, K. & Silva, B. (2017). Incidencia de la salmonelosis por contaminación de cárnicos en la zona de planificación 4. Tesis. Universidad estatal de milagro. Milagro. Recovered March 21st 2020 from: <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/3728/1/INCIDENCIA%20DE%20LA%20SALMONELOSIS%20POR%20CONTAMINACI%C3%93N%20DE%20LOS%20C%C3%81RNICOS%20RODRIGUEZ%20Y%20SILVA.pdf>
- Villarreal, Y. (2017). Genotipificación de aislados de *Salmonella* sp. provenientes de una planta de alimentos terminados para pollo de engorde y determinación de sus patrones de resistencia a antimicrobianos. Tesis. Universidad de Guayaquil. Guayaquil. Recovered March 22nd 2020 from: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redeg/23781/1/MAURI%20YADIR%20MAESTR%C3%8DA%20EN%20BIOTECNOLOG%C3%8DA.pdf>
- Yáñez, E., Mattar, S. & Durango, A. (2008). Determinación de *Salmonella* spp. por PCR en tiempo real y método convencional en canales bovinos y en alimentos de la vía pública de Montería. Asociación Colombiana de Infectología, 12, 246-254. Recovered June 22nd 2018 from <http://www.revistainfectio.org/index.php/infectio/article/view/127>
- Zambrano M. (2014). Determinación de la presencia de *Salmonella* en queso fresco comercializado en el cantón Chone provincia de Manabí entre Mayo y Julio del 2014. Tesis. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil. Recovered may 3rd 2018 from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2592/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-47.pdf>

Contribución de autor

Autor	Contribución
Stalin Santacruz	Parte experimental, elaboración del manuscrito



Influencia de los tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batata* L) en la producción de vodka

Influence of potato (Solanum tuberosum) and sweet potato (Ipomoea batata L) on the production of vodka

Influência dos tubérculos de batata (Solanum tuberosum) e batata-doce (Ipomoea batata L) na produção de vodka.

Resumen

A nivel global el camote es el tercer cultivo más importante, seguido de la papa y la yuca en el grupo de las raíces y tubérculos. En los últimos años ha tenido gran relevancia gracias al contenido de almidón (55 %), siendo ideal para la fabricación de productos fermentativos, por ello se plantea su uso en la industria de elaboración de bebidas alcohólicas. Por esta razón, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de dos variedades de tubérculos papa y camote en la elaboración de una bebida tipo vodka. Para el cual, se empleó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A*B, donde el Factor A es la relación *Camote: almidón de papa* y el Factor B es la dilución *mezcla: agua*, para un total de 6 tratamientos con 3 repeticiones, obteniendo un total 18 unidades experimentales. Además, se realizaron análisis fisicoquímicos y sensoriales del producto elaborado. En relación al pH durante el proceso de hidrólisis y fermentación no existieron cambios significativos, mientras que el valor de °Brix presentó un incremento significativo. También, se determinó que el T6 obtuvo mejores valoraciones en las categorías sensoriales: color (4,20), aroma (4,05), sabor (3,85), astringencia (4,10) y aceptabilidad (4,50), además, presentó un contenido de metanol (0,69 mg/100 cm³), y grados alcohólicos de 36 °GL, de esta manera queda demostrado que la obtención de una bebida alcohólica con parámetros dentro de la NTE es posible dando así valor agregados a este tipo de productos.

Palabras clave: bebida alcohólica; destilación, fermentación, hidrólisis.

Abstract

Globally, sweetpotato is the third most important crop, followed by potato and cassava in the group of roots and tubers. In recent years, sweetpotato has had great relevance thanks to its starch content (55%), being ideal for the manufacture of fermentative products, which is why its use in the alcoholic beverage industry is being considered. For this reason, the objective of this research was to evaluate the influence of two varieties of potato and sweet potato tubers in the elaboration of a vodka-type beverage. For which, a completely randomized design with factorial arrangement A*B was used, where Factor A is the sweet potato: potato starch ratio and Factor B is the dilution mixture: water, for a total of 6 treatments with 3 replications, obtaining a total of 18 experimental units. In addition, physicochemical and sensory analyses of the product were carried out. In relation to pH during the hydrolysis and fermentation process, there were no significant changes, while the °Brix value showed a significant increase. It was also determined that T6 obtained better ratings in the sensory categories: color (4.20), aroma (4.05), flavor (3.85), astringency (4.10) and acceptability (4.50), in addition, it presented a methanol content (0.69 mg/100 cm³) and alcoholic degrees of 36 °GL, thus demonstrating that it is possible to obtain an alcoholic beverage with parameters within the NTE, thus giving added value to this type of product.

Keywords: alcoholic beverage; distillation, fermentation, hydrolysis

Resumo

A nível mundial, a batata-doce é a terceira cultura mais importante, seguida da batata e da mandioca no grupo das raízes e tubérculos. Nos últimos anos, a batata-doce tornou-se muito importante graças ao seu teor de amido (55%), o que a torna ideal para a produção de produtos de fermentação, razão pela qual a sua utilização na indústria das bebidas alcoólicas está a ser considerada. Por esta razão, o objetivo desta investigação foi avaliar a influência de duas variedades de tubérculos de batata e batata-doce na produção de uma bebida tipo vodka. Para isso, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial A*B, onde o Fator A é a proporção batata-doce: fécula de batata e o Fator B é a mistura de diluição: água, num total de 6 tratamentos com 3 repetições, obtendo-se um total de 18 unidades experimentais. Além disso, foram realizadas análises físico-químicas e sensoriais do produto. Em relação ao pH durante o processo de hidrólise e fermentação, não se registaram alterações significativas, enquanto o valor do °Brix apresentou um aumento significativo. Também foi determinado que o T6 obteve melhores classificações nas categorias sensoriais: cor (4,20), aroma (4,05), sabor (3,85), adstringência (4,10) e aceitabilidade (4,50), além disso, apresentou um teor de metanol (0,69 mg/100 cm³), e teor alcoólico de 36 °GL, demonstrando assim que é possível obter uma bebida alcoólica com parâmetros dentro da NTE, agregando valor a esse tipo de produto.

Palavras chave: bebida alcoólica; destilação, fermentação, hidrólise.

Autor

- ✉ ^{1*}Damaris Sánchez Aguilera
- ✉ ^{2,3}Karol Revilla Escobar
- ✉ ²Jhonnatan Aldas Morejon
- ✉ ³Jonathan Arguello Cedeño
- ✉ ⁴Edgar Caicedo Álvarez
- ✉ ⁵Edgar Caicedo Tapia

¹Agro Sylvia María S.A-Km 21,5 vía Duran - Yaguachi. Ecuador.

²Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo.

³Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

⁴Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Universidad Estatal del Sur de Manabí.

⁵Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Universidad Estatal del Sur de Manabí

* Autor para correspondencia.

damaris.sanchezar@gmail.com

Editor Académico

Gretty Rosario Ettiene

Citacion sugerida: Sánchez-Aguilera, D., Revilla-Escobar, K., Aldas-Morejon, J., Arguello-Cedeño, J., Caicedo-Álvarez, E., Caicedo-Tapia, E. Influencia de los tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batata* L) en la producción de vodka (2024). *Revista Bases de la Ciencia*, 9(1), 6-14 DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.6281>

Recibido: 13/12/2023

Aceptado: 21/02/2024

Publicado: 22/03/2024





1. Introducción

En el Ecuador la papa (*Solanum tuberosum*), es un producto alimenticio milenario, su entorno de producción es la sierra andina. Es de importancia agroeconómica ya que representa la diversidad genética de las papas cultivadas y silvestres, además es una importante fuente de alimentación para las familias campesinas; considerando que la agricultura familiar satisface el 60% de la demanda de alimentos a nivel nacional (Mora *et al*, 2018). En el 2018 según el Banco mundial, (2019) el cultivo de papa aportó el 9% del PIB en el país.

De acuerdo con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), reportó, que dentro de los cultivos transitorios la papa se encuentra en los tres más producido a nivel nacional, en el 2021 con 245 Tm, Carchi es la provincia con la mayor producción con 101 Tm y en el 2021 aportó el 41,27 % de la producción total. Por otra parte, el camote (*Ipomoea batatas* L), es el tercer cultivo más importante a nivel global después de la papa y la yuca en el grupo de raíces y tubérculos, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) menciona que es uno de los tubérculos comestibles más antiguos, utilizados durante siglos, pero aun así es muy poco su aprovechamiento (INIAP, 2017).

El camote obtuvo gran relevancia en los últimos años en el área industrial debido a su contenido de almidón (55%), En China este tubérculo es muy aprovechado debido su contenido de almidón. Por otro lado, en Perú utilizan la harina de camote para elaborar alimentos de panificación o fideos (Vidal *et al*, 2018). En Japón, además de obtener harinas se elaboran salmueras a través de la raíz y lacto-bebidas, en Filipinas, extraen las antocianinas del tubérculo, estas antocianinas son usadas en leches fermentadas (El Sheikha & Ray, 2017).

En el año 2018, en Pichincha (Ecuador) se producía 148 hectáreas siendo la provincia que más producía en la región sierra, por otro lado, en la región costa la provincia de Manabí con 198 hectáreas, seguida por Guayas con 198 hectáreas, en el país la mayor producción se encontró en Morona Santiago con 715 hectáreas (Yapud, 2018).

Cabe resaltar que en el país el camote y la papa su industrialización es escasa y gran parte de la producción se comercializa en productos primarios y son consumidos directamente, a este respecto, es importante destacar que de no aprovecharse las propiedades del camote para uso industrial e incrementar su producción este podría convertirse en un cultivo en peligro de extinción por su poca demanda.

Debido a esto el objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de dos variedades de tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batata* L) en la elaboración de una bebida tipo vodka, en donde se realizó análisis fisicoquímicos y se determinó las características sensoriales para determinar el mejor tratamiento, al cual se le realizó un análisis del contenido de metanol y grados alcohólicos.

2. Materiales y Métodos

Para el caso de las materias primas fueron obtenidas de diferentes cantones, el camote fue obtenido del cantón Mocache provincia de Los Ríos (Ecuador), mientras que el almidón de papa fue receptado del mercado local del cantón Guaranda provincia de Bolívar (Ecuador)

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial A*B, donde el factor A fue la relación camote/papa y el factor B la dilución mezcla/ agua con 6 tratamientos con 3 repeticiones, obteniendo un total 18 unidades experimentales (Tabla 1 y Tabla 2). Para determinar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se aplicó una prueba de Tukey ($p < 0,05$), mediante los programas Statgraphics e InfoStat.

Tabla 1. Factores de estudio en la elaboración de la bebida tipo vodka

Factores	Niveles
A) Relación camote/almidón de papa $a1 = 80: 20$	$a2 = 70: 30$
	$b1 = 15: 85$
B) Dilución mezcla/ agua	$b2 = 20: 80$
	$b3 = 25: 75$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Formulaciones de los tratamientos para la elaboración de la bebida tipo vodka

Tratamientos	Descripción
T1	80 % camote/20 % almidón de papa + 15 % mezcla/85 % agua.
T2	80 % camote/20 % almidón de papa + 20 % mezcla/80 % agua.
T3	80 % camote/20 % almidón de papa + 25 % mezcla/75 % agua.
T4	75 % camote/25 % almidón de papa + 15 % mezcla/85 % agua.
T5	75 % camote/25 % almidón de papa + 20 % mezcla/80 % agua.
T6	75 % camote/25 % almidón de papa + 25 % mezcla/75 % agua

Fuente: Elaboración propia

Proceso de elaboración de la bebida tipo vodka

Obtención del mosto

Consistió en dos fases, en la primera se preparó la hidrólisis del almidón y la segunda se obtuvo el jugo de camote. Una vez finalizada ambos procesos se procedió a realizar las mezclas de acuerdo a cada tratamiento y se dejó fermentando por un período de 5 días.

Hidrólisis del almidón

Dilución: se realizó en relación 1:4 correspondiente a 1 parte de almidón de papa por cada 4 litros de agua, se removió para evitar la formación de grumos.

Gelatinización: En esta etapa se adicionó 0,5% de ácido cítrico por cada litro.

Hidrólisis: se realizó a diferentes tiempos y temperaturas (45 °C a 90 min, 55 °C a 30 min, 60 °C a 30 min y 65°C a 30 min), en cada tiempo y temperatura se realizó la reposición de agua, finalmente se dejó en reposo hasta el proceso de mezcla con el jugo del camote.

Obtención del jugo de camote

Lavado y escurrido: la materia prima fue almacenada en recipientes plásticos para su posterior lavado, el cual se lo realizó con diluciones de 1 litro de agua potable y 100 ml de desinfectante de fruta (Kilol).

Cortado: posterior al lavado los camotes fueron cortados en rodajas para luego poder obtener el jugo.

Licuo y tamizado: se licuó con agua potable 2.33 Kg (camote), correspondiente al 70 %, obteniendo así un jugo el cual debe ser tamizado por el exceso de residuo, el tamizado se realizó mediante un lienzo para poder eliminar todos los residuos sólidos que produjo en el licuado.

Mezcla: Una vez conseguido el jugo y el jarabe hidrolizado del almidón de la papa, se realizó la mezcla

Amaligración: En esta fase se realizó la estabilización de los grados brix, para la cual se utilizó melaza con 50 grados brix (calidad industrial), con ayuda de la siguiente formula:

$$\text{Melaza} = \frac{\text{Peso del mosto} * (\text{Brix deseados} - \text{Brix actuales})}{(100 - \text{Brix deseados})}$$

Acondicionamiento del mosto: se agregó levadura *S. cerevisiae* (1g/L) y urea (0,75 g/L). El mosto fue almacenado en botellas previamente preparadas y acondicionadas para el proceso de fermentación.



Fermentación: Esta fase se mantuvo hasta que los grados Brix y pH fueron constantes, los cuales fueron por el periodo de 7 días.

Tamizado: al finalizar el proceso de fermentación, se procedió a tamizar para lograr eliminar residuos sólidos o partículas que se hayan formado durante el proceso anterior, eliminando así cualquier residuo producido en la etapa anterior.

Destilación: mediante un destilador semi-industrial (Tendal) se extrajo el alcohol por el lapso de 90 minutos a 70 °C, el contenido de alcohólico fue medido mediante un alcoholímetro escala 0-100% Vol.

Análisis físico-químicos

Grados brix: se realizó mediante el uso de un refractómetro POCKET PAL-3 de 0° - 30° Brix, en el cual consistió en colocar una gota sobre el cristal, luego se tomó la lectura (Morales Ibadango y Quinatoa Pérez, 2020)

pH: se utilizó 20 ml de muestra y por medio de un potenciómetro digital METLER escala 1-14 se obtuvo la lectura directa del valor de pH

Contenido de alcohol: se determinó de acuerdo a lo establecido en la norma “NTE INEN 0340:2014. Bebidas alcohólicas. Determinación del contenido de alcohol etílico. Método del alcoholímetro de vidrio”. Se empleó de un alcoholímetro calibrado (Boeco 2019) a 20 °C se determinó el alcohol etílico en la etapa final del destilado.

Análisis sensorial

Para el análisis sensorial se organizó un panel de jueces aleatorios no entrenados, utilizando un test de preferencia por ordenamiento para evaluar la aceptabilidad y seleccionar el tratamiento con mejores características según las categorías evaluadas: aroma, sabor y astringencia. Al panel se le solicitó, que después de la catación respondieran cuanto le gusto o disgusto cada uno de los tratamientos. Siendo 1 = me desagrada mucho y 5 = me agrada mucho.

Análisis de metanol: Se realizó según lo establecido en la “NTE INEN 0347:2015. Bebidas alcohólicas. Determinación de metanol alcohólicos beverages, en la cual, La prueba se basa en la oxidación de metanol a metanol (formaldehído) por la acción del permanganato de potasio en presencia de ácido fosfórico, el metanol reacciona en el medio ácido proporcionado por el ácido cromotrópico, formando un compuesto púrpura, que se observará en el espectrofotómetro a 575 nm. El análisis de metanol se realizó al mejor tratamiento (T6) fue realizado en el laboratorio certificado (MULTIANALITYCA S.A., en la ciudad de Quito).

3. Resultados y Discusión

Análisis físico-químicos

En relación al pH en las etapas de hidrólisis y fermentación, no observaron diferencias significativas (**Figura 1**).

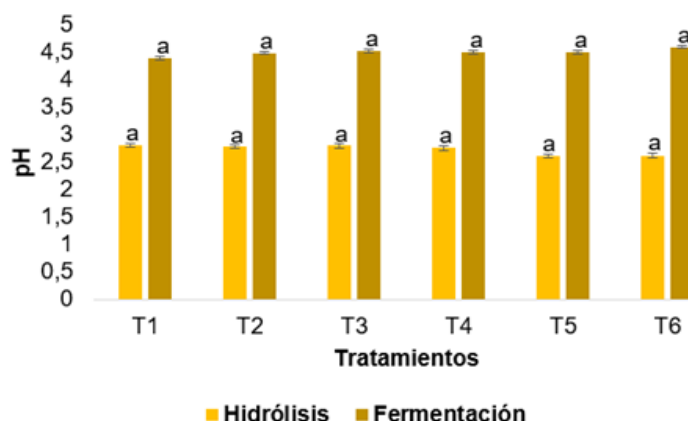


Figura 1. Valores de pH en las etapas de hidrólisis y fermentación durante el proceso de elaboración de la bebida tipo vodka.

Sin embargo, la etapa de hidrólisis el mayor valor en el T3 se observó en el con 2,80, mientras que el menor valor se obtuvo para T5 con 2,61. Por otra parte, en la etapa de fermentación existió un incremento en los parámetros estudiados, para lo cual el mayor valor de pH se obtuvo en el T6 con 4,60 en comparación al menor contenido que se observó en el T1 con 4,39. Estos valores resultaron inferiores al contenido por Montero-Aguay (2022) quien reportó un pH de 5,8. Cabe mencionar que su estudio se empleó mezclas entre papa y zanahoria blanca. Por otra parte, Bustillos y Cocheró (2022) publicaron un valor promedio de pH de 3,20 al utilizar de hidrólisis ácida en la elaboración de vodka a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*).

En relación a los °Brix (**Figura 2**) en la fase de hidrólisis, el mayor valor se determinó en el T3 con 6,50, siendo estadísticamente diferente ($p<0.05$) al T4 que presentó un menor valor 4,50. Respecto a los grados Brix en la fase de fermentación el T2 con 10,25 difiere significativamente ($p<0.05$) del T3 y T4 los cuales presentaron un contenido de 9,38. Otros autores en su investigación de una bebida a base de papa chaucha y papa super chola reportaron un promedio de 2,01 °Brix (Maigualca-Pilatasig, 2021).

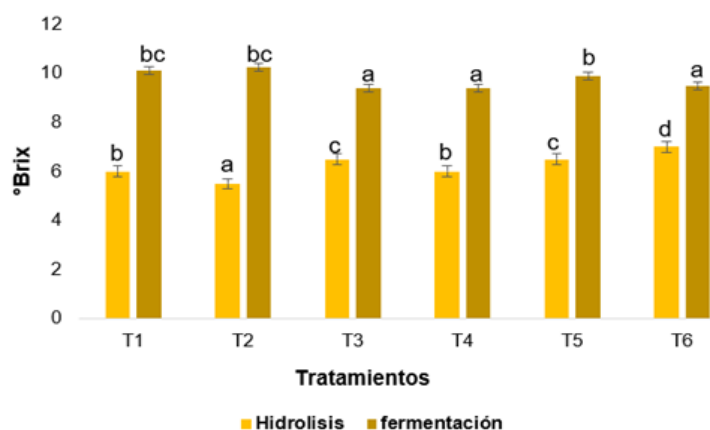


Figura 2. °Brix en las fases de hidrólisis y fermentación durante del proceso de elaboración de la bebida tipo vodka.

Determinación del contenido de alcohol (etanol).

En la **Figura 3** se muestran los resultados correspondientes al contenido de alcohol (etanol) en la etapa de destilación. Para el cual se estableció diferencia significativa ($p<0,05$), se determinó el mayor contenido alcohólico en el T2 con 86 °GL, seguido del menor contenido el cual se presentó en el T3 con 82,75 °GL. Según Palacios *et al* (2020) obtuvo valores de 18 - 40 °GL, cabe mencionar que emplearon almidón de papa súper chola en la producción de una bebida alcohólica. Por otra parte Odar-Jiménez y Parraguez-Llaguento (2018), situaron entre 29,40 °GL a 31,80 °GL en una bebida a partir de papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata* L) y Olluco (*Ullucus tuberosus*) dando así valores inferiores a los presentados en la investigación debido que al iniciar el proceso fermentativo se estandarizaron los grados brix.

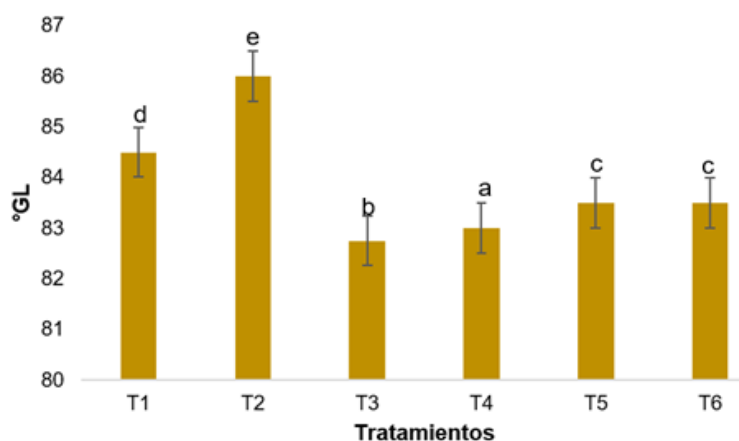


Figura 3. Resultados del contenido de alcohol de la bebida tipo vodka



Análisis sensorial en la elaboración de la bebida tipo vodka

En la **Tabla 3**, se representa los valores de las categorías sensoriales: color, aroma, sabor, astringencia, aceptabilidad, donde se puede observar que existió diferencia significativa ($p < 0,05$) para cada uno de los perfiles estudiados.

Para la categoría color existió diferencia significativa ($p < 0,05$), se observó que el T6 presentó la mayor valoración con 4,20, mientras que el T2 menor calificación con 3,55, obteniendo así, una aceptación de agrado por partes de los panelistas. El típico color del vodka es incoloro, con sabor picante y originalmente no es envejecido (Ordóñez Girón, 2022).

En cuanto al aroma, el T6 presentó (4,05) el cual fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) con el T5 que situó el menor valor con 3,53, se hace énfasis que al emplear 75% camote/25% almidón de papa +25% mezcla/75% agua, obtuvo notas dulces como lo fue el T6 el tratamiento que más agrado. Según Benavides Arteaga y Pozo López, (2018), indican que el aroma de las bebidas alcohólicas tiene relación con la temperatura de destilación, esto debido al punto de ebullición del agua (100 °C) y del alcohol (78,3 °C).

Respecto a la categoría sabor, el T1 presentó mayor puntuación con 4,30, en comparación al T5 que presentó el menor resultado con (3,84), presentando diferencias estadísticas ($p < 0,05$), de esta manera queda demostrado que, a mayor porcentaje de camote en la formulación, se incrementa el perfil sensorial como se puede denotar en el T4. Por otro lado, Anaya Suarez y Mantero Zavala, (2019), mencionan que debido al bajo porcentaje de lípidos que es casi nulo en el almidón de papa, se lo considera un nivel alto de pureza y esto permitira que la bebida obtenga un sabor neutro. El alcohol etílico también se conoce como etanol, es un líquido incoloro y volátil con un olor agradable (Maugualca Pilatasig, 2021).

Por otro lado, el perfil sensorial de astringencia los tratamientos T4-T6 presentaron el mayor valor con 4,10, mientras que el T1 obtuvo el menor valor. Los catadores describieron una sensación ligeramente fuerte, lo cual es ideal al ser una bebida tipo vodka, mencionaron que las muestras presentaron una sensación seca similar a probar whisky, Por su parte, Amorocho-Cruz et al., (2022), señalan que la astringencia tiene relación con el punto de maduración.

En relación al perfil de aceptabilidad, se observó que el T6 obtuvo la mejor calificación (4,50) siendo estadísticamente superior ($p < 0,05$) al T2 con 3,45. En concordancia, Morantes Triana, (2018), afirma que el parametro de aceptabilidad medido de acuerdo al panel sensorial resultó agradable, ademas resaltan que el aroma y el sabor estan correlacionado con los °GL.

Tabla 3. Caracterización del análisis sensorial en la elaboración de la bebida tipo vodka

Tratamientos	Color	Aroma	Sabor	Astringencia	Aceptabilidad
T1	3,60 ^b	3,65 ^a	4,30 ^c	3,85 ^b	3,50 ^a
T2	3,55 ^a	3,75 ^b	4,10 ^b	3,40 ^a	3,45 ^a
T3	3,85 ^c	3,75 ^b	4,20 ^c	3,90 ^{bc}	4,10 ^b
T4	4,00 ^d	3,85 ^c	4,05 ^b	4,10 ^c	4,30 ^c
T5	3,42 ^a	3,53 ^a	3,84 ^a	3,84 ^b	4,00 ^b
T6	4,20 ^c	4,05 ^d	3,85 ^a	4,10 ^c	4,50 ^d

Los superíndices muestran diferencia significativa ($p < 0,05$), entre las medias de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

Contenido de metanol en la bebida tipo vodka

Como se puede visualizar en la tabla 4, el valor de metanol y grados alcohólicos presentes en el T6 (75% camote/25% almidón de papa + 25% mezcla/75% agua) se observo un contenido de 0,69 mg/100cm³y 36 °GL, con esto se demuestra que la bebida es apta para el consumo, debido que se encuentra dentro del rango establecido como requisitos para bebidas alcohólicas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 369, la cual indica un valor máximo de 1,5 mg/100 cm³ en metanol y 36 °GL. Así mismo Kraut y Mullins, (2018) mencionan que un consumo de metanol ≥ 1 g/kg se considera una

bebida letal. De igual manera Mayner-Tresol y Villasmil, (2018), indican que el alcohol madera (metanol) es un líquido incoloro, inflamable y venenoso, el cual es usado mayormente como solvente industrial.

Tabla 4. Contenido de metanol y grados alcohólicos del tratamiento (T6).

Parámetro	Unidad	Resultado	NTE INEN 369
Metanol	mg/100 cm ³	0,69	Máximo 1,5
Grado alcohólico	°GL	36	Máximo 36

Fuente: Elaboración propia

Kraut y Mullins, (2018), indican que un consumo de metanol menor de 1 g/kg se considera letal. De igual manera Mayner-Tresol y Villasmil, (2018), indican que el alcohol madera (metanol) es un líquido incoloro, inflamable y venenoso, el cual es usado mayormente como solvente industrial.

4. Conclusiones

Se elaboró una bebida tipo vodka empleando dos variedades de tubérculos (camote y papa) donde se evaluaron características fisicoquímicas en la etapa de hidrólisis determinando un pH de 2,80 – 2,61 y °Brix de 4,50 – 6,50. Mientras que, en la etapa de fermentación presentó en pH 4,39 – 4,60 y contenido de °Brix de 9,38 – 10,25 enfatizando que, la etapa fermentativa hubo un incremento en cada una de las variables. Por otro lado, se demostró que el T6 = 75% camote/25% almidón de papa + 25% mezcla/75% agua presentó las mejores valoraciones en cada una de las categorías sensoriales. Así como también, al utilizar una concentración de 75% camote + 25% almidón de papa y 25% mezcla + 75% agua se obtiene un contenido de 36 grados alcohólicos (°GL) y 0,69 mg/100 cm³ de metanol. Con ello se demuestra que la bebida es apta para el consumo humano y se concluye que el camote y la papa pueden ser empleados como materia prima en la industria de bebidas alcohólicas.

5. Declaración De Conflicto De Interés De Los Autores

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

6. Referencias

- Amorocho-Cruz, C. M., Soto-Mora, J. E., & Charry-Roa, S. (2022). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial de vino de curuba (*Passiflora mollissima* var. Bailey). *Revista Biotecnología*, 20(2), 45-59. doi:<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1562>
- Anaya Suarez, Y. Y., & Mantero Zavala, G. Y. (2019). Obtención de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de almidones de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) por vía enzimática. Huánuco-Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco.
- Banco mundial. (2019). Resumen anual: El año 2019 en 14 gráficos. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/12/20/year-in-review-2019-in-charts>
- Benavides Arteaga, I. M., & Pozo López, M. M. (2018). Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka) a partir de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando dos tipos de enzimas.
- Bustillos, S. D., & Cochero Murillo, B. (2022). Obtención de una bebida alcohólica destilada (vodka) mediante hidrólisis ácida a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*). Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1532/1/073-%20BUSTILLOS%20DAYANA%20-%20COCHERO%20BRENDA.pdf>
- El Sheikh, A. F., & Ray, R. (2017). Impactos potenciales del bioprocesamiento de la batata. Reseñas críticas en ciencia de los alimentos y nutrición. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2014.960909>



- ESPAC. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- INEN. (1986). NTE INEN 0389: Conservas vegetales. Determinación de la concentración del ión hidrógeno (pH). Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (2014). INEN 0340. Bebidas Alcohólicas, Determinación del contenido de alcohol etílico. Método Alcohométrico (Gay-Lussac). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito.
- INEN. (2015). INEN 0347: Bebidas Alcohólicas. Determinación de Metanol. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito.
- INIAP. (2017). Manual técnico del cultivo de camote. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Portoviejo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4789/3/INIAPEEPM106.pdf>
- Kraut, J. A., & Mullins, M. E. (2018). "Toxic alcohols". The new England Journal of Medicine, 270-280. <https://core.ac.uk/download/pdf/212863292.pdf>
- Maigualca Pilatasig, J. A. (2021). Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka) a partir de dos variedades de papa (solanum phureja) y super chola (Solanum tuberosum L.) con alfa amilasa. Latacunga-Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10131/1/PC-002600.pdf>
- Mayner-Tresol, G., & Villasmil, E. (2018). Intoxicación aguda por metanol. Reporte de caso. Avances de Biomedicina, 7(3). <https://www.redalyc.org/journal/3313/331367295006/331367295006.pdf>
- Montero Aguay, J. (2022). Evaluación de la mezcla entre la papa gabriela y zanahoria blanca como materia prima para la obtención de vodka en la empresa primicia. Riobamba-Ecuador: Universidad Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17766/1/96T00809.pdf>
- Mora, J., Velasco, C., Mejía, A., & Flores, R. (2018). Midiendo pérdidas en la cadena papa en Ecuador. Quito, Ecuador. Centro Internacional de la Papa. Centro Internacional de la Papa.
- Morales Ibadango, C. M., & Quinatoa Pérez, A. J. (2020). Evaluación de la producción de alcohol etílico a base de papa china (Colocasia esculenta), utilizando el método germinativo del tubérculo. Patacunga-Ecuador: Universidad Estatal Amazónica. <https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/895/T.%20AGROIN.%20B.%20UEA.%20%202132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morantes Triana, M. I. (2018). Evaluación de una fermentación alcohólica de cubio (Tropaeolum tuberosum RyP) con levadura de vinificación para la obtención de vino de tubérculo. Bogotá DC: Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1171&context=ing_alimentos
- Odor Jiménez, M. L., & Parraguez Llaguento, D. A. (2018). Evaluación del Rendimiento de la fermentación alcohólica a partir del almidón de la papa (Solanum tuberosum), camote (Ipomoea batata) y olluco (Ullucus tuberosus). Lambayeque-Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3689/BC-TES-TMP-2495.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ordóñez Girón, L. (2022). Desarrollo de una bebida alcohólica destilada tipo (vodka) a partir de dos variables de tubérculos, papa china (Colocasia esculenta) y oca (Oalis tberosa). Cuenca: Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11671/1/17200.pdf>
- Palacios, T., Ramírez, C., López, A., Maliza, V., Peña, E., & Brito, H. (2020). Uso de almidón de papa súper chola (solanum tuberosum) en la producción de una bebida alcohólica. La Ciencia al Servicio de la Alud y la Nutrición, 11. <http://revistas.esPOCH.edu.ec/index.php/cssn/article/view/507/512>

Vidal, A. R., Zaucedo, A. L., & Ramos, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batata* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <https://www.redalyc.org/journal/813/81357541001/81357541001.pdf>

Yapud, L. (2018). Análisis de la demanda para la comercialización de snacks de camote (*Ipomoea batata*). Tulcán: Universidad Politécnica Estatal de Carchi. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/623/1/INFORME%20LIDIA%20YAPUD.pdf>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Damaris Sánchez	Conceptualización
Karol Revilla Escobar	Redacción - revisión
Jhonnatan Aldas Morejon	Validación y curación de datos
Edgar Caicedo Álvarez	Metodología
Edgar Caicedo Tapia	Investigación
Jonathan Arguello Cedeño	Curación de datos





SPECTRAL METHODS ON THE HYDROGEN ATOM

MÉTODOS ESPECTRALES SOBRE EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO

MÉTODOS ESPECTRAIS NO ÁTOMO DE HIDROGÊNÍ

Autor

✉ César Daniel Reinoso Reinoso¹



✉ Ramón Antonio Abancin Ospina^{1,*}



¹Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH), Riobamba,
Ecuador

* Autor para correspondencia.

Editor Académico

Oswaldo José Larreal Barreto



Citacion sugerida: Reinoso Reinoso, C., Abancin Ospina, R. (2024). Spectral methods on the hydrogen atom. *Revista Bases de la Ciencia*, 9(1), 15-28. DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.6403>

Recibido: 24/01/2024
Aceptado: 23/04/2024
Publicado: 24/04/2024

Resumen

Este estudio investiga la implementación computacional de la teoría espectral y sus aplicaciones en el análisis de problemas matemáticos complejos. Explora el uso de lenguajes de programación modernos y bibliotecas científicas para implementar y visualizar conceptos matemáticos complejos, centrándose particularmente en la teoría espectral dentro de la física cuántica. La investigación emplea métodos computacionales para abordar los desafíos en la interpretación de propiedades espectrales, utilizando el método espectral de Lanczos para el cálculo de valores propios en matrices grandes y dispersas. Los resultados ilustran la eficacia de estas técnicas computacionales para visualizar estados cuánticos, lo que demuestra el potencial de la programación avanzada para comprender y resolver problemas complejos en física cuántica y teoría de grafos espectrales. Los hallazgos del estudio son importantes para unir los métodos computacionales con el análisis espectral teórico, ofreciendo una nueva perspectiva sobre la aplicación de técnicas computacionales en la investigación científica.

Palabras clave: Teoría espectral, Matemática computacional, Física cuántica, Método Lanczos, Cálculos de valores propios.

Abstract

This study investigates the computational implementation of spectral theory and its applications in analyzing complex mathematical problems. It explores the use of modern programming languages and scientific libraries for implementing and visualizing complex mathematical concepts, particularly focusing on spectral theory within quantum physics. The research employs computational methods to address the challenges in interpreting spectral properties, utilizing the Lanczos spectral method for eigenvalue calculation in large, sparse matrices. The results illustrate the effectiveness of these computational techniques in visualizing quantum states, demonstrating the potential of advanced programming in understanding and solving intricate problems in quantum physics and spectral graph theory. The study's findings are significant in bridging computational methods with theoretical spectral analysis, offering a new perspective on the application of computational techniques in scientific research.

Keywords: Spectral theory, Computational mathematics, Quantum physics, Lanczos method, Eigenvalue calculations.

Resumo

Este estudo investiga a implementação computacional da teoria espectral e suas aplicações na análise de problemas matemáticos complexos. Explora o uso de linguagens de programação modernas e bibliotecas científicas para implementar e visualizar conceitos matemáticos complexos, concentrando-se particularmente na teoria espectral dentro da física quântica. A pesquisa emprega métodos computacionais para enfrentar os desafios na interpretação de propriedades espectrais, utilizando o método espectral de Lanczos para cálculo de autovalores em matrizes grandes e esparsas. Os resultados ilustram a eficácia dessas técnicas computacionais na visualização de estados quânticos, demonstrando o potencial da programação avançada na compreensão e resolução de problemas complexos em física quântica e teoria de grafos espectrais. As descobertas do estudo são significativas ao unir métodos computacionais com análise espectral teórica, oferecendo uma nova perspectiva sobre a aplicação de técnicas computacionais na pesquisa científica.

Palavras chave: Teoria espectral, Matemática computacional, Física quântica, Método Lanczos, Cálculos de valores.





1. Introduction

The study of the hydrogen atom has been a essential pillar in theoretical physics and chemistry, offering a window into the principles of quantum mechanics and fundamental matter interactions. Precision in the spectral analysis of the hydrogen atom is crucial not only for theoretical understanding but also for practical applications in spectroscopy and quantum technologies. Advances in computational tools, particularly with the use of Python, offer new possibilities to approach this classic study with renewed and more precise methods.

Despite advances in computational techniques, implementing spectral methods in the study of the hydrogen atom faces significant challenges. These include the need for precise wave function discretization, efficient management of large matrices in the Hamiltonian representation, and the efficient and accurate calculation of eigenvalues, which are crucial for understanding the spectral properties of the atom.

The spectral analysis of quantum systems, particularly the hydrogen atom, remains a cornerstone in the advancement of theoretical physics and chemistry. This methodological approach provides crucial insights into the quantum mechanical behavior and interaction properties of fundamental particles.

Despite significant progress in computational physics, challenges persist in the effective implementation of spectral methods for such studies. Issues such as accurate wave function discretization, efficient Hamiltonian matrix management, and precise eigenvalue calculation are critical for enhancing the fidelity of spectral analyses. These challenges have been highlighted in recent studies which also demonstrate the potential of advanced computational methods in addressing these complexities (Woywod et al. (2018), Iacob (2014)).

This research aims to bridge these gaps by developing a sophisticated computational framework for the spectral analysis of the hydrogen atom. By employing Python and integrating cutting-edge techniques such as Chebyshev nodes for radial discretization, efficient Hamiltonian matrix representation, and the Lanczos method for eigenvalue computation, this study seeks to set a new standard in precision for quantum mechanical investigations. The successful implementation of this approach could significantly impact both theoretical understanding and practical applications in spectroscopy and quantum technologies, underscoring the ongoing importance of spectral theory in contemporary scientific research.

Previous studies have addressed various aspects of spectral methods in quantum systems. For instance, the spectral characterization of hydrogen-like atoms confined by oscillating systems has been investigated using efficient computational methods Iacob (2014). Furthermore, the detailed analysis of the hydrogen atom's spectrum has been fundamental to the development of quantum mechanics laws Hnsch et al. (1979). Recently, pseudo-spectral methods for the description of electronic wave functions in atoms and atomic ions have been developed Woywod et al. (2018). These backgrounds highlight both advances and gaps in the implementation of spectral methods.

Despite these advances, there is a need for a methodology that more effectively integrates radial discretization, Hamiltonian matrix management, and eigenvalue calculation. The lack of a comprehensive approach that simultaneously and efficiently addresses these aspects remains a challenge in the computational implementation of spectral methods in the hydrogen atom.

This work aims to develop and implement an innovative computational approach for the spectral analysis of the hydrogen atom using Python. It intends to combine radial discretization using Chebyshev nodes with efficient Hamiltonian matrix representation and the Lanczos spectral method for precise eigenvalue calculation, thus addressing the current limitations in the spectral study of the hydrogen atom.

In this sense, the objectives of the research are: Implement a radial grid using Chebyshev nodes for the efficient discretization of the hydrogen atom; Develop an approach to efficiently manage the non-zero values of the Hamiltonian matrix, maximizing computational efficiency; Apply the Lanczos spectral method for the precise and efficient calculation of eigenvalues, facilitating a better understanding of the spectral properties of the hydrogen atom.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 Spectral theory

2.1.1 Fundamentals of spectral theory

Spectral theory is an essential pillar in the mathematical study of linear systems, particularly in the context of operators in Hilbert and Banach spaces. This theory has direct implications in quantum physics, especially in the analysis of quantum systems such as the hydrogen atom. Spectral operators allow for a deep understanding of the properties and behavior of these systems.

2.1.2 Applications in quantum physics

In quantum physics, spectral theory is extensively applied to analyze and understand the spectral of atoms and molecules. The spectral structure of an atom, like the hydrogen atom, reveals fundamental information about its energy levels and possible electronic transitions. This understanding is crucial for the development of quantum models and the interpretation of physical phenomena at the atomic and molecular level.

2.2 Computational methods in quantum physics

2.2.1 Tools and programming languages

In the realm of quantum physics, computational advancements have provided essential tools for analyzing and modeling complex quantum systems. Python, in particular, has emerged as a prominent language due to its flexibility and the availability of advanced scientific libraries such as NumPy and SciPy. These libraries facilitate the implementation of quantum algorithms and the handling of complex numerical calculations.

Definition 1 (Hilbert space). *A Hilbert space $\mathcal{H}$ is a complete vector space equipped with an inner product $\langle \cdot, \cdot \rangle$ that induces a norm and a metric. In quantum physics, quantum states are modeled using vectors in a Hilbert space, where the inner product represents the probability of transition between states.*

Theorem 1 (Spectral theorem for compact operators). *Let T be a compact and self-adjoint linear operator in a Hilbert space $\mathcal{H}$. Then, T has a discrete set of eigenvalues $\{\lambda_n\}_{n=1}^{\infty}$ with corresponding orthonormal eigenvectors $\{e_n\}_{n=1}^{\infty}$. Any element $f \in \mathcal{H}$ can be expressed in terms of these eigenvectors as:*

$$f = \sum_{n=1}^{\infty} \langle f, e_n \rangle e_n,$$

where $\langle f, e_n \rangle$ denotes the coefficient of f in the direction of e_n .

Remark 1. *A detailed demonstration of this theorem can be found in classical texts on functional analysis. For further reading and in-depth understanding, refer to works such as Reed and Simon's "Methods of Modern Mathematical Physics I: Functional Analysis" Reed & Simon (1980), Rudin's "Functional Analysis" Rudin (1991), and Conway's "A Course in Functional Analysis" Conway (1990).*

2.2.2 Discretization and computational grids

Discretization in numerical analysis is the process of approximating a continuous function by a set of discrete values. In quantum physics, this typically involves approximating wave functions or other physical quantities on a discrete computational grid.

A computational grid is a discretely defined space where numerical solutions of physical equations are computed. In the context of quantum systems, this grid could represent the spatial domain over which the quantum wave function is defined.

Theorem 2 (Spectral discretization). *Let $\{\phi_n\}$ be a set of orthogonal basis functions defined on a computational grid. Any square-integrable function $f(x)$, defined on this grid, can be approximated as:*

$$f(x) \approx \sum_{n=1}^N c_n \phi_n(x),$$



where c_n are coefficients determined by projecting f onto the basis functions ϕ_n .

The coefficients c_n are found by exploiting the orthogonality of the basis functions. For each basis function ϕ_n , the coefficient c_n is calculated using the inner product in the Hilbert space. Specifically,

$$c_n = \frac{\int_a^b f(x) \phi_n(x) dx}{\int_a^b \phi_n(x)^2 dx}$$

where the base is orthonormal in the interval (a, b) and the integrals are taken over the domain of $f(x)$. This orthogonality reduces computational complexity and ensures accuracy in the approximation of $f(x)$. The summation

$$f(x) \approx \sum_{n=1}^N c_n \phi_n(x),$$

converges to the function $f(x)$ in the limit as $N \rightarrow \infty$, providing an efficient spectral representation of the function on the computational grid.

A detailed exposition of this proof, along with comprehensive discussions on the underlying theoretical concepts, can be found in the book *Spectral Theory and Quantum Mechanics* by Valter Moretti Moretti (2013). This reference provides a profound insight into the spectral theory applied to quantum mechanics, which significantly enhances the understanding of the topics discussed herein.

2.3 Matrix of the hamiltonian

2.3.1 Representation and physical significance

The Hamiltonian in quantum physics is a fundamental concept representing the total energy of a quantum system and plays a central role in the Schrödinger equation.

Definition 2 (Hamiltonian operator). *In quantum mechanics, the Hamiltonian operator H represents the total energy of the system, combining kinetic T and potential V energies:*

$$H = T + V,$$

typically in the form:

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}),$$

where $\hbar$ is the reduced Planck constant, m the particle's mass, ∇^2 the Laplacian, and $V(\mathbf{r})$ the potential energy.

2.3.2 Management of non-zero values in hamiltonian matrix

Efficient handling of non-zero values in large, sparse Hamiltonian matrices is crucial in quantum computations.

Theorem 3 (Sparse matrix efficiency). *Utilizing sparse matrix storage and algorithms enhances the computational efficiency of large, sparse Hamiltonian matrices, reducing memory and computational time.*

For more details related to this last theorem, see Woywod et al. (2018). Consider a sparse Hamiltonian matrix H of size $N \times N$ with a sparsity pattern such that the number of non-zero elements is much less than N^2 . The goal is to demonstrate that sparse matrix techniques enhance computational efficiency.

Memory usage: In standard matrix storage, memory requirement is proportional to N^2 . For a sparse matrix, using formats like Compressed Sparse Row (CSR), the memory requirement is proportional to the number of non-zero elements. Let M be the number of non-zero elements, then memory usage in CSR format is approximately proportional to M , which is significantly less than N^2 for sparse matrices.

Computational time: Matrix operations such as multiplication or eigenvalue computation are more efficient in sparse format. In the CSR format, matrix-vector multiplication complexity is approximately $O(M)$, compared to $O(N^2)$ in dense format. For eigenvalue computations, algorithms like Lanczos method are optimized for sparse matrices, converging in fewer iterations than would be required for a full, dense matrix.

Thus, using sparse matrix techniques, both memory usage and computational time are reduced, enhancing overall computational efficiency, which is crucial in handling large-scale quantum systems.

2.4 Lanczos spectral method

2.4.1 Description of the Lanczos method

The Lanczos method is a powerful algorithm in numerical linear algebra, effective for eigenvalues and eigenvectors of large sparse matrices.

This iterative algorithm approximates the eigenvalues and eigenvectors of large sparse symmetric (or Hermitian) matrices, constructing an orthogonal basis for the Krylov subspace and reducing the problem to a smaller tridiagonal matrix.

Theorem 4 (Convergence of the Lanczos method). *The Lanczos method converges to accurate approximations of the largest and smallest eigenvalues and their corresponding eigenvectors in fewer iterations than the matrix dimension.*

The convergence involves the properties of the Krylov subspace and the orthogonality of Lanczos vectors. For detailed demonstration, see “Numerical Linear Algebra” by Trefethen and Bau Trefethen & Bau (1997).

2.4.2 Applications and advantages in eigenvalue calculation

The Lanczos method is useful in quantum physics, particularly for eigenvalues of the hydrogen atom’s Hamiltonian.

Proposition 1 (Benefits in quantum physics). *The Lanczos method offers a computationally efficient approach to the eigenvalue problem for the Hamiltonian in quantum physics, especially for large, sparse matrices.*

This method’s ability to accurately approximate eigenvalues and eigenvectors with reduced computational burden is advantageous for studying complex quantum systems.

Specifically, the Lanczos method, a cornerstone in the computational implementation of spectral theory, excels in its efficiency due to its precise manipulation of Krylov subspaces to project large, sparse matrices into tridiagonal form. This tridiagonalization is key to the method’s prowess, as it significantly simplifies the matrix structure, thereby streamlining the calculation of eigenvalues and eigenvectors which are central to spectral analysis. The refined focus on transforming the matrix to a tridiagonal matrix allows the use of optimized algorithms for eigenvalue computation, dramatically reducing the computational burden. Such efficiency is indispensable in spectral theory applications

where high-dimensional data and large matrix sizes are common, providing a robust, scalable solution that enhances computational feasibility without compromising the accuracy essential for quantum mechanics and other physics-related fields.



2.5 Recent advances and current challenges

2.5.1 Advances in the study of the hydrogen atom

Recent advancements in the study of the hydrogen atom have been influenced by developments in quantum chemical approaches and molecular spectroscopy.

2.5.2 Challenges and areas for improvement

Ongoing challenges in applying spectral methods to quantum systems include managing the complexity in large quantum systems. Further improvements in computational techniques are needed.

2.6 Mathematical and physical framework of the hydrogen atom

The Schrödinger equation is pivotal in quantum mechanics, providing profound insights into the behavior of quantum systems, particularly the hydrogen atom. This equation is represented as follows:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(\mathbf{r}) + V(\mathbf{r})\psi(\mathbf{r}) = E\psi(\mathbf{r}), \quad (1)$$

where:

- $\hbar$ denotes the reduced Planck constant.
- m represents the electron mass.
- ∇^2 symbolizes the Laplacian operator.
- $\psi(\mathbf{r})$ is the electron's wave function.
- $V(\mathbf{r})$ signifies the electric potential, particularly the Coulomb potential in a hydrogen atom.
- E is the total energy of the system.

The application of equation (1) to the hydrogen atom simplifies due to its spherical symmetry, enabling the separation of the wave function into radial and angular components. This aspect is thoroughly discussed in Griffiths' work on quantum mechanics Griffiths (2018).

2.6.1 Variable separation in the hydrogen atom

The unique symmetry of the hydrogen atom plays a critical role in the simplification of the Schrödinger equation. In quantum mechanics, the hydrogen atom is modeled as a single electron orbiting a stationary nucleus, giving rise to a spherically symmetric potential. This spherical symmetry allows for the separation of variables in the Schrödinger equation, a method that simplifies the complex three-dimensional problem into more manageable one-dimensional equations.

The separation of variables is achieved by expressing the electron's wave function, $\psi(\mathbf{r})$, as a product of two functions: one depending solely on the radial coordinate, $R(r)$, and the other on the angular coordinates, $Y(\theta, \phi)$. This is mathematically represented as:

$$\psi(\mathbf{r}) = R(r)Y(\theta, \phi).$$

Here, $R(r)$ describes how the wave function varies with distance from the nucleus, while $Y(\theta, \phi)$, typically represented by spherical harmonics, describes its variation with respect to the angular position. This separation significantly simplifies the computational analysis of the hydrogen atom, allowing for the detailed study of its energy levels and electron probability distributions, as elaborated in quantum physics literature Griffiths (2018).

2.6.2 Spectral numerical methods in quantum mechanics

The implementation of spectral numerical methods is crucial for solving the Schrödinger equation in a discrete domain. This approach includes the discretization of space and the application of methods such as Fourier Transforms or orthogonal polynomials to approximate wave functions and eigenvalues.

3. Numerical results and analysis

3.1 Radial mesh and Hamiltonian matrix analysis

The radial mesh, crucial for accurate quantum state representation, and the sparse nature of the Hamiltonian matrix are illustrated in Figures 1 and 2 respectively.

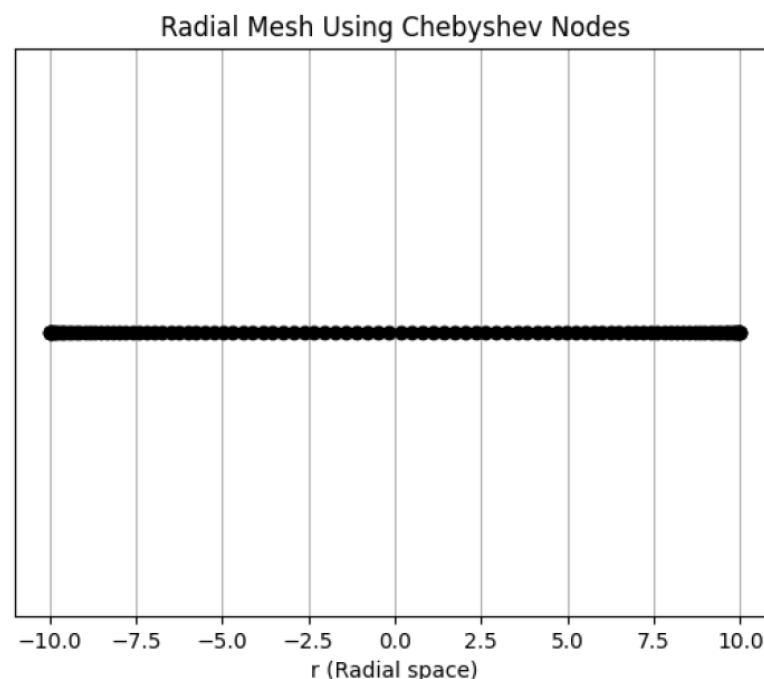


Figure 1. Radial mesh using Chebyshev nodes.



Figure 2. Non-zero values in the Hamiltonian matrix.

3.2 Application of the Lanczos Method

The Lanczos method was applied to the Hamiltonian matrix to calculate its eigenvalues and eigenvectors. The wave functions for the first three quantum states are shown in the following figures.

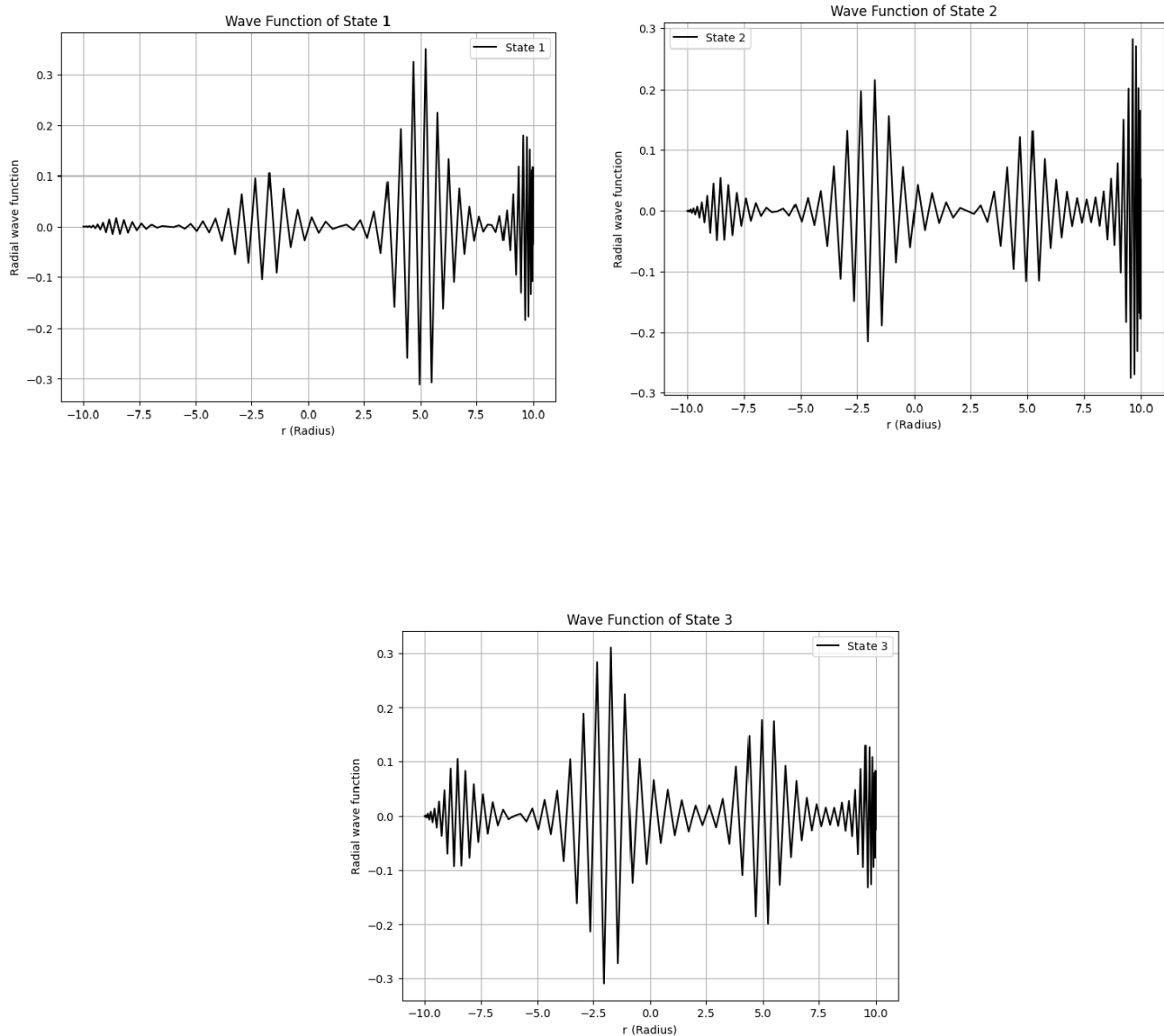


Figure 3. Wave functions of different quantum states.



The Lanczos method's application to the Hamiltonian matrix reveals significant insights into the quantum states of the system. Figure 3 (Wave function of state 1) illustrates the wave function for the first quantum state, characterized by a high probability density near the origin, aligning with the theoretical expectations for ground state behavior in quantum systems. This state represents the most stable configuration of the quantum system, having the lowest energy.

Moving to Figure 3 (Wave function of state 2), the wave function of the second state displays a single node, indicative of the first excited state. This nodal structure represents a zero probability region, a characteristic feature of quantum systems where the particle is never found. The increased radial distribution compared to the first state aligns with the higher energy level of this state.

Lastly, Figure 3 (Wave function of state 3) shows the third state, which exhibits two nodes, corresponding to the pattern of increasing nodes for higher energy levels. The spatial extent of the wave function, further from the origin, reflects the energy increase. These nodes provide deep insights into the spatial probability distribution of the quantum particle.

The Lanczos method effectively computes the eigenvalues and eigenvectors of the Hamiltonian matrix, revealing critical aspects of quantum state behaviors. The progression in the number of nodes and spatial extent of the wave functions across these states offers a clear visualization of quantum mechanical principles and energy distribution in quantum systems.

3.3 Discussion

The Lanczos method's implementation, as applied to the Hamiltonian matrix for quantum systems, has yielded valuable insights into the spectral characteristics of atomic structures. The radial mesh visualization, shown in Figure 1, underscores the efficacy of using Chebyshev nodes for discretizing quantum systems, a method corroborated by Iacob (2014). The non-zero values of the Hamiltonian matrix, illustrated in Figure 2, reveal the sparse nature of quantum systems, aligning with the studies in spectral theory Reed & Simon (1980); Rudin (1991); Taylor & Lay (2005).

The eigenvalues and eigenvectors obtained through the Lanczos method, depicted in Figure 3, offer a deeper understanding of quantum states. The ground state, with its high probability density near the origin, reflects foundational principles in quantum mechanics Hnsch et al. (1979). The subsequent states, with their increasing nodes, align with the theoretical predictions of quantum mechanics for higher energy states Woywod et al. (2018). This aligns with the spectral theory's assertion on the behavior of linear operators in Hilbert spaces Conway (1990); Dunford & Schwartz (1958).

The progression of the wave functions' complexity with increasing quantum states serves as a vivid demonstration of the underlying quantum mechanics principles, as well as the mathematical intricacies captured by the Lanczos method Trefethen (1997); Trefethen & Bau (1997). These findings not only validate the method's computational efficiency but also its capability to reveal intricate details of quantum systems, offering a promising avenue for future research in quantum physics and spectral graph theory Vadhan (2023).

4. Conclusions

This research has successfully met its primary goal of developing an innovative computational approach to the spectral analysis of the hydrogen atom. Utilizing Python, the study combined radial discretization using Chebyshev nodes, efficient management of the Hamiltonian matrix's non-zero values, and the application of the Lanczos spectral method for eigenvalue calculations.

The implementation of a radial grid using Chebyshev nodes, demonstrated in Figure 1, effectively discretized the hydrogen atom. This approach provided a precise and efficient means to represent the quantum system, paving the way for more accurate computational analysis. Furthermore, the strategy developed for handling the non-zero values of the Hamiltonian matrix, as shown in Figure 2, optimized computational efficiency. This was crucial in managing the sparse nature of the matrix and aligns with current trends in spectral theory.

Most importantly, the application of the Lanczos spectral method, illustrated through the eigenvalues and eigenvectors in Figure ??, enabled a deeper understanding of the hydrogen atom's spectral properties. This method provided precise insights into the atom's energy levels and probability distributions, showcasing the effectiveness of this computational technique in quantum physics.

In conclusion, the project's findings significantly contribute to our knowledge of quantum systems' spectral characteristics. The successful integration of these computational methods not only validated the study's approach but also offers a promising direction for future research in quantum physics and spectral graph theory. This study underscores the potential of computational techniques in advancing our understanding of complex quantum phenomena.

5. Declaration of conflict of interest of the authors

The authors declare no conflict of interest.

6. Thanks

This work acknowledges the Mathematic degree program at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) for its unconditional support in carrying out this research.

7. References

Conway, J. B. (1990). *A course in functional analysis*. Springer-Verlag.

Dunford, N., & Schwartz, J. T. (1958). *Linear operators, part ii: Spectral theory*. Wiley Classics Library.

Griffiths, D. J. (2018). *Introduction to quantum mechanics* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Hansch, T. W., Schawlow, A. L., & Series, G. W. (1979). The spectrum of atomic hydrogen. *Scientific American*, 240(3), 94–111. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24965154>

Iacob, F. (2014). Spectral characterization of hydrogen-like atoms confined by oscillating systems. *Central European Journal of Physics*, 12(9), 628–636. doi: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.640310.2478/s11534-014-0496-1>

Moretti, V. (2013). *Spectral theory and quantum mechanics: With an introduction to the algebraic formulation* (Translated and extended version of the original Italian edition ed.; S. G. Chiossi, Trans.). Milan Heidelberg New York Dordrecht London: Springer-Verlag Italia, part of Springer Science+Business Media. Retrieved from www.springer.com (Original Italian edition: Springer-Verlag Italia 2010) doi: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.640310.1007/978-88-470-2835-7>

Reed, M., & Simon, B. (1980). *Methods of modern mathematical physics i: Functional analysis*. Academic Press.

Rudin, W. (1991). *Functional analysis*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.



Taylor, A. E., & Lay, D. C. (2005). *Introduction to functional analysis*. John Wiley and Sons.

Trefethen, L. N. (1997). *Spectral methods in matlab*. SIAM. Retrieved from <https://epubs.siam.org/doi/book/10.1137/1.9780898719598>

Trefethen, L. N., & Bau, D. I. (1997). *Numerical linear algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Vadhan, S. (2023). Cs229r: *Spectral graph theory in computer science*. <https://salil.seas.harvard.edu/courses/cs229r>.

Woywod, C., Roy, S., Maiti, K. S., & Ruud, K. (2018). An efficient pseudo-spectral method for the description of atomic electronic wave functions - application to the hydrogen atom in a uniform magnetic field. *Chemical Physics*, 515, 299–314. Retrieved from www.elsevier.com/locate/chemphys

Author Contributions

Autor	Contribución
César Daniel Reinoso Reinoso	Bibliographic search, design, writing and revision of the article.
Ramón Antonio Abancin Ospina	Conception, Methodology, Analysis, review and writing of the article.

A. APPENDIX

A.1 Python mode for Lanczos method and analysis

Listing 1: Python code for implementing the Lanczos method and plotting wave functions.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def lanczos_method(A, k):
    """
    Implements the Lanczos method to compute eigenvalues and
    eigenvectors
    of a symmetric matrix A.

    Parameters:
        A (ndarray): The symmetric matrix from which to compute
            eigenvalues and eigenvectors.
        k (int): The number of iterations to perform, which determines
            the size of the
            tridiagonal matrix and the accuracy of the
            approximation.

    Returns:
        tuple: Eigenvalues and eigenvectors of the tridiagonal matrix
            as approximations
            to the eigenvalues and eigenvectors of matrix A.
    """
    n = A.shape[0] # Size of the matrix
    Q = np.zeros((n, k)) # Initialize the matrix to store basis
        vectors
    alpha = np.zeros(k) # Diagonal elements of the tridiagonal matrix
    beta = np.zeros(k-1) # Off-diagonal elements of the tridiagonal
        matrix
    q = np.random.rand(n) # Start with a random vector
    q /= np.linalg.norm(q) # Normalize the vector
    Q[:, 0] = q # Set the first column of Q

    for j in range(1, k):
        v = A @ Q[:, j-1] # Matrix-vector multiplication
        alpha[j-1] = Q[:, j-1].T @ v # Compute the diagonal element
        v -= Q[:, j-1] * alpha[j-1] # Orthogonalize against the
            previous vector
        if j > 1:
            v -= Q[:, j-2] * beta[j-2] # Orthogonalize against the
                second last vector
        if j < k-1:
            beta[j-1] = np.linalg.norm(v) # Compute the norm of v
            if beta[j-1] != 0: # Avoid division by zero
                Q[:, j] = v / beta[j-1] # Normalize and add to Q

    T = np.diag(alpha) + np.diag(beta, -1) + np.diag(beta, 1) #
        Construct tridiagonal matrix
```



```
return np.linalg.eig(T) # Return eigenvalues and eigenvectors of
                        T

# Initial configuration
n = 100 # Number of Chebyshev polynomials to use
L = 10  # Range of the radial space

# Create the radial mesh using Chebyshev nodes
r = np.cos(np.pi * (np.arange(n) + 0.5) / n) * L
dr = np.min(np.diff(r)) # Minimum radial spacing

# Create the Hamiltonian matrix
H = np.zeros((n, n))

# Coulomb potential
V = -1 / r

# Fill the Hamiltonian matrix using finite difference approximation
for i in range(1, n - 1):
    H[i, i - 1] = H[i, i + 1] = 1 / (dr**2)
    H[i, i] = -2 / (dr**2) + V[i]

# Adjust boundary conditions
H[0, 0] = H[-1, -1] = 1

# Number of iterations for Lanczos method equal to the matrix size
k = n # 100 in this case

# Calculate eigenvalues and eigenvectors using the Lanczos method
eigenvalues_lanczos, eigenvectors_lanczos = lanczos_method(H, k)

# Plot wave functions for the first three states
num_states = 3
for i in range(num_states):
    plt.figure(figsize=(8, 6))
    plt.plot(r, eigenvectors_lanczos[:, i], label=f'State_{i+1}',
             color='black')
    plt.xlabel("r (Radius)")
    plt.ylabel("Radial wave function")
    plt.title(f"Wave Function of State_{i+1}")
    plt.legend()
    plt.grid(True)
    plt.show()
```



INVESTIGAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATOS E NITRITOS EM EMBUTIDOS POR MEIO DA REVISÃO DA LITERATURA

INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION OF NITRATES AND NITRITES IN SAUSAGES THROUGH A LITERATURE REVIEW

INVESTIGACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS Y NITRITOS EN SALCHICHAS MEDIANTE UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Autor

- ✉ ¹André Luis Pereira Fontoura
- ✉ ²*Geilson Rodrigues Da Silva
- ✉ ³Hygor Rodrigues de Oliveira

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul-Câmpus Coxim. Brasil. Email: andrepereira1972@gmail.com

²Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: geilsonrodrigues367@gmail.com

³Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

* Autor para correspondencia.

Editor Académico

Juan Antonio Dueñas Utreras 

Citación sugerida: Fontoura, A., da Silva, G., de Oliveira, H. (2024). INVESTIGAÇÃO DE NITRATOS E NITRITOS EM EMBUTIDOS POR MEIO DA REVISÃO DA LITERATURA. Revista Bases de la Ciencia, 9(1), 29-38. DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.6836>

Recibido: 13/01/2024
Aceptado: 22/04/2024
Publicado: 30/04/2024

Resumo

 Devido a rotina da vida moderna no qual as pessoas têm pouco tempo para o preparo das refeições, os embutidos vêm ganhando destaque entre os produtos alimentícios pelo fato de sua praticidade no preparo. Aditivos como nitrato e nitrito de sódio ou de potássio, são utilizados em grande escala pelas indústrias alimentícias no processo de fabricação dos embutidos para atribuir ao produto uma coloração vermelha, aroma e sabor, dando um aspecto de produto fresco ao alimento mesmo após meses da sua fabricação, além de atuar como conservante. Este trabalho tem por objetivo realizar uma revisão na literatura em busca de artigos científicos e teses que abordem sobre a determinação de nitratos e nitritos em embutidos referentes aos anos de 2009 a 2019. Dos 20 artigos selecionados para análise apenas nove (45%) dos estudos realizados apresentaram resultados satisfatórios respeitando assim os valores estabelecidos pela legislação brasileira. Por outro lado onze (55%) dos trabalhos apresentaram resultados com valores acima do permitido pela legislação. Com isso podemos observar que os embutidos comercializados no Brasil ainda apresentam falhas tanto na produção quanto na fiscalização realizada pelo Serviço de Inspeção Sanitária. Após a análise dos resultados encontrados nos estudos é importante que a sociedade em geral tenha conhecimento da gravidade e das consequências que o uso em excesso dos embutidos pode causar na saúde.

Palavras-Chave: Aditivos, Embutidos, Nitrato, Nitrito.

Abstract

Due to the routine of modern life in which people have little time to prepare meals, sausages have been gaining prominence among food products due to their practicality in preparation. Additives such as sodium or potassium nitrate and nitrite are used on a large scale by the food industry in the manufacturing process of sausages to give the product a red color, aroma and flavor, giving the food a fresh appearance even months after its manufacture, as well as acting as a preservative. The aim of this work is to conduct a literature review in search of scientific articles and theses on the determination of nitrates and nitrites in sausages from 2009 to 2019. Of the 20 articles selected for analysis, only nine (45%) of the studies presented satisfactory results, thus respecting the values established by Brazilian legislation. On the other hand, eleven (55%) of the studies showed results with values above those permitted by law. As a result, we can see that the sausages marketed in Brazil still have shortcomings both in production and in the inspection carried out by the Health Inspection Service. After analyzing the results found in the studies, it is important that society in general is aware of the seriousness and consequences that the excessive use of sausages can have on health, with the hope that there will be a reduction in the consumption of these foods due to the excessive and uncontrolled use of nitrates and nitrites.

Keywords: Additives, Sausages, Nitrate, Nitrite.

Resumen

Debido a la rutina de la vida moderna en la que la gente tiene poco tiempo para preparar las comidas, los embutidos han ido ganando protagonismo entre los productos alimenticios por su practicidad en la preparación. Aditivos como el nitrato sódico o potásico y el nitrito son utilizados a gran escala por la industria alimentaria en el proceso de fabricación de embutidos para conferir al producto un color rojo, aroma y sabor, dando al alimento un aspecto fresco incluso meses después de su fabricación, además de actuar como conservante. El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica en busca de artículos científicos y tesis sobre la determinación de nitratos y nitritos en embutidos desde 2009 hasta 2019. De los 20 artículos seleccionados para el análisis, sólo nueve (45%) de los estudios presentaron resultados satisfactorios, respetando así los valores establecidos por la legislación brasileña. Por otro lado, once (55%) de los estudios presentaron resultados con valores superiores a los permitidos por la legislación. Como resultado, podemos observar que los embutidos comercializados en Brasil aún presentan fallas tanto en la producción como en la inspección realizada por el Servicio de Inspección Sanitaria. Tras analizar los resultados encontrados en los estudios, es importante que la sociedad en general sea consciente de la gravedad y las consecuencias que puede tener para la salud el consumo excesivo de embutidos, con la esperanza de que se reduzca el consumo de estos alimentos por el uso excesivo e incontrolado de nitratos y nitritos.

Keywords: Additives, Sausages, Nitrate, Nitrite.





INTRODUÇÃO

A globalização e o avanço tecnológico propiciaram as pessoas consumirem cada vez mais produtos de fácil preparo. Devido a essa nova rotina da vida moderna, onde falta tempo para preparar as refeições, as indústrias alimentícias têm se empenhado cada vez mais em desenvolver e produzir alimentos que simplifiquem o seu preparo, de modo a tornar a vida do consumidor cada vez mais prática, nessa correria do dia a dia (FERREIRA et al., 2017).

Os produtos alimentícios industrializados como os embutidos vêm ganhando espaço no mercado de alimentos. Estão ficando mais práticos, pelo fato de já virem preparados ou semipreparados. Restando apenas ao consumidor, o trabalho de retirá-los da embalagem, e aquecer no micro-ondas. Outro ponto que também chama atenção nos alimentos industrializados é o fato de possuírem tempo de validade muito superior aos alimentos “in natura”, facilitando que sejam estocados, ou seja, os alimentos industrializados como os embutidos vem como opção para facilitar a vida agitada das pessoas (BATTISTELLA, 2008).

As carnes apresentam tempo de validade curto, por isso são consideradas perecíveis devido ao seu alto teor de água e a maneira que ela é preparada. A produção de embutidos proporcionou um aumento no tempo de validade desse alimento, dessa forma foi possível diversificar a oferta de seus derivados, utilizando diversos processos e tecnologias que auxiliam na conservação da carne retardando a ação das bactérias na deterioração da mesma e mantendo a qualidade do produto (CARTAXO, 2015; OLIVEIRA et al., 2017).

Essa maior durabilidade que apresenta os embutidos, se deve a forma de como são preparados e também da adição de aditivos alimentares que tem por finalidade conservar o alimento. Esses aditivos, além de conferir uma coloração vermelha aroma e sabor ao produto têm como função principal atuar como inibidores ao produto. Apresentando um aspecto de produto fresco ao alimento mesmo após meses da sua fabricação, atuando como inibidor de possíveis alterações desagradáveis além de agir como conservante, contra o crescimento e reprodução de microrganismos como a toxina do *Clostridium botulinum* que é responsável pela produção de toxinas botulínicas (FERREIRA et al., 2017).

No entanto apesar de toda as vantagens obtidas por meio da adição desses aditivos para a conservação de alimentos cárneos como os embutidos, vários trabalhos científicos têm comprovado potenciais riscos à saúde dos consumidores, devido a ingestão de alimentos que contenham teores em excesso de nitrato e nitrito (DAGUER, 2011; OLIVEIRA et al., 2017). Isso se deve à capacidade que o nitrito tem de poder formar compostos chamados de N-nitrosos, que são criados a partir de uma característica que o nitrito possui de poder reagir tanto com aminas e amidas secundárias e terciárias formando assim as nitrosaminas e nitrosamidas que são compostos que possuem potencial cancerígeno (CUNHA, 2019). Por estes fatos apresentados que o presente trabalho tem por objetivo analisar e discutir estudos encontrados na literatura referentes a determinação de nitrato e nitrito de sódio e de potássio utilizando na conservação em embutidos realizados entre os anos de 2009 a 2019.

A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE NITRATO E O NITRITO

A utilização de aditivos como o nitrato e o nitrito de sódio ou potássio está há várias décadas chamando a atenção das autoridades de diversos países, isso porque produtos cárneos como os embutidos que utilizam esses aditivos como conservantes podem apresentar em sua composição nitrosaminas e nitrosamidas que possuem potencial cancerígeno, isso ocorre devido a uma reação natural que acontece tanto nos alimentos como no organismo, fazendo com que haja a redução do nitrato a nitrito, transformando-o em ácido nitroso que pode reagir tanto com aminas e amidas secundárias e terciárias presentes nos produtos cárneos (ADAMI, 2015; CARTAXO, 2015).

O nitrito passou a ser utilizado em grande escala na fabricação de embutidos, após descobrirem sua eficácia na conservação de produtos cárneos no início do século 20. Porém logo começaram a surgir relatos de pessoas na Alemanha em 1930 que morreram após consumirem alimentos cárneos que foram fabricados utilizando o aditivo como conservante. Com isso o governo da Alemanha se viu obrigado a criar leis específicas em relação ao uso de aditivos em produtos cárneos no país, essa legislação logo foi seguida e utilizada pelos outros países da Europa (HONIKEL, 2008, apud OLIVEIRA et al., 2017).

A legislação brasileira permitiu até o ano de 1998 a utilização de nitrito e nitrato com limites de até 200 mg/Kg e 500 mg/Kg

Kg respectivamente, no entanto a Portaria nº 1.004, de 11 de dezembro de 1998, reduziu esses valores para 150 mg/kg o nitrito e 300 mg/kg o nitrato, porém a soma de ambos os aditivos, determinados como resíduo máximo, não pode ser superior a 150 mg/kg, expresso como nitrito de sódio (BRASIL, 1998).

Atualmente a legislação mais recente é a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 272, de 14 de Março de 2019. No entanto nada muda em relação aos limites máximos estabelecidos para o uso de nitrato e nitrito sendo mantidos os valores em 0,015 g/100g para o nitrito de sódio e de 0,03 g/100g para o nitrato de sódio, permitindo a soma de ambos os aditivos, determinados como resíduo máximo, desde que os mesmos não excedam valor superior a 0,015g/100g, expresso como nitrito de sódio. Na legislação também é permitido o uso de antioxidantes como o ácido ascórbico em quantidade suficiente (*quantum satis*) que funcionam como inibidor impedindo que compostos N-nitrosos sejam formados (BRASIL, 2019).

METODOLOGIA

Essa pesquisa foi realizada por meio de uma revisão na literatura por meio do buscador do Google Acadêmico, visando identificar pesquisas que tivessem relação com a determinação de nitratos e nitritos em embutidos do tipo cárneos. Para isso foi pesquisado estudos em língua portuguesa buscando trabalhos que tratassem de nitratos e nitritos em embutidos no resumo, nas palavras-chave e quando não suficiente no corpo do texto para a identificação de trabalhos que remetesse aos nitratos e nitritos os trabalhos que não tinham relação direta foram excluídos da análise e esse escopo de trabalhos excluídos eram de 210 pesquisas. Após a conclusão das buscas foram selecionados 20 estudos publicados dentre trabalhos em atas de eventos, trabalhos de conclusão de curso, dissertação e teses entre os anos de 2009 a 2019 para serem analisados.

Foi observado se os produtos comercializados estão dentro dos limites estabelecidos respeitando assim a legislação do país, ou se estão em desacordo com os valores permitidos podendo ocasionar eventuais problemas a saúde do consumidor, demonstrando total falta de comprometimento e respeito por parte dos fabricantes.

Resultados

Como descrito na metodologia, o presente trabalho pesquisou e analisou artigos cujos temas tivessem relação com a determinação de nitratos e nitritos em embutidos do tipo cárneos, como por exemplo: linguiças, salsichas e presuntos.

De acordo com a legislação brasileira, é permitido o uso de nitrito e nitrato em produtos cárneos embutidos desde que estes não excedam a quantidade máxima de 0,015g/100g e 300 mg/Kg, respectivamente, ou quando a soma das concentrações desses aditivos não exceda o limite máximo estabelecido para ambos. Ou seja, quando estes aditivos estiverem presentes na mesma amostra a soma dos dois não deve exceder o valor de 0,015g/100g (150mg/kg) (BRASIL, 1998; BRASIL, 2006; BRASIL, 2019).

Paula et al., (2009), avaliaram o teor de nitrito em linguiças do tipo toscana, comercializadas na região de Franca - SP. Ao todo foram analisadas 6 amostras através da técnica analítica quantitativa utilizando a espectrofotometria (UV-Vis). Dentre as seis amostras analisadas, três apresentaram teor de nitrito acima do permitido pela legislação que é de 150 mg/Kg, sendo que uma das amostras apresentou teor de nitrito dez vezes acima do permitido. Outra amostra apresentou teor 7 vezes acima, com isso podemos observar que em 50% das amostras analisadas os limites estabelecidos por lei não foram respeitados (PAULA et al., 2009).

Na região metropolitana de Belo Horizonte - MG, no ano de 2010, Mendes, (2010), analisou 12 amostras de linguiças tipo calabresa, utilizando dois métodos analíticos para isso, a fim de comparar os resultados e a eficácia de ambos os métodos, as técnicas utilizadas foram a espectrofotometria (UV-Vis) e a eletroforese capilar. Todas as amostras analisadas apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos por lei, respeitando assim a legislação (MENDES, 2010).

No entanto, em um trabalho publicado em 2011, Daguer et al., (2011), analisaram 125 amostras de diversos tipos de embutidos coletados em estabelecimentos no estado do Paraná, afim de analisar os teores de nitrito, para isso foi utilizada a técnica da espectrofotometria (UV-Vis) baseada na reação de Griess-Ilosvay, onde foram observados valores acima do permitido pela legislação em 23 amostras, ou seja, 18,4%, os embutidos que tiveram teores acima do permitido foram linguiças frescas, linguiças tipo calabresa e salsicha. As linguiças frescas foram as que apresentaram maiores variações em relação ao teor de nitrito, de 43 amostras analisadas 20 estavam com limites acima do permitido pela legislação, apresentando também discrepância em relação aos teores encontrados variando de 3,7 mg/Kg até 1398,5 mg/Kg, quase dez vezes acima do limite estabelecido por lei.



Segundo Baú et al (2012), analisaram a qualidade das salsichas do tipo Viena comercializadas em estabelecimentos de três grandes cidades da região do Sudoeste do estado do Paraná, ao todo, foram coletadas 15 amostras para serem analisadas pela técnica da espectrofotometria (UV-vis), todas as amostras estavam dentro do limite estabelecido pela legislação, tanto para nitrito quanto para nitrato. No mesmo ano Rodrigues et al, analisaram a qualidade de linguças industrializadas e comercializadas em Salvador - BA e linguças artesanais produzidas no interior da Bahia e comercializadas também em Salvador. Utilizou-se a técnica analítica de espectrofotometria (UV-vis) para analisar 3 amostras de linguças industrializadas e 1 amostra de linguça artesanal, contudo todas as amostras apresentaram teores de nitrato e nitrito abaixo do permitido pela legislação, ou seja, estavam dentro do limite permitido para o consumo.

Resultado semelhante acontece em uma pesquisa de Carnicer et al (2013), ao analisarem 48 amostras de linguças frescas produzidas em 8 açougues na cidade de Lins - SP, afim de analisar o teor residual de nitrito presente nas amostras, utilizando para isso a técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis). Todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito abaixo do limite estabelecido pela legislação. No entanto, no mesmo ano Scheibler et al, analisaram os teores de nitratos e nitritos presentes em embutidos produzidos em 8 municípios na região do vale do taquari - RS. Para a análise das amostras, utilizou-se a técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis), onde observou-se que 6 das 16 amostras apresentaram teores de nitrato e nitrito acima do permitido pela legislação, ou seja 37,5% das amostras se apresentaram ser impróprias para o consumo, apresentando potencial risco a saúde.

Oliveira (2014), analisou os níveis de nitrito e nitrato presentes em embutidos cárneos consumidos no Brasil como a salsicha e a mortadela, todas as amostras foram adquiridas em supermercados em Araraquara - SP. A técnica utilizada para a determinação do nitrito foi a espectrofotometria (UV-Vis) já o nitrato foi determinado pela técnica de eletroforese capilar. Todas as amostras analisadas apresentaram valores dentro dos estabelecidos pela legislação, ou seja, seguras para o consumo. Já em outro estudo realizado por Duarte et al, no estado do Rio de Janeiro, foram analisadas também por espectrofotometria (UV-Vis) 30 amostras de linguças (tipo calabresa), das quais 5 apresentaram teor de nitrito acima do estabelecido pela legislação (DUARTE e CARRIJO, 2014).

Em um trabalho publicado em 2015, também foi encontrado valores acima do permitido por lei, Adami analisou os níveis de nitrito e nitrato presentes em linguças (tipo mistos e suínos), produzidas na região do Vale Taquari com inspeção Sanitária Municipal, utilizando para isso a técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis) segundo as metodologias analíticas oficiais previstas na Instrução Normativa nº 20, de 21 de julho de 1999, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Observou-se que das 33 amostras de linguças analisadas 30,3% apresentaram teores de nitrito e 69,7% de nitrato acima dos valores estabelecidos pela legislação (ADAMI, 2015).

No mesmo ano Perufo e Hoehne (2015), analisaram os teores de nitritos e nitratos presentes em salames (tipo colonial), produzidos e comercializados na serra gaúcha as margens da BR 470. Foram coletadas 10 amostras sendo 5 provenientes de agroindústrias familiares com inspeção sanitária municipal e cinco amostras provenientes de estabelecimentos sem inspeção. As análises foram realizadas por meio da espectrofotometria (UV-Vis), onde se observou que as 5 amostras comercializadas com inspeção sanitária municipal todas atenderam os limites estabelecidos por lei, no entanto nas outras cinco amostras sem inspeção, uma apresentou teor de nitrato acima do permitido pela legislação (PERUFO e HOEHNE 2015). Em 2015, um estudo realizado por Sipp (2015), analisou os níveis de nitrato e nitrito presentes em linguças do tipo colonial produzidas e comercializadas na região sudoeste do Paraná, foram coletadas cinco amostras, em três ocasiões totalizando 15 amostras, onde observou-se por meio da espectrofotometria (UV-Vis), que apenas uma amostra apresentou teor de nitrito residual dentro dos limites estabelecidos por lei.

Resultado bem diferente ao encontrado no ano de 2016, onde Araldi et al (2016), analisaram na região do Alto Vale do Rio do Peixe os teores de nitrito presentes em salames produzidos na região. Foram coletadas amostras de três marcas locais com inspeção estadual, ao todo foram analisadas nove amostras, sendo três lotes para cada marca. As análises foram realizadas por meio da espectrofotometria (UV-Vis), onde se constatou que todas as amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do permitido pela legislação. Também no mesmo ano Borges et al, analisaram o teor de nitrito em mortadelas comercializadas em Lusitânia-GO e Brasília-DF. Foram coletadas três amostras em supermercados de Lusitânia-GO e uma amostra em Brasília-DF, totalizando quatro amostras. Utilizou-se o método analítico de espectrofotometria (UV-

Vis) para analisar as amostras, os resultados obtidos apresentaram-se satisfatórios já que o teor de nitrito presente nas mortadelas estava de acordo com a legislação (BORGES et al., 2016).

No entanto em outro trabalho publicado no ano de 2016 Hentges et al (2016), analisaram na Região do Vale do Taquari/RS as concentrações de nitrato e nitrito em salsichas comercializadas na região sul do Brasil. Através da técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis) foram analisadas 72 amostras de salsichas, destas 29 (40,3%) apresentaram teor de nitrito acima do permitido e 36 (50%), ou seja, a metade das amostras apresentaram valores de nitrato acima do estabelecido pela legislação. Resultado semelhante foi encontrado em um estudo publicado no mesmo ano, Sousa et al, (2016) também encontraram valores acima dos permitidos pela legislação em embutidos comercializados em Picos-PI, no caso linguiça calabresa. Para análise foi utilizada a técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis), foram utilizadas quatro amostras para o estudo e todas apresentaram valores acima do permitido.

No ano de 2017, Lírio et al (2017), analisaram o teor de nitritos presentes em salsichas comercializadas em Macaé-RJ, através da técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis), os resultados apresentados foram satisfatórios pois todas as amostras atenderam os limites estabelecidos pela legislação. Já em outro estudo realizado no mesmo ano por Oliveira et al, (2017), para determinar o teor de nitrito em embutidos comercializados em Avaré no estado de São Paulo, constatou que dos três tipos de embutidos analisados (mortadelas, salsichas e linguiças frescas) pelo método espectrofotométrico a 540 nm, duas marcas de três analisadas de linguiças frescas apresentaram teor de nitrito acima do permitido pela legislação.

Em um trabalho publicado em 2019, Cunha (2019), analisou o teor de nitrito presente em amostras de presuntos comercializados em Natal-RN pela técnica analítica de espectrofotometria (UV-Vis), onde se constatou que todas as amostras analisadas se apresentaram com níveis de nitrito abaixo do recomendado, respeitando assim os limites estabelecidos pela legislação. No entanto, em outro trabalho publicado no mesmo ano Miguel et al, (2019), analisaram o teor de nitrito presentes em amostras de linguiças do tipo frescal comercializadas na cidade de Campo Grande-MS, através da espectrofotometria (UV-Vis), foram analisadas 15 amostras e observou-se que em três dessas foi encontrado teor de nitrito acima do permitido pela legislação.

Como descrito nos artigos acima podemos observar os resultados obtidos entre os anos de 2009 a 2019 de estudos relacionados com os teores de nitratos e nitritos presentes em diferentes tipos de embutidos como (linguiças, mortadelas, salsichas, salames e presuntos) comercializados e produzidos em várias regiões do país. A técnica e a espécie analisada em cada um dos estudos podem ser melhor observadas no quadro 1.

Quadro 1: Técnicas utilizadas nos artigos para a determinação de nitrato e nitrito.

TÉCNICA	ESPÉCIE	REFERÊNCIA
Espectrofotometria (UV-Vis)	$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$	BAÚ <i>et al.</i> , 2012; RODRIGUES <i>et al.</i> , 2012; SCHEIBLER <i>et al.</i> , 2013; ADAMI, 2015; PERUFO <i>et al.</i> , 2015; SIPP, 2015; HENTGES <i>et al.</i> , 2016; SOUSA <i>et al.</i> , 2016.
	NO_2^-	PAULA <i>et al.</i> , 2009; MENDES, 2010; DAGUER <i>et al.</i> , 2011; CARNICER <i>et al.</i> , 2013; DUARTE e CARRIJO, 2014; OLIVEIRA, 2014; ARALDI <i>et al.</i> , 2016; BORGES <i>et al.</i> , 2016; LÍRIO <i>et al.</i> , 2017; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2017; CUNHA, 2019; MIGUEL <i>et al.</i> , 2019.
Eletroforese capilar	NO_3^-	OLIVEIRA, 2014.
	NO_2^-	MENDES, 2010.

Fonte: Elaborado pelos autores.

DISCUSSÕES

Por meio do quadro 2, é possível observar na maior parte dos estudos foram utilizados como método analítico para se determinar os íons nitrato e nitrito a espectrofotometria (UV-Vis), isso por que ela é o método oficial utilizado para a determinação de nitrato e nitrito em produtos cárneos de acordo com a Instrução Normativa nº 20, de 21 de julho de 1999, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 1999). Apenas dois estudos não utilizaram somente esta técnica para análise, foram eles (Oliveira, 2014) que utilizou a espectrofotometria (UV-Vis) para determinar



o teor de nitrito e a Eletroforese capilar para se determinar o teor de nitrato. Outro ponto importante que destacamos são em relação as regiões do Brasil onde os mesmos foram realizados. Conforme disponível na figura 1.

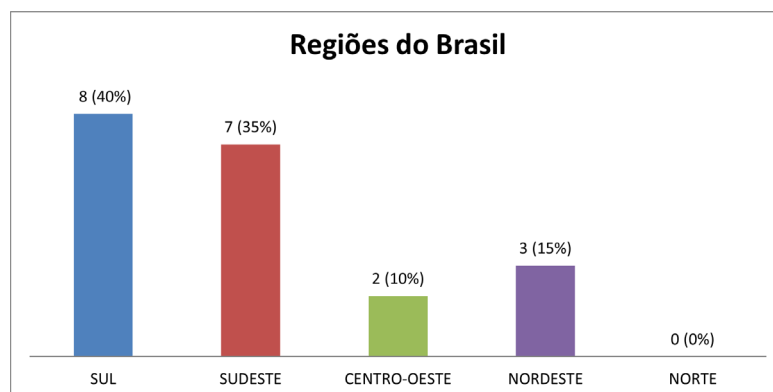


Figura 1: Estudos relacionados a determinação de nitrito e nitrato divididos por regiões do Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nas informações da figura 1 podemos observar que a região do Brasil onde mais foram realizados estudos com base na quantificação de nitrito e nitrato em embutidos foi a região Sul com oito estudos, seguida da região Sudeste com sete, Nordeste com três e Centro-Oeste com dois. A região Norte por outro lado não teve nenhum estudo relacionado ao tema.

Por meio da análise dos estudos é possível observar com base nas informações apresentadas, que a maior parte das pesquisas não respeitaram os níveis de nitrato e (ou) nitrito estabelecidos pela legislação vigente no país. Os resultados podem observados na tabela 1.

Tabela 1: Análise do teor de nitrato e nitrito referente aos resultados apresentados nos artigos selecionados.

Estudos realizados (2009-2019)	
Teor de $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ (Fora do limite permitido pela legislação brasileira)	Teor de $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ (Dentro do limite permitido pela legislação brasileira)
PAULA <i>et al.</i> , 2009; DAGUER <i>et al.</i> , 2011; SCHEIBLER <i>et al.</i> , 2013; DUARTE <i>et al.</i> , 2014; ADAMI, 2015; PERUFO <i>et al.</i> , 2015; SIPP, 2015; HENTGES <i>et al.</i> , 2016; SOUSA <i>et al.</i> , 2016; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2017; MIGUEL <i>et al.</i> , 2019.	MENDES, 2010; BAÚ <i>et al.</i> , 2012; RODRIGUES <i>et al.</i> , 2012; CARNICER <i>et al.</i> , 2013; OLIVEIRA, 2014; ARALDI <i>et al.</i> , 2016; BORGES <i>et al.</i> , 2016; LÍRIO <i>et al.</i> , 2017; CUNHA, 2019.
Total: 11 (55%)	Total: 9 (45%)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dos 20 artigos selecionados para análise apenas nove (45%) dos estudos realizados apresentaram resultados satisfatórios respeitando assim os valores estabelecidos pela legislação brasileira. Por outro lado, onze (55%) dos trabalhos apresentaram resultados com valores acima do permitido pela legislação. Com isso podemos observar que os embutidos comercializados no Brasil ainda apresentam falhas tanto na produção quanto na fiscalização realizada pelo Serviço de Inspeção Sanitária. Isso é preocupante, pois o consumo elevado desses aditivos pode apresentar riscos a saúde, em 2015 a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou um relatório afirmando que os consumos de embutidos aumentam o risco nos humanos de desenvolver câncer no intestino, com isso os embutidos entraram na lista negra da OMS como produtos cancerígenos, juntamente com o tabaco, fumaça de óleo diesel e amianto (INCA, 2018).

CONCLUSÕES

Mais da metade dos trabalhos analisados buscados na literatura entre os anos de 2009 a 2019 foram encontrados teores acima do permitido pela legislação de nitrato e nitrito, o que demonstra que vários dos produtores de embutidos no Brasil infelizmente ainda não conseguiram desenvolver uma técnica de controle eficiente, que possa fazer com que os mesmos respeitem e mantenham os níveis desses aditivos dentro dos valores estabelecidos por lei.

Dentre os trabalhos analisados não foi encontrado nenhum trabalho realizado na região norte do Brasil, o que causa preocupação já que se trata da maior região territorial do país, de áreas remotas e de difícil acesso para a fiscalização dos órgãos competentes e também devido a importância do tema, já que esse tipo de pesquisa além de informar e familiarizar a sociedade sobre o assunto também funciona como uma forma de fiscalizar os produtores de embutidos em geral. Isso aponta para a necessidade de realizar pesquisas futuras nessa região do Brasil.

Após a análise dos resultados encontrados nos estudos é importante que a sociedade em geral tenha conhecimento da gravidade e das consequências que o uso em excesso dos embutidos pode causar na saúde, com isso espera-se que haja uma diminuição no consumo desses alimentos em virtude ao uso excessivo e descontrolado de nitratos e nitritos.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES DOS AUTORES

Os autores declaram não ter conflitos de interesses.

REFERÊNCIAS

- Adami, F. S.; (2015). *Teor de nitrato e nitrito e análise microbiológica em linguiças e queijos*. Tese em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, SC. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/985/1/2015FernandaSchererAdami.pdf>. Acesso em 19/07/2019.
- Araldi, E. Z.; Moreira, J.; Mazurek, L.; Araldi, L.; Zago.; Ariotti, A. P.; Soares, F. A, S De Martini. (2016). Estudo das Condições Microbiológicas e Teores de Nitrito em Salames Produzidos no Alto Vale do Rio do Peixe – Santa Catarina, Brasil. *Evidência, Joaçaba* 2, 131-146, recuperado em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6910999>. Acesso em 19/07/2019.
- Battistella, P. M, D. (2008). *Análise de sobrevivência aplicada à estimativa da vida de prateleira de salsicha*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis-SC. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92035/264164.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 19/07/2019.
- Brasil. (1998). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 1.004, de 11 de dezembro de 1998 que dispõe sobre o Regulamento Técnico: “*Atribuição de Função de Aditivos, Aditivos e seus Limites Máximos de uso para a Categoria 8 - Carne e Produtos Carneos*”. (Republicada no DOU. DE 22/03/99). Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/Portaria+n%C2%BA+1004%2C+de+11+de+dezembro+de+1998.pdf/41e1bc8f-b276-4022-9afb-ff0bb3c12c0c>. Acesso em 19/07/2019.
- Brasil. (1999). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 20 de 21 de julho de 1999. *Oficializa os métodos analíticos físico-químicos para controle de produtos cárneos e seus ingredientes – sal e salmoura*. Disponível em: http://www.engetecno.com.br/port/legislacao/geral_met_an_prod_carneos.html. Acesso em 19/07/2019.



- Brasil. (2006). Instrução Normativa MAPA nº 51 de 29/12/2006. Norma Federal - Publicado no DO em 04 de janeiro 2007. *Adota o Regulamento Técnico de Atribuição de Aditivos, e seus Limites das Categorias de Alimentos que especifica*. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-51-2006_76049.html.
- Brasil. (2019). *Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 272, de 14 de Março de 2019 que estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos*. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/67378977/do1-2019-03-18-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-272-de-14-de-marco-de-2019-67378770 . Acesso em 29/07/2019.
- Baú, T, R.; Dias, C, De Abreu.; Alfaro, A, Da Trindade. (2012). Avaliação da qualidade química e microbiológica de salsichas tipo Viena. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. 1, 207-10. Recuperado em: <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/rial/v71n1/v71n1a32.pdf> . Acesso em 29/07/2019.
- Borges, A, Dos S; Sá, P, F, G.; de. (2016). Investigação do teor de nitrito em amostras de mortadelas comercializadas em Luziânia-GO e Brasília-DF. *J Health Sci Inst*. 3, 173-176. Recuperado em: <https://repositorio.unip.br/journal-of-the-health-sciences-institute-revista-do-instituto-de-ciencias-da-saude/investigacao-do-teor-de-nitrito-em-amostras-de-mortadelas-comercializadas-em-luziania-go-e-brasilia-df/>. Acesso em 29/07/2019.
- Carnicer, A.; Oliveira, A, P, De; Amaral, J.; De F, Do; Andrioli, L, G, R.(2013). *Monitoramento dos Níveis de Nitrito Encontrados em Linguiças Artesanais Comercializadas em Lins/SP*. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Química (Monografia) - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UNISALESIANO, Lins, São Paulo, 2013. Disponível em :<http://www.unisalesiano.edu.br/biblioteca/monografias/56279.pdf> . Acesso em 29/07/2019.
- Cartaxo, J, L,da S.; (2015). *Riscos associados aos níveis de nitritos em alimentos: uma revisão*. Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/936/1/JLSC18052015.pdf> . Acesso em 29/07/2019.
- Cunha, A, C, M.; da. (2019). Quantificação de Nitrito de Sódio em Amostras de Presunto. – Trabalho de Conclusão de Curso do Departamento de Farmácia, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/9494/3/QUANTIFICA%20c3%87%20c3%83ONITRITO_CUNHA_2019.pdf . Acesso em 29/07/2019.
- Daguer, H.; Silva, H, D.; Higashiyama, E, T.; Zanette, C, M.; Bersot, L dos S.; (2011). Qualidade de produtos cárneos fabricados sob inspeção federal no estado do Paraná. *Ciência Animal Brasileira*, 2, 359-364, recuperado em: <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/8136/9264>. Acesso em 29/07/2019.
- Duarte, M, T.; Carrijo, K, De F. (2014). Quantificação do Teor de Nitrito de Sódio Residual em Linguiças Cozidas Tipo Calabresa Comercializadas no Sul do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 19, 1606-1615. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/quantificacao%20do%20teor.pdf>. Acesso em 29/07/2019.
- Ferreira, S, R.; Dantas, R, H.; Bidola, Guili, B. (2017). Determinação do teor de nitrito em amostras de salsicha industrializada. *Saúde em revista..* n. 46, 29-34. Recuperado em: https://www.researchgate.net/publication/319299240_Determinacao_do_teor_de_nitrito_em_amostras_de_salsicha_industrializada/link/59cba3460f7e9bbfde3b67f4/download. Acesso em 29/07/2019.
- Hentges, D; Zart, N; Marmitt, L, ; Oliveira, E, Conceição; ADAMI, F, S. Concentrações de nitrito e nitrato em salsichas. *Revista Brasileira em Promoção da Saúde*, 1, 27-33. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/408/40846964005.pdf> Acesso em 29/07/2019..
- Inca, Instituto Nacional de Câncer. OMS classifica carnes processadas como cancerígenas. Disponível em: [https://www.inca.gov.br/noticias/oms-classifica-carne-processadas-como-cancerigenas#:~:text=O%20consumo%20de%20carne%20processada,segunda%20feira%20\(26\)](https://www.inca.gov.br/noticias/oms-classifica-carne-processadas-como-cancerigenas#:~:text=O%20consumo%20de%20carne%20processada,segunda%20feira%20(26)). Acesso em 29/07/2019.

- Lírio, T, F.; Brito, B, M. Da S.; Antunes, W, L. (2017). Avaliação dos Níveis de Nitrito em Salsichas Comercializadas na Cidade de Macaé/RJ. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana* n. 6, 10-14. Recuperado em: http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao6/FSMA_RESA_2017_2_02.pdf. Acesso em 29/07/2019
- Mendes, L, S, C.; (2010). *Comparação entre a Espectrofotometria e a Eletroforese Capilar para Determinação de Nitratos e Nitritos em Linguiça*. Dissertação de Mestrado em Medicina Veterinária. Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/VETD-8FB2KD/1/dissertacao_final_lucimere_2511.doc_lucimere_s_caldeira_mend.pdf. Acesso em 29/08/2019.
- Miguel, A, A, Da S; Soares, É, S, De M.; Duarte, M, T.; Gomes, M, De N, B.; Miyaki, S.; Gabarrão, A.; Gomes, C, E, S.; Ribeiro, B, F.; (2019). *Avaliação do Teor Residual de Nitrito de Sódio em Amostras de Linguiças do Tipo Frescal Comercializadas no Município de Campo Grande - MS, Brasil*. In: XII Mostra Científica FAMEZ & I Mostra Regional de Ciências Agrárias Campo Grande, MS. Disponível em: Universidade Federal de Mato do Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, 2019. < <https://famez.ufms.br/files/2019/12/AVALIA%C3%87%C3%83O-DO-TEOR-RESIDUAL-DE-NITRITO-DE-S%C3%93DIO-EM-AMOSTRAS-DE-LINGUI%C3%87AS-DO-TIPO-FRESCAL-COMERCIALIZADAS-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-CAMPO-GRANDE-MS-BRASIL-Aline-Miguel.pdf>. Acesso em 29/08/2019.
- Oliveira, E, M, D, de. Nitrito, Nitrito e Sorbato em Produtos Cárneos Consumidos no Brasil. (2014). Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Farmácia-Bioquímica da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124295/000834021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 29/08/2019.
- Oliveira, J, F, Da; Silva, U, R, Da; Pastore, V, A, A.; Azevedo, E, C, De; Campos, G, M, De; Silva, F, C, G, Da; Raghianti, F; Martins, O, A. (2017). Determinação espectrofotométrica de nitrito em produtos cárneos embutidos. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 1, 19-31. Recuperado em: <http://www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/view/377/1971>. Acesso em 29/08/2019.
- Paula, D, C, De; Frutuoso, J, R.; Santos, T, D; Pinheiro, A, L, B.; (2009). Investigação do Teor de Nitrito em Linguiças do Tipo Toscana, Comercializadas na Região de FRANCA-SP. *Revista Uniara*, n.2, 101-118. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/161>. Acesso em 29/08/2019.
- Pefuro, N, B, Hoehne, L. (2015). Análise de Sais de Cura em Salames Tipo Colonial Comercializados na Serra do Rio Grande do Sul. *Revista Destaques Acadêmicos*, 4, 193-201. Disponível em: univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/512/504. Acesso em 29/08/2019.
- Rodrigues, A, G; Santos, D, C, R.; Caldas, L, N.; C, F.; Santos, W, P, C, Dos; Lopes, M, V.; (2012). Qualidade físico-química de linguças artesanais produzidas na região metropolitana de Salvador, Bahia. Anais do VII- Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5278/1404>. Acesso em 29/08/2019.
- Scheibler, J, R.; Marchi, M, I.; Souza, C, F, V de. (2013). Análise dos Teores de Nitritos e Nitratos de Embutidos Produzidos em Municípios do Vale do Taquari-RS. *Revista Destaques Acadêmicos*, 4, 201-207, Recuperado em <http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/339/334>. Acesso em 29/08/2019.
- Sipp, M, D.; (2014). *Características Físico-Químicas e Qualidade Microbiológica de Linguiça Colonial Produzidas e Comercializadas na Região do Sudoeste do Paraná*. Monografia, apresentada ao Curso de Especialização em Gestão da Qualidade na Tecnologia de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Francisco Beltrão, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6937/1/FB_GQTA_2014_15.pdf. Acesso em 29/08/2019.
- Sousa, V, De S, C.; Teixeira, S, A.; Cardoso, B, V, S; Lima, L, H, G, De M. (2016). Quantificação de nitrato e nitrito utilizados em linguças tipo calabresa comercializadas em Picos-PI. *Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade*, 2, 55-67. Recuperado em: <http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=253&path%5B%5D=472>. Acesso em 29/08/2019.



Contribuições do autor

Autor	Contribuição
André Luis Pereira Fontoura	Coleta dos dados, análise dos dados e confecção dos artigos
Geilson Rodrigues Da Silva	Coleta dos dados, análise dos dados e confecção dos artigos
Hygor Rodrigues de Oliveira	Coleta dos dados, análise dos dados e confecção dos artigos



AVANCES EN GEOPOLÍMEROS REFORZADOS CON QUITINA: HACIA ALTERNATIVAS SOSTENIBLES AL CEMENTO PORTLAND

ADVANCES IN CHITIN-REINFORCED GEOPOLYMERS: TOWARDS SUSTAINABLE ALTERNATIVES TO PORTLAND CEMENT

AVANÇOS EM GEOPOLÍMEROS REFORÇADOS COM QUITINA: RUMO A ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS AO CIMENTO PORTLAND

Autor

- ✉ Hortencia Asanza^{1,*}
- ✉ Hacı Baykara²
- ✉ David Anzules³

¹Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas (FCNM), ESPOL Universidad Politécnica, Ecuador.

²Faculty of Mechanical Engineering and Production Science (FIMCP), ESPOL Polytechnic University, Guayaquil

³Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Ecuador

* Autor para correspondencia.

Editor Académico

Pedro Rivero Antúnez 

Citación sugerida: Asanza, H., Baykara, H., Anzules, D. (2024). ADVANCES IN CHITIN-REINFORCED GEOPOLYMERS: TOWARDS SUSTAINABLE ALTERNATIVES TO PORTLAND CEMENT. Revista Bases de la Ciencia, 9(1), 39-52. DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.6695

Recibido: 15/02/2024
Aceptado: 29/04/2024
Publicado: 30/04/2024

Resumen

 Este estudio evalúa los avances en geopolímeros reforzados con quitina como alternativas sostenibles al Cemento Portland Ordinario (CPO), con el objetivo de abordar los desafíos medioambientales asociados con la producción de CPO. Mediante la integración de metodologías de síntesis y caracterización de materiales compuestos, se investigó la incorporación de quitina derivada de fuentes biológicas en la matriz de geopolímeros. Los principales resultados muestran que la adición de quitina mejora las propiedades mecánicas, como la tenacidad y la durabilidad de los geopolímeros, además de reducir significativamente el impacto ambiental en comparación con el CPO tradicional. Las conclusiones destacan que los geopolímeros reforzados con quitina no solo ofrecen un rendimiento superior en términos de resistencia y sostenibilidad, sino que también representan una opción viable para la construcción verde, alineándose con las prácticas globales de reducción de emisiones y uso eficiente de recursos.

Palabras clave: geopolímeros, quitina, sostenibilidad, Cemento Portland

Abstract

This study evaluates advances in chitin-reinforced geopolymers as sustainable alternatives to Ordinary Portland Cement (OPC), with the objective of addressing the environmental challenges associated with OPC production. By integrating composite synthesis and characterization methodologies, the incorporation of chitin derived from biological sources into the geopolymer matrix was investigated. The main results show that the addition of chitin improves the mechanical properties, such as toughness and durability of the geopolymers, in addition to significantly reducing the environmental impact compared to traditional OPC. The findings highlight that chitin-reinforced geopolymers not only offer superior performance in terms of strength and sustainability, but also represent a viable option for green construction, aligning with global practices of emission reduction and resource efficiency.

Keywords: geopolymers, chitin, sustainability, Portland cement

Resumo

Este estudo avalia os avanços em geopolímeros reforçados com quitina como alternativas sustentáveis ao cimento Portland comum (OPC), com o objetivo de abordar os desafios ambientais associados à produção de OPC. Ao integrar metodologias de síntese e caracterização de materiais compostos, foi investigada a incorporação de quitina derivada de fontes biológicas na matriz do geopolímero. Os principais resultados mostram que a adição de quitina melhora as propriedades mecânicas, como a resistência e a durabilidade dos geopolímeros, além de reduzir significativamente o impacto ambiental em comparação com o OPC tradicional. As descobertas destacam que os geopolímeros reforçados com quitina não apenas oferecem desempenho superior em termos de resistência e sustentabilidade, mas também representam uma opção viável para a construção ecológica, alinhando-se às práticas globais de redução de emissões e eficiência de recursos.

Palavras chave: geopolímeros, quitina, sustentabilidade, cimento Portland





1. Introducción

Desde su patente en 1824 por Joseph Aspdin, el Cemento Portland Ordinario (CPO) ha sido fundamental en la industria de la construcción por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Sin embargo, la fabricación de CPO es intensiva en energía y genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), contribuyendo significativamente al cambio climático global (Peter Hewlett, 2003; Scrivener & Kirkpatrick, 2008). En respuesta a estos desafíos ambientales, la ciencia de materiales ha explorado alternativas más sostenibles. Los geopolímeros se destacan entre estas alternativas por su menor impacto ambiental y capacidad para utilizar materiales reciclados (Davidovits, 1994; Provis & Deventer, 2009).

A diferencia del CPO, los geopolímeros no requieren altas temperaturas durante su producción, lo que reduce tanto el consumo de energía como las emisiones de gases contaminantes. Estos materiales también ofrecen excelentes propiedades mecánicas y durabilidad frente a condiciones ambientales adversas, lo que los hace idóneos para aplicaciones en construcción civil y de infraestructuras (Duxson et al., 2007; McLellan et al., 2011).

Además, la quitina, un biopolímero derivado de exoesqueletos de artrópodos y otros organismos, ha emergido como un refuerzo potencial para los geopolímeros. Reconocida por su alta resistencia mecánica y biodegradabilidad, la quitina mejora significativamente las propiedades mecánicas y la sostenibilidad de los geopolímeros, proporcionando una solución ecológica y eficiente para el sector de la construcción (Ifuku & Saimoto, 2012; Rinaudo, 2006).

El propósito de este artículo es examinar los desarrollos recientes en geopolímeros reforzados con quitina, analizando cómo su incorporación no solo mejora las características del material, sino que también contribuye a un futuro más sostenible en la construcción. Este análisis incluirá una discusión sobre la viabilidad de los geopolímeros como una alternativa sostenible al CPO, con un enfoque específico en la mejora de las propiedades mecánicas y la reducción del impacto ambiental.

2. Preparación, caracterización de materiales sostenibles

2.1. Cemento Portland Ordinario (CPO)

2.1.1. Importancia del Cemento Portland Ordinario (CPO)

El Cemento Portland Ordinario (CPO) desempeña un papel crucial en la industria de la construcción. Su amplia utilización para la producción de hormigón y mortero lo hace indispensable en la creación de infraestructuras civiles, edificaciones, pavimentos, y otros elementos estructurales críticos (Habert, 2013). Su versatilidad y propiedades de endurecimiento garantizan la durabilidad y la seguridad estructural, aspectos esenciales en el desarrollo urbano y la ingeniería civil.

Además, los avances en la tecnología del cemento han llevado a investigaciones centradas en mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del CPO. Estudios recientes han explorado métodos para optimizar la mezcla de materiales y las técnicas de fabricación para reducir su impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética durante su producción (Nallive Yopez et al., 2012).

2.1.2. Impacto Ambiental del CPO

El CPO es también una fuente significativa de emisiones de CO_2 , contribuyendo entre el 5% y el 8% de las emisiones globales anualmente. Estas cifras resaltan la necesidad urgente de enfoques de construcción más sostenibles (EPA, 2021; Khaiyum et al., 2023). Las emisiones derivan principalmente de dos procesos industriales: la calcinación de la caliza (carbonato de calcio) para producir cal (óxido de calcio) y la fabricación de clínker, proceso que además requiere la quema de combustibles fósiles para alcanzar las temperaturas necesarias en los hornos de cemento (Andrew, 2021).

2.2. Geopolímeros como Alternativa Sostenible

2.2.1. Definición de geopolímero

Desde su introducción en 1978 por Joseph Davidovits, los geopolímeros han marcado un hito significativo en el campo de los materiales de construcción avanzados. Davidovits fue pionero al introducir el término “geopolímero”, explorando sus estructuras y aplicaciones potenciales, lo cual sentó las bases para futuras investigaciones (Davidovits, 1979).

Un cemento geopolímero es un aluminosilicato sintético que se solidifica a temperatura ambiente. Está formado por cadenas y redes tridimensionales extensas de átomos de silicio y aluminio unidos por oxígenos, que surgen de la reacción química entre materiales ricos en sílice y aluminio con soluciones alcalinas. A diferencia del cemento Portland tradicional, el cemento geopolímero se formula principalmente a partir de materias primas naturales mínimamente procesadas o subproductos industriales, lo que le otorga una reducida huella de carbono (Davidovits, 1994; Provis & Deventer, 2009). El gel geopolimérico resultante se solidifica en una estructura compacta y resistente, similar a la piedra, exhibiendo propiedades mecánicas superiores y una destacada resistencia a ambientes químicos adversos. Además, posee la capacidad de formar fuertes enlaces químicos con diferentes agregados a base de roca, consolidándose como una opción innovadora y sostenible en el mundo de la construcción (Davidovits, 2013).

Varios investigadores han explotado y revisado como materias primas esenciales para la producción de geopolímeros, en respuesta a los desafíos ambientales de gestión de residuos. Las materias primas naturales mencionadas y sus respectivos referentes son: caolín, metakaolín (Rashad, 2013), zeolita (Baykara et al., 2022; Nikolov et al., 2020; Ulloa et al., 2018), laterita (Rodrigue Kaze et al., 2021), ceniza volcánica (Djobo et al., 2017), ceniza de arroz, ceniza volante, entre otros. Estos materiales inorgánicos reaccionan con un activador alcalino, como una solución de silicato de sodio e hidróxido de sodio, para formar una matriz sólida con propiedades mecánicas y químicas deseables (Hardjito & Rangan, 2005).

2.2.2. Fundamentos de los Geopolímeros

Los geopolímeros son materiales inorgánicos formados por la reacción alcalina de materiales ricos en aluminosilicato como metacaolín o ceniza volante con soluciones alcalinas, generando un entramado tridimensional. Estos materiales no solo exhiben una excelente resistencia a la compresión y a la tracción, resistencia al fuego y durabilidad en ambientes ácidos, sino que su producción puede resultar en hasta un 80% menos de emisiones de CO₂ comparado con el CPO (Duxson et al., 2007; Provis & Van Deventer, 2014).

2.2.3. Propiedades de los Geopolímeros

Los geopolímeros han demostrado poseer propiedades mecánicas superiores a las del cemento Portland, incluyendo resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y durabilidad en ambientes agresivos. Estas propiedades se deben a la formación de enlaces químicos fuertes en la matriz geopolimérica, como los enlaces Si-O-Si y Al-O-Si, que contribuyen a la estructura tridimensional y a la resistencia del material (Davidovits, 1994; Van Riessen et al., 2009).

Las propiedades mecánicas de los geopolímeros compuestos de biopolímero, como la resistencia a la compresión y a la flexión, son aspectos clave para evaluar su idoneidad como materiales de construcción (Baykara et al., 2020a; Łach et al., 2021; Zhang & Wang, 2016). A continuación, se detalla información relevante sobre estas propiedades.

2.2.4. Mecanismos de Formación de Geopolímeros

La formación de geopolímeros implica una reacción de policondensación en estado sólido entre los precursores inorgánicos y el activador alcalino. Durante esta reacción, los grupos Si-O y Al-O en las materias primas minerales reaccionan con los iones alcalinos para formar enlaces de silicio-oxígeno-aluminio en la estructura del geopolímero. La cantidad de activador alcalino y la relación Si/Al influyen en la formación de la estructura geopolimérica y sus propiedades (Davidovits, 1991).

2.2.5. Aplicaciones de los Geopolímeros

Los geopolímeros, con su versatilidad y propiedades únicas, han sido adoptados en una variedad de sectores, desde la edificación de infraestructuras hasta la creación de materiales de revestimiento y matrices para compuestos avanzados. Además, su habilidad para contribuir en la remediación de suelos tóxicos destaca su relevancia en temas medioambientales. Su singularidad radica en su capacidad para incorporar materiales de desecho o subproductos industriales en su producción, lo que no solo minimiza su huella de carbono, sino que también los posiciona como una alternativa ecológica y sostenible en el panorama de los materiales modernos (Davidovits, 1991, 2013; Provis & Deventer, 2009).

2.2.6. Resistencia a la Compresión y a la flexión de los Geopolímeros

La resistencia a la compresión de los geopolímeros reforzados con quitina mostró un aumento significativo, mejorando de dos a tres veces en comparación con los geopolímeros no reforzados. Este aumento se atribuye principalmente a la reducción de la porosidad, que se redujo hasta en un 40% en los compuestos ricos en quitina (ASTM C 109, 2009; Łach et al., 2021).



Varios estudios han demostrado que la adición de biopolímeros, como la quitina, puede mejorar notablemente las propiedades mecánicas de los geopolímeros (ver Tabla 1). Los biopolímeros actúan como refuerzos, aumentando la capacidad de carga y mejorando la resistencia estructural del material. Este aumento en la resistencia se atribuye a la formación de enlaces adicionales entre la matriz geopolimérica y los biopolímeros, fortaleciendo así la estructura del material (Qin et al., 2021; Zhang & Wang, 2016).

Tabla 1. Estudio de Resistencia Mecánica.

Estudio	Mejora en Resistencia a la Compresión	Mejora en Resistencia a la Flexión
Cured cuttlebone/chitosan-heated clay composites: Microstructural T characterization and practical performances (Mourak et al., 2019)	Con el 5% hueso de sebio/ quitina: Incremento de 200%-300%	Incremento del 200%-300%
Insights into setting time, rheological and mechanical properties of chitin nanocrystals- and chitin nanofibers-cement paste (Haider, Jian, Zhong, et al., 2022)	Incrementa hasta un 12%	Incrementa hasta un 40%
Preparation, characterization, and evaluation of compressive strength of polypropylene fiber reinforced geopolymer mortars (Baykara et al., 2020)	Incremento del 125%, 50 MPa	Mejora significativa
Impact of chitin nanofibers and nanocrystals from waste shrimp shells on mechanical properties, setting time, and late-age hydration of mortar (Haider, Jian, Li, et al., 2022)	Hasta un 9% (7 días), 2.5% (28 días)	15% (7 días), 24% (28 días)
Portland cement concrete doped with chitosan: mechanical and microstructural properties (Da Silva et al., 2023)	34% (7 días), 7.5% (28 días)	14% (28 días)
Effect of chitosan on the mechanical properties and acid resistance of metakaolin-blast furnace slag-based geopolymers (T. Wang et al., 2023)	Con la adición de quitina hasta un 5%, alcanzó un máximo de 33.7 MPa. Mejorando hasta un 15%	Mejora de hasta un 25%
Mechanical Properties of Raffia Fibres Reinforced Geopolymer Composites (Korniejenko et al., 2018)	Mejora del 36.6%	Mejor del 22%
Experimental and Numerical Investigation of the Mechanical Properties of a Fiber-Reinforced Geopolymer Mortar (Chen et al., 2023)	Incremento del 8%	Incremento del 40.7%
Mechanical Properties of MiniBars™ Basalt Fiber-Reinforced Geopolymer Composites (Furtos et al., 2024)	Incremento en el módulo de flexión de 3.33–5.92 veces	Incremento de 11.59 – 25.97 veces

Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la flexión de los geopolímeros reforzados con quitina también presentó una mejora notable, incrementándose de dos a tres veces en comparación con los geopolímeros no reforzados. La incorporación de quitina facilitó la movilidad de iones y mejoró la reactividad de la illita, contribuyendo así a la formación de estructuras más resistentes (ASTM C 348, 2009; Łach et al., 2021).

La adición de biopolímeros puede mejorar la resistencia a la flexión de los geopolímeros al actuar como refuerzos dispersos en la matriz geopolimérica. Los biopolímeros pueden aumentar la tenacidad y la rigidez del material, lo que resulta en una mayor resistencia a la flexión (Acierno et al., 2022; Agumba et al., 2024; Baykara et al., 2017; Ebhodaghe & Ndibe, 2022). Además, la distribución uniforme de los biopolímeros en la matriz geopolimérica ayuda a dispersar las tensiones y prevenir la propagación de grietas, lo que contribuye a una mayor resistencia a la flexión (Ebhodaghe & Ndibe, 2022; Oh & Hwang, 2013).

Es importante mencionar que la resistencia a la compresión y a la flexión de los geopolímeros compuestos de biopolímero puede depender de varios factores, como la concentración y la distribución de los biopolímeros en la matriz, la relación líquido-sólido, el tipo y la dosificación de los activadores alcalinos, y las condiciones de curado. Por lo tanto, es crucial realizar estudios específicos para optimizar estas variables y obtener las propiedades mecánicas deseadas en los geopolímeros compuestos (Das et al., 2023; Galed Ceresuela, 2005).

La Tabla 1 muestra algunos estudios realizados sobre la resistencia mecánica como lo es la resistencia a la compresión y a la flexión.

2.2.7. Caracterización de los Geopolímeros

La caracterización de los biopolímeros y geopolímeros implica analizar y evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de estos materiales con el fin de comprender su comportamiento y su idoneidad para diferentes aplicaciones (Davidovits, 1991; Lynch et al., 2018). Los biopolímeros, como la quitina y el quitosano, son materiales de origen natural que presentan propiedades únicas y diversas aplicaciones (Galed Ceresuela, 2005; Singh et al., 2017). La caracterización de los biopolímeros implica el análisis de su composición química, estructura molecular, propiedades térmicas, morfología y propiedades mecánicas (Das et al., 2023; Galed Ceresuela, 2005; Piekarska et al., 2023). Estas características son evaluadas mediante técnicas como espectroscopía, microscopía, análisis termogravimétrico y ensayos mecánicos (Blanco & Siracusa, 2021).

Los geopolímeros son materiales inorgánicos que se forman mediante la activación de aluminosilicatos con una solución alcalina (Provis & Deventer, 2009; Xu & Van Deventer, 2000). La caracterización de los geopolímeros implica la evaluación de propiedades como la resistencia mecánica, porosidad, densidad aparente, absorción de agua, estabilidad térmica y durabilidad frente a condiciones ambientales (Aziz et al., 2023; Zhang & Wang, 2016). Estas propiedades se determinan mediante técnicas como ensayos de compresión, análisis de porosidad, microscopía y pruebas de resistencia química (Blanco & Siracusa, 2021).

2.2.8. Técnicas Utilizadas de Caracterización en Geopolímeros

La caracterización avanzada de geopolímeros implica el uso de diversas técnicas analíticas para comprender su composición, estructura y propiedades. Entre las técnicas más comúnmente utilizadas se encuentran la Difracción de Rayos X Cuantitativa (QXRD), la Termogravimetría-Análisis Diferencial de Escaneo (TGA-DSC), la Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) y la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (Ali et al., 2022; Blanco & Siracusa, 2021).

La técnica de difracción de rayos X cuantitativa (QXRD) proporciona información detallada sobre la estructura cristalina de los geopolímeros, permitiendo la identificación de fases cristalinas y amorfas presentes en el material (Ali et al., 2022; Madsen et al., 2011). Por otro lado, la termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC) permite estudiar la estabilidad térmica y las transiciones de fase en los geopolímeros, lo que es crucial para comprender su comportamiento frente a diferentes condiciones de temperatura y humedad (Blanco & Siracusa, 2021; Van Riessen et al., 2009).

La espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR) es una técnica espectroscópica que permite analizar las vibraciones moleculares de los materiales, lo que proporciona información sobre los enlaces químicos presentes en los geopolímeros y su estructura molecular (Ojeda & Dittrich, 2012; Yusuf, 2023). Finalmente, la Microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona imágenes de alta resolución de la morfología superficial y la estructura microscópica de los geopolímeros, lo que facilita la observación de la distribución de fases y la presencia de defectos a nivel microscópico (Aziz et al., 2023; Raj et al., 2022; Susan Swapp, 2024).

2.2.9. Activadores Alcalinos

Los activadores alcalinos juegan un papel crucial en la geopolimerización, facilitando la formación de estructuras aluminosilicatos densas y duraderas. El hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH), en combinación con silicato de sodio o silicato de potasio, son los activadores alcalinos más prevalentes en este proceso. Estos compuestos no solo promueven la formación del geopolímero, sino que también mejoran sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Pioneros en la investigación de geopolímeros, como (Davidovits, 1991; Palomo et al., 1999; Xu & Van Deventer, 2000), han arrojado luz sobre el papel vital de estos activadores y han confirmado las notables propiedades mecánicas de los geopolímeros formados utilizando tales sustancias activadoras.



2.3. Quitina

La quitina, un biopolímero natural obtenido principalmente de los desechos de crustáceos, es el segundo biopolímero más abundante después de la celulosa. Se caracteriza por su alta resistencia, biocompatibilidad y biodegradabilidad (Rinaudo, 2006). La extracción de quitina involucra desmineralización, desproteinización y desacetilación, resultando en un material que puede ser funcionalizado para mejorar la interacción con matrices inorgánicas (Ifuku & Saimoto, 2012). En geopolímeros, la incorporación de quitina ha mostrado mejorar la ductilidad y la resistencia a la compresión, posiblemente debido a la formación de enlaces covalentes y de hidrógeno entre la quitina y la matriz aluminosilicato (Singh et al., 2017; Esmaily & Soroushian, 2019).

2.3.1 Propiedades y Estructura Química de la Quitina

La quitina es un polisacárido natural esencial, descubierto en 1811 por Henri Braconnot (Hirano et al., 1996), que se sitúa entre los polímeros naturales más comunes después de la celulosa (Muzzarelli et al., 2012). Es producida por una amplia variedad de organismos y forma parte estructural de exoesqueletos de artrópodos y paredes celulares de hongos. Comercialmente, se extrae principalmente de exoesqueletos de cangrejos y gambas. Su extracción requiere tratamientos ácidos y alcalinos y, ocasionalmente, decoloración (Giji et al., 2022; Morin-Crini et al., 2019). Dadas las variaciones en la estructura según la fuente, los métodos de procesamiento deben ajustarse adecuadamente. Aunque la quitina es poco soluble, su transformación y caracterización son áreas de interés en desarrollo (Kumar Dutta et al., 2004; Rinaudo, 2006).

La quitina es un biopolímero estructural que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. Se caracteriza por su alta resistencia mecánica, rigidez, biocompatibilidad y biodegradabilidad (Singh et al., 2017). Es uno de los polímeros naturales más abundantes después de la celulosa y se extrae principalmente de los exoesqueletos de crustáceos como cangrejos y camarones (Fereidoon & Reem, 2005; Piekarska et al., 2023).

La quitina es reconocida como el segundo polisacárido natural más abundante en la Tierra, después de la celulosa. Está compuesto por 2-acetamido-2-desoxi-beta-D-glucosa con enlaces beta (1→4), comúnmente conocida como N-acetilglucosamina, como se ilustra en la figura 1. Aunque con frecuencia se la considera un derivado de la celulosa, la quitina no es producida por organismos sintetizadores de celulosa. Estructuralmente, la quitina es similar a la celulosa; sin embargo, contiene grupos de acetamida (-NHCOCH₃) en las posiciones C-2. El quitosano, el principal derivado de la quitina, es un polímero lineal compuesto por 2-amino-2-desoxi-β-D-glucopiranososa enlazada a α (1→4). Se deriva de la quitina mediante un proceso llamado N- desacetilación, que se produce en diversos grados y da como resultado un copolímero de N-acetilglucosamina y glucosamina, como se muestra en la Figura 1. Los avances recientes en la química de la quitina son dignos de mención, y destacan su versatilidad y aplicabilidad en la investigación biomédica y en otros campos (Kumar Dutta et al., 2004; Ravi Kumar, 2000).

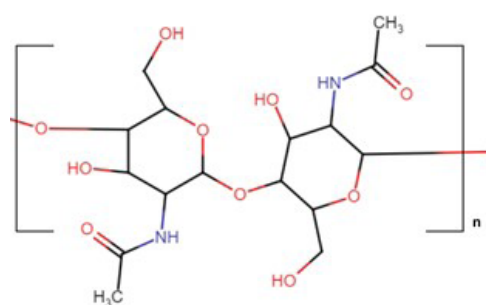


Figura 1. El gráfico muestra la estructura química de la quitina (Kumar Dutta et al., 2004; Páez et al., 2012; Singh et al., 2017).

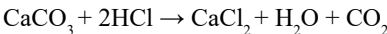
2.3.2. Métodos de Extracción de la Quitina

La quitina, un biopolímero natural que abunda en los exoesqueletos de los crustáceos y en las paredes celulares de los hongos, se extrae mediante un proceso de varios pasos que incluye la desmineralización, la desproteinización y, si es necesario, la decoloración. La desmineralización suele utilizar tratamientos ácidos para disolver el carbonato cálcico,

mientras que la desproteínización implica soluciones alcalinas para eliminar las proteínas, purificando así la quitina (Kozma et al., 2022; NCBI, 2023; Pakizeh et al., 2021). La decoloración, a menudo un paso adicional, busca eliminar los pigmentos para conseguir un producto estéticamente más atractivo (NCBI, 2023). A pesar de la eficacia de estos métodos tradicionales, cada vez son más objeto de escrutinio por su impacto medioambiental, lo que ha provocado un aumento de la investigación hacia técnicas de extracción más sostenibles (Mohan et al., 2022; Pachapur et al., 2016). Los procesos de obtención de quitina se detallan en las siguientes subsecciones:

2.3.3. Desmineralización

Este paso inicial elimina el carbonato cálcico y otros materiales inorgánicos de los exoesqueletos de crustáceos. Consiste en tratar la materia prima con ácido clorhídrico (HCl) diluido, que reacciona con el carbonato cálcico para formar cloruro cálcico (CaCl₂), agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂), disolviendo eficazmente los componentes inorgánicos. Esto puede representarse mediante la siguiente reacción.



Tras la reacción, el sólido restante está compuesto principalmente por quitina unida a proteínas y pigmentos (Kozma et al., 2022; Younes & Rinaudo, 2015).

2.3.4. Desproteínización

Tras la desmineralización, se lleva a cabo la desproteínización para eliminar el contenido de proteínas. Esto se consigue tradicionalmente tratando el material con una solución diluida de hidróxido de sodio (NaOH) o KOH. La solución alcalina descompone las proteínas, que luego pueden lavarse. Las condiciones de reacción, como la concentración de NaOH y la temperatura (normalmente entre 65°C y 100°C), son fundamentales para garantizar la eliminación completa de las proteínas sin dañar la estructura de la quitina (Gharibzadeh et al., 2023; Kumirska et al., 2010).

2.3.5. Aplicaciones de la Quitina

La quitina, un biopolímero versátil y abundante en la naturaleza, ofrece una amplia gama de aplicaciones en diversos campos debido a sus propiedades únicas mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones de la Quitina.

Aplicación	Descripción
Industria Biomédica	Fabricación de apósitos y vendajes para heridas debido a su capacidad para promover la cicatrización y reducir el riesgo de infección gracias a sus propiedades antimicrobianas (Ifuku & Saimoto, 2012; Ravi Kumar, 2000; Younes & Rinaudo, 2015). Además, la quitina y sus derivados se han investigado como materiales para la regeneración de tejidos, como en la ingeniería de tejidos óseos y cartilagosos, debido a su biocompatibilidad y capacidad para proporcionar un entorno propicio para el crecimiento celular (Fereidoon & Reem, 2005; Muzzarelli et al., 2012).
Industria Alimentaria	Utilizada como aditivo en productos alimenticios para mejorar su estabilidad y textura. Exploración de su potencial como agente encapsulante para la liberación controlada de compuestos bioactivos, como vitaminas y antioxidantes, en alimentos funcionales y suplementos dietéticos (Kumirska et al., 2010; Páez et al., 2012).
Purificación de Aguas Residuales	Eficaz en la purificación de aguas residuales y la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a su capacidad para adsorber metales pesados, colorantes y compuestos orgánicos nocivos (Fereidoon & Reem, 2005; Ifuku & Saimoto, 2012; Morin-Crini et al., 2019).
Industria de la Construcción	Incrementa la resistencia mecánica de los geopolímeros, mejorando la tenacidad y la resistencia a la compresión. Contribuye a la creación de materiales de construcción más sostenibles y muestra resistencia mejorada al fuego y a la humedad, ideales para áreas propensas a estas exposiciones (Fereidoon & Reem, 2005; Muzzarelli et al., 2012). Utilizar quitina, un recurso renovable, en la fabricación de geopolímeros contribuye a la creación de materiales de construcción más sostenibles, ayudando a reducir los residuos industriales (Younes & Rinaudo, 2015; Dinga & Wen, 2022; Ifuku & Saimoto, 2012).
Entornos Sensibles (Hospitales, Clínicas)	La biocompatibilidad de la quitina y sus propiedades antimicrobianas hacen que los geopolímeros reforzados sean ideales para estos entornos, previniendo la formación de moho y el crecimiento bacteriano, contribuyendo a un ambiente más higiénico (Ravi Kumar, 2000).

Fuente: Elaboración propia



Cada una de estas características destaca el potencial de la quitina como un aditivo valioso en la producción de geopolímeros para la industria de la construcción, promoviendo materiales más eficientes y ecológicos

3. Avances en Geopolímeros Reforzados con Quitina

Los avances en geopolímeros reforzados con quitina han demostrado un potencial significativo a nivel mundial. Investigaciones recientes muestran que estos materiales superan las limitaciones de los materiales convencionales como el cemento Portland, ofreciendo reducciones en emisiones de CO₂ y aprovechando materiales locales y residuos industriales industriales (Aguar et al., 2022; Boros et al., 2023; Ziejewska, Ak, et al., 2023; Ziejewska, Grela, et al., 2023). Estos geopolímeros presentan altas resistencias mecánicas, baja conductividad térmica y densidad reducida, ideales para la construcción de muros y estructuras que requieran ligereza y resistencia (Nguyen et al., 2022; Provis & Deventer, 2009).

A pesar de la información limitada sobre el uso específico de estos materiales en Ecuador, el país posee un gran potencial para adoptar estas tecnologías debido a su biodiversidad y recursos naturales. La integración de materiales sostenibles en las prácticas constructivas locales podría mejorar significativamente la sostenibilidad y eficiencia de recursos (Baykara et al., 2020a; Riofrio et al., 2021).

La quitina derivada de cangrejos y camarones ha mostrado excelentes resultados en la mejora de la resistencia a la compresión y la durabilidad de los geopolímeros (Gharibzadeh et al., 2023; Gijiu et al., 2022; Pakizeh et al., 2021). Estudios indican que la quitina de estas fuentes contribuye significativamente a las propiedades estructurales de los geopolímeros, ampliando su uso en la construcción sostenible y la mitigación de residuos industriales (Essel et al., 2018; Ikram et al., 2021).

Desde 2011, se intensifica el uso de quitina derivada de desechos marinos, fomentando prácticas de economía circular y mejorando las propiedades de los geopolímeros. Esta aplicación no solo es ecológica sino también económica, ofreciendo una solución a los residuos de la industria pesquera (S. L. Wang et al., 2011; Younes & Rinaudo, 2015)

Las mejoras en resistencia a la compresión y durabilidad se observaron desde 2015, adecuadas para escenarios de construcción más exigentes (Korniejenko et al., 2016; Smolyakov et al., 2016).

En 2020, se discutieron desarrollos en la caracterización físico-química de la quitina y su procesamiento en diversos materiales compuestos y funcionales, destacando su valor económico como material de refuerzo eficiente para aplicaciones como la purificación de agua y la ingeniería de tejidos (Maury-Ramirez et al., 2020; Rowles & O'Connor, 2003).

A partir del 2021 los estudios continúan avanzando en la formulación y aplicación de geopolímeros reforzados con quitina, con un enfoque particular en la sostenibilidad y la viabilidad en la construcción. Las investigaciones recientes abordan desde la nanoescala hasta las aplicaciones a gran escala, evaluando el impacto ambiental y la viabilidad económica de estos compuestos (Das et al., 2023; Ikram et al., 2021; Lam et al., 2023; Poblócki et al., 2024; Sambucci et al., 2021; Thambiliyagodage et al., 2023; Yanat & Schroën, 2023)

4. Conclusiones

Este estudio evidencia que los geopolímeros reforzados con quitina superan al Cemento Portland Ordinario en términos de rendimiento mecánico y sostenibilidad ambiental (Da Silva et al., 2023; McLellan et al., 2011). La adición de quitina mejora significativamente las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y a la flexión, debido a la formación de enlaces covalentes y de hidrógeno entre la quitina y la matriz aluminosilicato, resultando en una matriz más robusta y durable (Haider, Jian, Li, et al., 2022; Haider, Jian, Zhong, et al., 2022; Smolyakov et al., 2016; Younes & Rinaudo, 2015). Además, estos geopolímeros representan una opción más ecológica por su menor consumo de energía y reducción de emisiones de CO₂, alineándose con las prácticas globales de reducción de la huella de carbono.

Además, el uso de quitina, un subproducto de la industria pesquera, en la producción de estos geopolímeros contribuye a la economía circular, optimizando el uso de recursos y minimizando los desechos industriales. Aunque los beneficios ambientales y mecánicos son claros, es crucial evaluar la viabilidad económica para su adopción a gran escala. Los estudios futuros deberán considerar los costos de producción y la disponibilidad de materias primas en distintas regiones para

garantizar un impacto positivo y sustentable tanto económico como ambiental, promoviendo así su aplicación en la construcción verde y sostenible.

5. Referencias

- Acierno, D., Patti, A., Yin Boey, J., Keong Lee, C., & Seng Tay, G. (2022). *Factors Affecting Mechanical Properties of Reinforced Bioplastics: A Review*. <https://doi.org/10.3390/polym14183737>
- Aguiar, de, Zhong, Q., Tian, X., Xie, G., Luo, X., & Peng, H. (2022). *materials Investigation of Setting Time and Microstructural and Mechanical Properties of MK/GGBFS-Blended Geopolymer Pastes*. <https://doi.org/10.3390/ma15238431>
- Agumba, D. O., Pham, D. H., Park, G., Kumar, B., & Kim, J. (2024). *Strength and toughness of bioderived resin based on hyperbranched crosslinking and its application to cellulose long Filament-Reinforced polymer composite*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2024.108098>
- Ali, A., Wai Chiang, Y., & Santos, R. M. (2022). *Citation: minerals X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions*. <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Andrew, R. M. (2021). Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2018. *Earth System Science Data*, 10(4), 1–20. <https://doi.org/10.5194/essd-2019-152>
- ASTM C 109. (2009). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) 1*. www.astm.org,
- ASTM C 348. (2009). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars 1*. www.astm.org,
- Aziz, I. H. A., Abdullah, M. M. A. B., Razak, R. A., Yahya, Z., Salleh, M. A. A. M., Chaiprapa, J., Rojviriya, C., Vizureanu, P., Sandu, A. V., Tahir, M. F. M., Abdullah, A., & Jamaludin, L. (2023). Mechanical Performance, Microstructure, and Porosity Evolution of Fly Ash Geopolymer after Ten Years of Curing Age. *Materials*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/MA16031096>
- Baykara, H., Cornejo, M. H., Espinoza, A., García, E., & Ulloa, N. (2020a). Preparation, characterization, and evaluation of compressive strength of polypropylene fiber reinforced geopolymer mortars. *Heliyon*, 6(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03755>
- Baykara, H., Cornejo, M. H., Espinoza, A., García, E., & Ulloa, N. (2020b). Preparation, characterization, and evaluation of compressive strength of polypropylene fiber reinforced geopolymer mortars. *Heliyon*, 6(4), e03755. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E03755>
- Baykara, H., Cornejo, M. H., Murillo, R., Gavilanes, A., Paredes, C., & Elsen, J. (2017). Preparation, characterization and reaction kinetics of green cement: Ecuadorian natural mordenite-based geopolymers. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 50(3), 1–12. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1057-z>
- Baykara, H., Solorzano, M. D. L. M., Echeverria, J. J. D., Cornejo, M. H., & Tapia-Bastidas, C. V. (2022). The use of zeolite-based geopolymers as adsorbent for copper removal from aqueous media. *Royal Society Open Science*, 9(3). <https://doi.org/10.1098/rsos.211644>
- Blanco, I., & Siracusa, V. (2021). *materials The Use of Thermal Techniques in the Characterization of Bio-Sourced Polymers*. <https://doi.org/10.3390/ma14071686>
- Boros, A., Erdei, G., & Korim, T. (2023). Development of Alkali Activated Inorganic Foams Based on Construction and Demolition Wastes for Thermal Insulation Applications. *Materials*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/MA16114065>
- Chen, C. C., Tsai, Y. K., Lin, Y. K., Ho, P. H., & Kuo, C. Y. (2023). Experimental and Numerical Investigation of the Mechanical Properties of a Fiber-Reinforced Geopolymer Mortar Blast Resistant Panel. *Polymers*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/POLYM15163440>
- Da Silva, J. R. P., Da Silva, R. O. H., Silva, A. F., França, E. L. T., Hernández, E. P., & de Farias, P. M. A. (2023). Portland cement concrete doped with chitosan: mechanical and microstructural properties | Concreto de cimento



- Portland dopado com quitosana: propriedades mecânicas e microestrutural. *Revista Materia*, 28(2). <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0037>
- Das, A., Ringu, T., Ghosh, S., & Pramanik, Nabakumar. (2023). *A comprehensive review on recent advances in preparation, physicochemical characterization, and bioengineering applications of biopolymers*. 80, 7247–7312. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04443-4>
- Davidovits, J. (1979). SYNTHESIS OF NEW HIGH-TEMPERATURE GEO-POLYMERS FOR REINFORCED PLASTICS/COMPOSITES. <https://www.researchgate.net/publication/284154696>
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers - Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, 37(8), 1633–1656. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. <https://www.researchgate.net/publication/284651826>
- Davidovits, J. (2013). *GEOPOLYMER CEMENT*. www.geopolymer.org
- Djobo, J. N. Y., Elimbi, A., Tchakouté, H. K., & Kumar, S. (2017). Volcanic ash-based geopolymer cements/concretes: the current state of the art and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4433–4446. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8230-8>
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., & van Deventer, J. S. J. (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of “green concrete.” *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590–1597. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>
- Ebhodaghe, S. O., & Ndibe, H. (2022). Mechanical Properties of Biopolymers. *Handbook of Biopolymers*, 1–16. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6603-2_11-1
- EPA. (2021). *2019 Direct Carbon Intensities Quartile Metric Ton CO₂ / Metric Ton of Clinker Metric Ton CO₂ / Metric Ton of Cement Carbon Intensity*. <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text->
- Essel, T. Y. A., Koomson, A., Seniagya, M.-P. O., Cobbold, G. P., Kwofie, S. K., Asimeng, B. O., Arthur, P. K., Awandare, G., Tiburu, E. K., Gh, B. O. A.), & Gh, G. A.). (2018). Chitosan Composites Synthesized Using Acetic Acid and Tetraethylorthosilicate Respond Differently to Methylene Blue Adsorption. *Polymers*, 10, 466. <https://doi.org/10.3390/polym10050466>
- Fereidoon, S., & Reem, A. (2005). CHITIN, CHITOSAN, AND CO-PRODUCTS: CHEMISTRY, PRODUCTION, APPLICATIONS, AND HEALTH EFFECTS. *Elsevier Inc.*
- Furtos, G., Prodan, D., Sarosi, C., Moldovan, M., Korniejenco, K., Miller, L., Fiala, L., & Iveta, N. (2024). Mechanical Properties of MiniBars™ Basalt Fiber-Reinforced Geopolymer Composites. *Materials*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/MA17010248>
- Galed Ceresuela, G. (2005). *Biopolímeros quitina/quitosano: optimización de los procesos de obtención y caracterización funcional*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=195057&info=resumen&idioma=SPA>
- Gharibzadeh, M., Osfour, S., Jamekhorshid, A., & Jafari, S. A. (2023). Microbial chitin extraction and characterization from green tiger shrimp waste: A comparative study of culture mediums along with bioprocess optimization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 125213. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.125213>
- Gîjiu, C. L., Isopescu, R., Dinculescu, D., Memecică, M., Apetroaei, M. R., Anton, M., Schröder, V., & Rău, I. (2022). Crabs Marine Waste—A Valuable Source of Chitosan: Tuning Chitosan Properties by Chitin Extraction Optimization. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 4492, 14(21), 4492. <https://doi.org/10.3390/POLYM14214492>
- Habert, G. (2013). Environmental impact of Portland cement production. *Eco-Efficient Concrete*, 3–25. <https://doi.org/10.1533/9780857098993.1.3>

- Haider, M. M., Jian, G., Li, H., Miller, Q. R. S., Wolcott, M., Fernandez, C., & Nassiri, S. (2022). Impact of chitin nanofibers and nanocrystals from waste shrimp shells on mechanical properties, setting time, and late-age hydration of mortar. *Scientific Reports* |, 12, 20539. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24366-4>
- Haider, M. M., Jian, G., Zhong, T., Li, H., Fernandez, C. A., Fifield, L. S., Wolcott, M., & Nassiri, S. (2022). Insights into setting time, rheological and mechanical properties of chitin nanocrystals- and chitin nanofibers-cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104623>
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and Properties of Low-calcium Fly Ash Based Geopolymer LOW-CALCIUM FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE By Faculty of Engineering Curtin University of Technology. *Australia : University of Technology Perth, January*, 48.
- Hirano, S., Chanzy, H., Roberts, G., Stevens Win, W. N., Ng, C., Pichyangkura, S., Chandkrachang, S., Jaworska, M., & Szweczyk, K. V. (1996). *Chitosan production routes and their role in determining the p 22 structure and properties of the product Chitosan from A bsidia sp. _ ^.*
- Ifuku, S., & Saimoto, H. (2012). Chitin nanofibers: Preparations, modifications, and applications. In *Nanoscale* (Vol. 4, Issue 11, pp. 3308–3318). <https://doi.org/10.1039/c2nr30383c>
- Ikram, R., Jan, B. M., Qadir, M. A., Sidek, A., Stylianakis, M. M., Kenanakis, G., Plascencia-Jatomea, M., Aracely, N., & López, P. (2021). *polymers Recent Advances in Chitin and Chitosan/Graphene-Based Bio-Nanocomposites for Energetic Applications*. <https://doi.org/10.3390/polym13193266>
- Khaiyum, M. Z., Sarker, S., & Kabir, G. (2023). Evaluation of Carbon Emission Factors in the Cement Industry: An Emerging Economy Context. *Sustainability*, 15(21), 15407. <https://doi.org/10.3390/su152115407>
- Korniejenko, K., Frączek, E., Pytlak, E., & Adamski, M. (2016). Mechanical Properties of Geopolymer Composites Reinforced with Natural Fibers. *Procedia Engineering*, 151, 388–393. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.395>
- Korniejenko, K., Łach, M., & Miśka, J. (2018). Mechanical Properties of Raffia Fibres Reinforced Geopolymer Composites. In *Advances in Natural Fibre Composites* (pp. 135–144). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64641-1_13
- Kozma, M., Acharya, B., & Bissessur, R. (2022). Chitin, Chitosan, and Nanochitin: Extraction, Synthesis, and Applications. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 3989, 14(19), 3989. <https://doi.org/10.3390/POLYM14193989>
- Kumar Dutta, P., Dutta, J., & Tripathi, V. S. (2004). Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 63, 20–31.
- Kumirska, J., Czerwica, M., Kaczyński, Z., Bychowska, A., Brzozowski, K., Thöming, J., & Stepnowski, P. (2010). Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan. In *Marine Drugs* (Vol. 8, Issue 5, pp. 1567–1636). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/md8051567>
- Łach, M., Kluska, B., Janus, D., Kabat, D., Plawecka, K., Korniejenko, K., Guigou, M. D., & Choińska, M. (2021). Effect of Fiber Reinforcement on the Compression and Flexural Strength of Fiber-Reinforced Geopolymers. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 10443, 11(21), 10443. <https://doi.org/10.3390/APP112110443>
- Lam, W. S., Lam, W. H., & Lee, P. F. (2023). *materials The Studies on Chitosan for Sustainable Development: A Bibliometric Analysis*. <https://doi.org/10.3390/ma16072857>
- Lynch, J. L. V., Baykara, H., Cornejo, M., Soriano, G., & Ulloa, N. A. (2018). Preparation, characterization, and determination of mechanical and thermal stability of natural zeolite-based foamed geopolymers. *Construction and Building Materials*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.253>
- Madsen, I. C., Scarlett, N. V. Y., & Kern, A. (2011). Description and survey of methodologies for the determination of amorphous content via X-ray powder diffraction. *Zeitschrift Fur Kristallographie*, 226(12), 944–955. <https://doi.org/10.1524/ZKRI.2011.1437>
- Maury-Ramirez, A. C., Flores-Colen, I., & Kanematsu, H. (2020). *Advanced Coatings for Buildings*. www.mdpi.com/journal/coatings



- McLellan, B. C., Williams, R. P., Lay, J., Van Riessen, A., & Corder, G. D. (2011). Costs and carbon emissions for geopolymers pastes in comparison to ordinary portland cement. *Journal of Cleaner Production*, 19(9–10), 1080–1090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.010>
- Mohan, K., Ganesan, A. R., Ezhilarasi, P. N., Kondamareddy, K. K., Rajan, D. K., Sathishkumar, P., Rajarajeswaran, J., & Conterno, L. (2022). Green and eco-friendly approaches for the extraction of chitin and chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*, 287, 119349. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119349>
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667–1692. <https://doi.org/10.1007/S10311-019-00904-X>
- Mourak, A., Hajjaji, M., & Alagui, A. (2019). Cured cuttlebone/chitosan-heated clay composites: Microstructural characterization and practical performances. *Journal of Building Engineering*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100872>
- Muzzarelli, R. A. A., Boudrant, J., Meyer, D., Manno, N., Demarchis, M., & Paoletti, M. G. (2012). Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 995–1012. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2011.09.063>
- Nallive Yopez, O., Bedoya Montolla, C., & Gómez Eusse, J. (2012). Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de tierra con geopolímeros (BTG). *Apuntes*, 25(1757–9763), 240–245. <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:3653/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=ce1f09e4-a2f6-4f03-99ed-d04fea29f426%40sessionmgr113&vid=4&hid=124>
- NCBI, N. C. for B. I. (2023). *Chitosan* | C56H103N9O39 | CID 71853 - PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chitosan>
- Nguyen, V. V., Le, V. S., Louda, P., Szczypiński, M. M., Ercoli, R., Vojtěch, R., Łoś, P., Prałat, K., Plaskota, P., Pacyniak, T., & Buczkowska, K. E. (2022). Low-Density Geopolymer Composites for the Construction Industry. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 304, 14(2), 304. <https://doi.org/10.3390/POLYM14020304>
- Nikolov, A., Nugteren, H., & Rostovsky, I. (2020). Optimization of geopolymers based on natural zeolite clinoptilolite by calcination and use of aluminate activators. *Construction and Building Materials*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118257>
- Oh, D. X., & Hwang, D. S. (2013). A biomimetic chitosan composite with improved mechanical properties in wet conditions. *Biotechnology Progress*, 29(2), 505–512. <https://doi.org/10.1002/BTPR.1691>
- Ojeda, J. J., & Dittrich, M. (2012). Fourier transform infrared spectroscopy for molecular analysis of microbial cells. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 881, 187–211. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-827-6_8
- Pachapur, V. L., Guemiza, K., Rouissi, T., Sarma, S. J., & Brar, S. K. (2016). Novel biological and chemical methods of chitin extraction from crustacean waste using saline water. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(8), 2331–2339. <https://doi.org/10.1002/JCTB.4821>
- Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., & Aiello-Mazzarri, C. (2012). *Quitina y Quitosano, polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones*. <https://www.researchgate.net/publication/235431334>
- Pakizeh, M., Moradi, A., & Ghassemi, T. (2021). Chemical extraction and modification of chitin and chitosan from shrimp shells. *European Polymer Journal*, 159, 110709. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2021.110709>
- Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1323–1329. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00243-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9)
- Peter Hewlett. (2003). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (4th Edition).

- Piekarska, K., Sikora, M., Owczarek, M., Jóźwik-Pruska, J., & Wiśniewska-Wrona, M. (2023). Chitin and Chitosan as Polymers of the Future—Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 793, 15(4), 793. <https://doi.org/10.3390/POLYM15040793>
- Pobłocki, K., Pawlak, M., Drzeżdżon, J., Gawdzik, B., & Jacewicz, D. (2024). Clean production of geopolymers as an opportunity for sustainable development of the construction industry. *Science of The Total Environment*, 928, 172579. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.172579>
- Provis, J., & Deventer, V. (2009). *Geopolymers*.
- Qin, Y., Chen, X., Li, B., Guo, Y., Niu, Z., Xia, T., Meng, W., & Zhou, M. (2021). Study on the mechanical properties and microstructure of chitosan reinforced metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 271, 121522. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121522>
- Raj, R. S., Arulraj, G. P., Anand, N., Kanagaraj, B., Lubloy, E., & Naser, M. Z. (2022). Nano Calcium Carbonate (NCC), Nano Zinc oxide (NZ), Graphene Oxide (GO). *Nano Glass Powder (NGP) and Nano-Clay*. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100114>
- Rashad, A. M. (2013). Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition-A comprehensive overview. In *Construction and Building Materials* (Vol. 41, pp. 303–318). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.001>
- Ravi Kumar, M. N. V. (2000). A review of chitin and chitosan applications. In *Reactive and Functional Polymers* (Vol. 46, Issue 1, pp. 1–27). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9)
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. In *Progress in Polymer Science (Oxford)* (Vol. 31, Issue 7, pp. 603–632). <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>
- Riofrio, A., Alcivar, T., & Baykara, H. (2021). Environmental and Economic Viability of Chitosan Production in Guayas-Ecuador: A Robust Investment and Life Cycle Analysis. *ACS Omega*, 6(36), 23038–23051. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.1C01672/ASSET/IMAGES/LARGE/AO1C01672_0011.JPEG
- Rodrigue Kaze, C., Ninla Lemougna, P., Alomayri, T., Assaedi, H., Adesina, A., Kumar Das, S., Lecomte-Nana, G. L., Kamseu, E., Chinje Melo, U., & Leonelli, C. (2021). Characterization and performance evaluation of laterite based geopolymer binder cured at different temperatures. *Construction and Building Materials*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121443>
- Rowles, M., & O'Connor, B. (2003). Chemical optimisation of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite. *Journal of Materials Chemistry*, 13(5), 1161–1165. <https://doi.org/10.1039/B212629J>
- Sambucci, M., Sibai, A., & Valente, M. (2021). Recent advances in geopolymer technology. A potential eco-friendly solution in the construction materials industry: A review. *Journal of Composites Science*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/JCS5040109>
- Scrivener, K. L., & Kirkpatrick, R. J. (2008). Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and Concrete Research*, 38(2), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.09.025>
- Singh, R., Shitiz, K., & Singh, A. (2017). Chitin and chitosan: biopolymers for wound management. *International Wound Journal*, 14(6), 1276–1289. <https://doi.org/10.1111/iwj.12797>
- Smolyakov, G., Pruvost, S., Cardoso, L., Alonso, B., Belamie, E., & Duchet-Rumeau, J. (2016). AFM PeakForce QNM mode: Evidencing nanometre-scale mechanical properties of chitin-silica hybrid nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 151, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.042>
- Susan Swapp. (2024). *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html
- Thambiliyagodage, C., Jayanetti, M., Mendis, A., Ekanayake, G., Liyanaarachchi, H., & Vigneswaran, S. (2023). *materials Review Recent Advances in Chitosan-Based Applications-A Review*. <https://doi.org/10.3390/ma16052073>
- Ulloa, N. A., Baykara, H., Cornejo, M. H., Rigail, A., Paredes, C., & Villalba, J. L. (2018). Application-oriented mix design



- optimization and characterization of zeolite-based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.101>
- Van Riessen, A., Rickard, W., & Sanjayan, J. (2009). Thermal properties of geopolymers. *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*, 315–342. <https://doi.org/10.1533/9781845696382.2.315>
- Wang, S. L., Liang, T. W., & Yen, Y. H. (2011). Bioconversion of chitin-containing wastes for the production of enzymes and bioactive materials. *Carbohydrate Polymers*, 84(2), 732–742. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2010.06.022>
- Wang, T., Yang, L., Rao, F., Jiang, K., & Byrinnai, C. (2023). Effect of chitosan on the mechanical properties and acid resistance of metakaolin-blast furnace slag-based geopolymers. *Environmental Science and Pollution Research*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25676-4>
- Xu, H., & Van Deventer, J. S. J. (2000). The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. In *Int. J. Miner. Process* (Vol. 59). www.elsevier.nl/locate/ijminpro
- Yanat, M., & Schroën, K. (2023). *Advances in chitin-based nanoparticle use in biodegradable polymers: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120789>
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications. *Marine Drugs*, 13(3), 1133. <https://doi.org/10.3390/MD13031133>
- Yusuf, M. O. (2023). *Bond Characterization in Cementitious Material Binders Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*. <https://doi.org/10.3390/app13053353>
- Zhang, Z., & Wang, H. (2016). The pore characteristics of geopolymer foam concrete and their impact on the compressive strength and modulus. *Frontiers in Materials*, 3. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2016.00038/FULL>
- Ziejewska, C., Ak, A. B., Hodor, K., & Hebda, M. (2023). *Eco-Friendly Coal Gangue and/or Metakaolin-Based Lightweight Geopolymer with the Addition of Waste Glass*. <https://doi.org/10.3390/ma16176054>
- Ziejewska, C., Grela, A., Mierzwiński, D., & Hebda, M. (2023). *materials Influence of Waste Glass Addition on the Fire Resistance, Microstructure and Mechanical Properties of Geopolymer Composites*. <https://doi.org/10.3390/ma16176011>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Hortencia Esperanza Asanza Sánchez	Conceptualización, tratamiento, curado e interpretación de datos, escritura y edición final del escrito.
Haci Baykara	Conceptualización, metodología, Revisión final manuscrito.
David Anzules	Revisión final manuscrito.