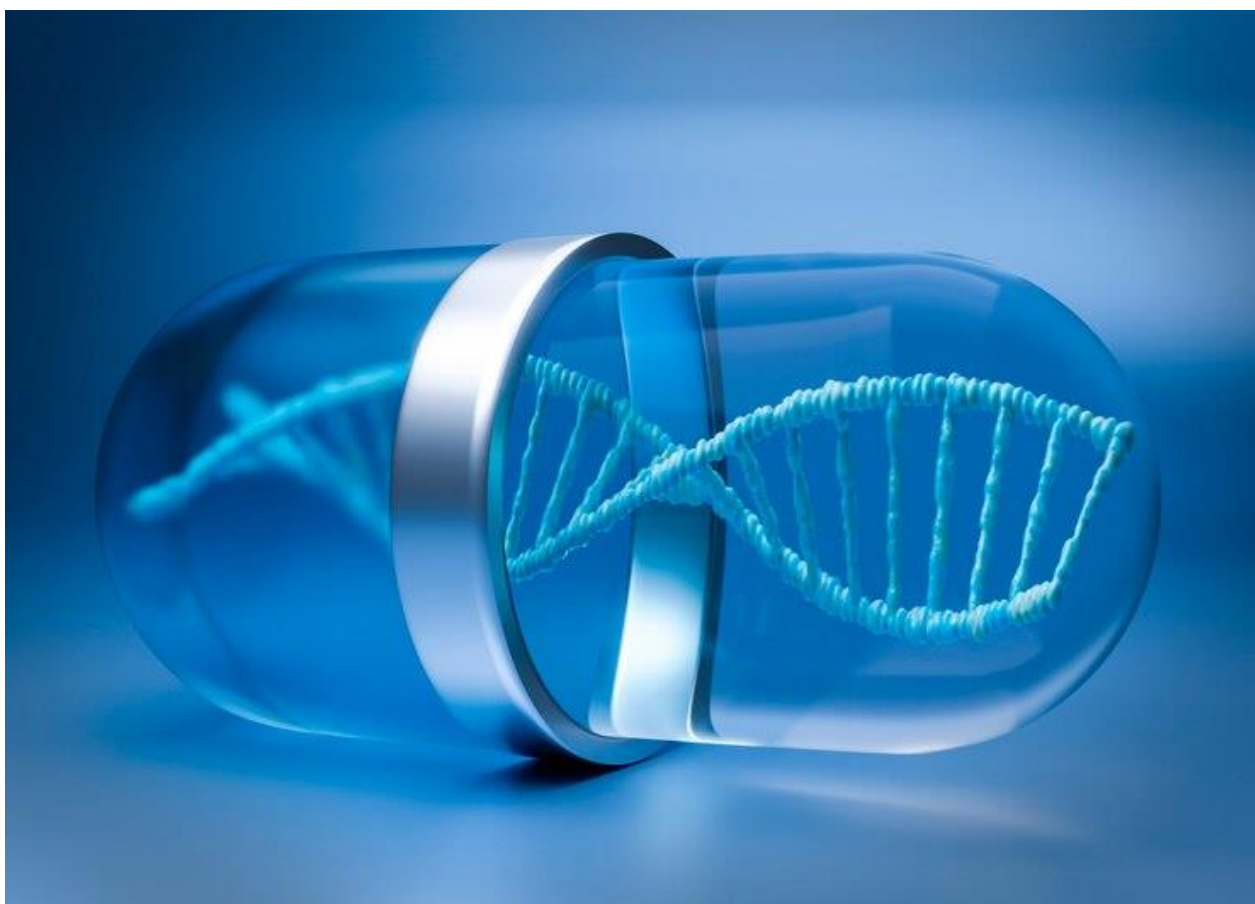


Bionatura

International Journal of Biotechnology and Life Sciences



https://www.freepik.es/foto-gratis/representacion-3d-adn_45147090.htm#fromView=search&page=1&position=39&uuid=77e54c38-6934-4cc3-bde1-0cb00a978914



<https://cebaecuador.org/>



<https://www.uco.edu.co/>



<https://revistabionatura.org/>

<https://www.facebook.com/revistabionaturaEC/>

<https://www.instagram.com/revistabionaturaec>



INSTITUTO PÚBLICO DE
INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA Y PESCA
ECUADOR



***Caristius* sp.**

Los análisis de identificación taxonómica del Ictioplancton se realizan a través de métodos tradicionales y metodologías estándares que permiten determinar épocas y zonas de desove de las principales especies hidrobiológicas, son realizados en los Laboratorios de Ictioplancton del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca - IPIAP.



**Secretaría de
Educación Superior, Ciencia,
Tecnología e Innovación**

CENTRO ECUATORIANO DE BIOTECNOLOGÍA DEL AMBIENTE

ACREDITACIÓN SENESCYT - ACR-UNIDAD-24-5 /2024

ESTRATEGIA ECUATORIANA DE BIOECONOMÍA -
HORIZONTE 2035

GESTIÓN ENERGÉTICA

Ing. Ángela León Chamorro
COORDINACIÓN
GESTIÓN ENERGÉTICA

<https://cebaecuador.org/>
energia.ceba@gmail.com
inf.ceba@gmail.com

Cel. +593 99 747 3043
Ibarra-Ecuador

21/12/2024

ENERGÍAS ALTERNATIVAS

- Energía Solar
- Energía Eólica
- Energía Hidráulica
- Energía Bioquímica
- Energía Geotérmica
- Energía Mareomotriz
- Energía Química-H₂
- Energía Biomasa
- Biocombustibles

<https://cebaecuador.org/>





El **Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente - CEBA**, es una institución de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), constituida bajo la forma de Fundación de utilidad común, sin fines de lucro, religioso, racial, político y de género. Es una persona jurídica de derecho privado, reconocida por el Estado ecuatoriano mediante acuerdo No. 026, del 17 de marzo de 2009 del Ministerio del Ambiente, publicado en el Registro Oficial No. 579 del 28 de abril de 2009.

CEBA mantiene un enfoque científico-empresarial, con una filosofía de trabajo por resultados fundamentada en la competitividad. Promueve y apoya toda actividad encaminada a conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo de la *Bioeconomía*. CEBA se alinea a los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, los resultados científicos se difunden a través de sus revistas:

BIONATURA. ISSN 1390-9355 soporte online e ISSN 1390-9347 soporte impreso.

- <https://revistabionatura.org/>
- <https://portal.issn.org/custom-search/print/1390-9355/public>

BIORREFINERÍA. ISSN 2602-8530 soporte online.

- <https://www.cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>
- <https://portal.issn.org/custom-search/print/2602-8530/public>

Filosofía. CEBA mantiene su propia filosofía para el Desarrollo Social y Económico del ser humano, fundamentada en las **3S** (sabiduría, salud y seguridad).

Misión. Proveer el soporte científico, tecnológico y empresarial a la *Bioeconomía* del Ecuador y del mundo, mediante el desarrollo de la *Bioeducación*, *Biociencia* y *Bioinnovación*, que permita el máximo aprovechamiento de la biodiversidad y contribuya con el bienestar del ser humano y del planeta.

Visión. Ser una persona global, de bien y progreso, responsable, que hace su aporte para el bienestar del ser humano y del planeta.

Valores. Integridad, calidad, responsabilidad, liderazgo, colaboración y diversidad.

Julio Pineda Insuasti, PhD

DIRECTOR EJECUTIVO- CEBA

Contacto

Periférico Sur s/n, Fincas San Agustín, San Antonio. Ibarra-Ecuador

<https://cebaecuador.org/>

inf.ceba@gmail.com

info@cebaecuador.org

Telf.: (+593) 99 579 7813

Bionatura

La Revista Bionatura (en inglés, Bionatura Journal) del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), fue creada en el año 2015 con la finalidad de difundir los resultados científicos y tecnológicos obtenidos de la investigación aplicada en el marco de la **Estrategia ecuatoriana de Bioeconomía-Horizonte 2035**, en el campo de las ciencias naturales, Ciencias de la Vida la Biotecnología, ensayos clínicos y médicos, Biodiversidad y Ecología en general. Publica manuscritos científicos originales del tipo empírico, revisiones, metodológicas y estudios de caso. Se edita en versión digital e impresa en idioma inglés y español con una frecuencia trimestral y está dirigida a la comunidad científica a nivel internacional. Los autores mantienen sus derechos sobre los artículos sin restricciones y opera bajo la política de Acceso Abierto a la Información, bajo la licencia de Creative Commons 4.0 CC BYNC-SA (Reconocimiento-No Comercial-Compartir igual). La revista utiliza Open Journal Systems, que es un gestor de revistas de acceso abierto y un software desarrollado, financiado y distribuido de forma gratuita por el proyecto Public Knowledge Project sujeto a la Licencia General Pública de GNU. La revista se encuentra inscrita en el Registro Nacional de Publicaciones Seriadas de la SENESCYT Ecuador e ISSN International Centre, Francia (<https://portal.issn.org/custom-search/print/1390-9355/public>).

La *misión* es aportar con conocimiento científico, técnico y económico para el desarrollo de la Bioeconomía Ecuatoriana y del mundo, mediante el uso eficiente y equilibrado de los recursos naturales, así como el aprovechamiento adecuado de los recursos genéticos microbianos, las biomasas de carbono disponible y los bioprocesos tecnológicos existentes, que permita el máximo aprovechamiento del conocimiento para el bienestar del ser humano y del planeta.

La *visión* es inspirar a las futuras generaciones para que aporten con el desarrollo social y económico del planeta, basado en una Bioeconomía respetuosa con el medioambiente y el ser humano.

El *objetivo* es difundir el conocimiento sobre los avances de la ciencia, la tecnología y la innovación de la Bioeconomía Ecuatoriana y del mundo, mediante la herramienta online, que permita llegar a la mayoría de la población.

Revista Bionatura tiene alcance nacional e internacional, con especial enfoque en el desarrollo de la Bioeconomía y dirigida a la comunidad científica.

Cobertura de Temáticas

- Ciencias Naturales
- Ciencias de la Vida
- Biotecnología
- Biomedicina
- Microbiología
- Biología
- Biodiversidad
- Bioquímica

Contacto

<https://revistabionatura.org/>

editor@revistabionatura.org

info@revistabionatura.org

Cel. (+593) 99 579 7813

Equipo Editorial

Julio Pineda Insuasti, PhD

Director Ejecutivo CEBA/ CEBA Executive Director

Alejandro Pineda Soto

Director Científico CEBA/ CEBA Scientific Director

Gustavo Reyes Lara, MSc.

Director Innovación / Innovación Director

Daymé Mederos Matos, MSc.

Director Técnico / Technical Director

- **Luisa Matos Mosqueda, PhD**

Editor Jefe / Chief Editor

- **Lourdes Crespo Zafra, PhD**

Redacción y Corrección / Writing and Correction

- **Nicolas Vaca Viteri, Tec.**

Diseño Gráfico/ Graphic Design

- **Gabriela Veloz Salazar, MSc.**

Asistente publicación / Publishing Assistant

Contacto

<https://revistabionatura.org/>

editor@revistabionatura.org

info@revistabionatura.org

Cel. +593 99 579 7813

Ibarra-Ecuador



<https://cebaecuador.org/>

BIONATURA

(BIONATURA JOURNAL)

ISSN 1390-9355 soporte online

ISSN 1390-9347 soporte impreso

<https://revistabionatura.org/>

editor@revistabionatura.org

<https://portal.issn.org/custom-search/print/1390-9355/public>

BIORREFINERÍA

(BIOREFINERY JOURNAL)

ISSN 2602-8530 soporte online

<https://www.cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

<https://portal.issn.org/custom-search/print/2602-8530/public>

biorrefineria.ceba@gmail.com

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD**CONSEJO EDITORIAL PRINCIPAL/
PRINCIPAL EDITORIAL BOARD**

Dr. Fernando Albericio, Ph.D. Full Professor. University of KwaZulu-Natal. Durban, South Africa.

Dr. Spiros N. Agathos, Ph.D. Full Professor. Université Catholique de Louvain - UCLouvain. Louvain-la-Neuve, Belgium.

Dr. Frank Alexis. Research / Full Professor. Vice Chancellor Of Research and Innovation. Yachay Tech University, Ecuador.

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

Dr. Gerardo Ferbeyre. Full Professor. Département de biochimie. Faculté de Médecine. Université de Montréal, Canadá.

Dr Frank Camacho Casanova. Ph.D , Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Concepción. Chile.

Dr. Eduardo López Collazo. Director IdiPAZ Institute of Biomedical Research, La Paz Hospital, España.

Dr. Yovani Marrero-Ponce, Ph.D. Full Professor. Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Quito, Ecuador.

Dr. Manuel Limonta, Prof. PhD. Director: Regional Office for Latin American and the Caribbean International Council for Science (ICSU). Doctor honoris causa Autonomous Metropolitan University of México City (UAM). Dr. Honoris Causa - Universidad Central Ecuador.

Dr. Dagoberto Castro – Restrepo. Prof. PhD. Research and Development Director. Universidad Católica del Oriente. Rio Negro. Colombia.

Dr. Michael Szardenings. PhD. Ligand Development Unit. Fraunhofer Institute for Cell Therapy and Immunology. Germany.

Dra. Luciana Dente. Research Professor University of Pisa, Italy.

Dr. Costantino Vetriani. Research / Full Professor. Rutgers, The State University of New Jersey. USA.

Dra. Maritza Pupo. Profesora investigadora. Facultad de Biología. Universidad de la Habana, Cuba.

Dr. Fidel Ovidio Castro. Founder, Profesor investigador. Tecelvet, Chile.

Dra. Olga Moreno. Partner, Head Patent Division. Jarry IP SpA, Chile.

Dr. Carlos Borroto. Asesor de Transferencia de Tecnología. Dirección General at Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY), México.

Dr. Javier Menéndez. Manager Specialist Process and Product 5cP. Sanofi Pasteur, Canadá.

Dr. Pedro Valiente. Profesor investigador. Facultad de Biología. Universidad de la Habana, Cuba.

Dr. Diógenes Infante. Prometeo / SENESCYT. Especialista de primer nivel en Biotecnología. Universidad de Yachay Tech, Ecuador.

Dra. Georgina Michelena. Profesora Investigador. Organización de las Naciones Unidas. (ONU), Suiza.

Dr. Francisco Barona, Profesor Asociado. Langebio Institute, México

Dr. Gustavo de la Riva. Profesor Investigador Titular. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, México.

Dr. Manuel Mansur. New Product Introduction Scientist (NPI) at Elanco Animal Health Ireland, Irlanda.

Dr. Rolando Pajón. Associate Scientist, Meningococcal Pathogenesis and Vaccine Researc. Center for Immunobiology and Vaccine Development, UCSF Benioff Children's Hospital Oakland", Estados Unidos.

Dra. Lleana Rosado Ruiz-Apodaca. Profesor / Investigador. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Dr. Carlos Eduardo Giraldo Sánchez, PhD. Profesor / Investigador. Universidad Católica de Oriente. Rionegro-Antioquia/Colombia.

Dr. Mario Alberto Quijano Abril, PhD. Profesor / Investigador. Universidad Católica de Oriente. Rionegro-Antioquia/Colombia.

Dr. Si Amar Dahoumane, PhD. Research / Professor. Yachay Tech University, Ecuador.

Dr. Amit Chandra, MD, MSC, FACEP Global Health Specialist, Emergency Physician Millennium Challenge Corporation, London School of Economics and Political Science.

Dr. Silvio e. Perea, PhD. Head of the Molecular Oncology Laboratory. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. Cuba.

Dra. Daynet Sosa del Castillo, PhD. Directora del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador. CIBE-ESPOL.

Dra. Consuelo Macías Abraham. Especialista de II Grado en Inmunología, Investigadora y Profesora Titular, Doctora en Ciencias Médicas y Miembro Titular de la Academia de Ciencias de Cuba. Directora del Instituto de Hematología e Inmunología (IHI), de La Habana, Cuba.

Dr. René Delgado, PhD. IFAL / Presidente Sociedad Cubana de Farmacología. Cuba.

Dr. Ramón Guimil. Senior Director. Oligonucleotide Chemistry bei Synthetic Genomics, Estados Unidos.

Dr. Eduardo Penton. MD, PhD. Investigador Titular. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, Cuba.

Dr. Julio Raúl Fernández Massó, PhD. Investigador Titular. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, Cuba

Dra. Lisset Hermida. Investigadora Titular. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, Cuba.

Dr. Tirso Pons. Staff Scientist. Structural Biology and Biocomputing Programme (CNIO), España.

Dr. Che Serguera. French Institute of Health and Medical Research. MIRCen, CEA, Fontenay-aux-Roses Paris, France.

Dr. Jorge Roberto Toledo. Profesor Asociado. Universidad de Concepción, Chile.

Dr. Oliberto Sánchez. Profesor Asociado. Universidad de Concepción, Chile.

Dr. Amina el Sánchez Rodríguez, PhD. Director del departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

Dr. Felipe Rojas Rodas, PhD. Profesor / Investigador. Universidad Católica de Oriente. Rionegro-Antioquia/Colombia.

Dra. Isabel Cristina Zapata Vahos. Profesor / Investigador. Universidad Católica de Oriente. Rionegro-Antioquia/Colombia.

Dr. Felipe Rafael Garcés Fiallos, PhD. Profesor / Investigador. Vicerrectorado de Investigación, Gestión Social del Conocimiento y Posgrado Universidad de Guayaquil (UG), Ecuador.

Dra. Celia Fernández Ortega. PhD. Investigadora Titular. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, Editora ejecutiva Biotecnología Aplicada. Cuba.

Dra. Ligia Isabel Ayala Navarrete, PhD. Profesor / Investigador. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Ecuador.

Dr. Nalini kanta Sahoo, PhD. Professor & Head Department Marri Laxman Reddy Institute of Pharmacy. Hyderabad, Andhra Pradesh, India.

Dr. Saman Esmaeilnejad, PhD. Department of medical sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Dr. Olukayode Karunwi, PhD. Research / Professor. Clemson University. Clemson, United States.

César Paz-y-Miño, MD. MSc. Dr. Facultad de Ciencias de la Salud “Eugenio Espejo”, Universidad UTE, Quito, Ecuador.

Dra. Rosa Victoria González Zambrano, PhD. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López: Calceta, Provincia de Manabí, Ecuador.

Dr. Gualberto León Revelo, PhD. Universidad Politécnica Estatal Del Carchi: Tulcán, Carchi, Ecuador.

Dr. Ernesto Alonso Rosero Delgado, PhD. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Juan Carlos Fiallos Quinteros, MSc. Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente: Ibarra, Imbabura, Ecuador.

CONTENIDO

1. Artificial Intelligence applied to Biotechnology	9
2. Propuesta de algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal	22
3. Efecto del aditivo pentomuls 3c en la composición de los gases de combustión del petróleo crudo cubano	46
4. Sistema glinfático, barrera hematoencefálica y acuaporinas: su relación con la progresión de los gliomas	64
5. Potencialidades del aceite fusel. Tecnologías para su revalorización	91
6. Caracterización preliminar bromatológica de la <i>Salicornia bigelovii</i> en las salinas “El Real” y “Las Tunas”	113
7. Caracterización de los sistemas de producción caprina del municipio de Jimaguayú	127
8. Cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales	149
9. Comparación de tres tratamientos (aerobio, anaerobio y combinado) para la descomposición de la materia orgánica con el fin de obtener biogás y biofertilizante	173
10. Propuesta de acciones desde las ciencias básicas biomédicas para el enfoque “Una Salud”	186
11. Maternal transference of phenoloxidase and lysozyme activity in eggs from <i>Penaeus vannamei</i>	198

1 Artificial Intelligence applied to Biotechnology

Inteligencia Artificial aplicada a la Biotecnología

Albert Bordons

Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Catalonia, Spain; albert.bordons@urv.cat.

ORCID 0000-0002-5320-8740

* Correspondence: albert.bordons@urv.cat

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.1

Abstract

We are living the last technological revolution with artificial intelligence (AI), whose basis and techniques have precisely now deserved Nobel Prizes in Physics and Chemistry. This computing technology mimics aspects of human intelligence such as solving complex problems, communicating with humans, and learning from data and experience. Generative AI is entering quickly in our lives, and AI is already used in many economic sectors, and especially in research and its applications, as in Biotechnology. The revolution of biotechnological advances in genomic sequencing, together with those of protein structures, has given rise to an exponential growth of data, which requires automatic tools such as AI. Here the main applications of AI to biotechnology are reviewed, being the biomedical and pharmaceutical the most common. It is worth noting for instance the diagnosis of diseases as cancer, or the prediction of Alzheimer's. There is also the relevant AlphaFold software, a deep learning system which can predict protein structures, their folding, and interactions protein-drugs. IA applications to other biotechnology fields are also reviewed, such as plant biotechnology—for instance selecting suitable genes for transgenic proteins—or environmental biotechnology—for optimization of removal of pollutants—or for genome editing.

Keywords. Artificial intelligence; biotechnology; machine learning; deep learning; data mining; genomics; disease diagnosis; algorithm; molecular; environment.

What is Artificial Intelligence?

There are many definitions for "Artificial Intelligence" (AI), as the term **intelligence** has a complex and variable meaning. Human intelligence, according to an agreed-upon definition ¹, is the mental capacity that involves the ability to reason, plan, solve problems, think abstractly, understand complex ideas, and learn quickly from experience and the environment.

Apart from this "natural" human intelligence, **artificial** intelligence (**AI**, from now on) can be defined as a part of computing dedicated to the development of algorithms —sets of instructions for executing a task or solving a problem— that allow a machine —usually a computer— having some reasoning abilities that mimic aspects of human intelligence.

Historically, aside from the previous development of logic and mathematics from the classical Greeks through the medieval philosopher Ramon Llull, or Pascal and Leibniz in the 17th century, AI properly began with the computational models of the English mathematician Alan Turing in 1936, father of computer science, and AI was established as an academic discipline in the late 1950s in British and American universities.

In the years that followed, AI went through cycles of optimism followed by periods of disappointment and loss of funding, known as the AI winter. However, in the 1980s, the pioneering methods of neural networks that are the basis of today's machine learning were proposed by the recent winners of the 2024 Nobel Prize in Physics, the American John Hopfield, and the British Geoffrey Hinton ². The 1990s saw a revolution in computing with personal computers and the Internet for almost everyone, another basis of today's AI. An important milestone then was IBM's Deep Blue supercomputer, specialized in playing chess, which in 1997 managed to beat the world champion Garry Kasparov ³, and was therefore the first time that a machine with a very specific AI outperformed humans in complex operations.

Until the beginning of the 21st century, many computer programs were developed applied to various sectors such as finance, medical diagnosis, research, and games (such as Deep Blue) that are based on logical-mathematical deductive reasoning: this is what is called **symbolic AI**, where algorithms developed by programmers have explicit formulation rules ⁴.

However, the most well-known AI today is **non-symbolic or connectionist AI**, which is based on statistical inductive methods. In this case, the key are the artificial **neural networks**, the mathematical models of **machine learning**, inspired by the biological nervous system, with interconnected nodules, among which stand out the so-called **deep learning** neural networks in multilayers, connected to each other. Learning is based on algorithms that process examples from a huge set of data giving possible answers that gradually change in successive iterations as the hits increase, learning to classify the input data within a fixed set of possible output categories ⁵. In summary, machine learning can be defined as the science of programming computers in such a way that they learn from data ⁶.

This development of the software has gone in parallel with the great improvement in the efficiency of the architecture of the transformers, that is the **hardware**, with **supercomputers**. All this has given

rise to the current boom since 2020, with companies, universities and laboratories dedicated to AI, mainly in California, but with tools and applications used globally.

The most well-known tools are those of **generative AI** which can create text and images, but also many applications commonly used by almost everyone, such as advanced Internet search engines, recommendation and advertising systems, interaction with human speech, automatic translation of text and voice, maps using, virtual assistants, conversational chatbots, autonomous cars and so many others. In fact, many cutting-edge AI applications are not perceived as AI, and often when one has become useful and common enough it is no longer labeled as AI ⁷. Current AI, and not only generative AI, is also applied in many economic sectors, including administrations, education, communication, industries of all kinds, and especially at the level of research and its applications, as we will see with biotechnology.

For a better understanding of how AI works in general I recommend Melanie Mitchell's book ⁸.

Relationship of Artificial Intelligence with Biotechnology

Computer technology —the basis of AI— has had an extremely rapid exponential growth in the last 50 years, like no other discipline. The number of transistors in each electronic chip has been doubling every 2 years, a phenomenon known as Moore's law. The only other area that has gone at the same rate, and even faster, is biotechnology. The revolution of biotechnological advances in genomic sequencing, together with those of protein structures and other molecules, has given rise to an exponential growth of data, which are deposited by the thousands every day in databases such as GenBank ([NCBI](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/)), at a rate of doubling its number every year, now exceeding 10^{16} bytes of information ⁹.

To work with this enormous amount of biotechnological information, automatic tools are needed that integrate data from different sources, and process the relevant information in order to generate new knowledge and be able to use this to develop new processes, compounds, products and services, or to improve the existing ones. In fact, it is unthinkable that any significant advances in biotechnology can be made in the future without the large volumes of data stored online. We can see for example some of the databases used by the European Bioinformatics Institute of the European Molecular Biology Laboratory (EMBL-EBI) in the review by Cook *et al.* ¹⁰.

This **data mining** has become one of the pillars of biotechnological research. In many cases, the complete process includes integrating information from multiple sources, applying statistical and machine learning techniques to explore and extract insights from that integrated information, and

using those insights for the design, control, and improvement of bioprocesses ⁹. A large part of these techniques is considered artificial intelligence.

It must be emphasized that AI is entirely based on digital technology, and therefore **digitization** is the first step for any application to any biotechnological research or process. AI systems are integrated in many cases with other digital technologies such as sensors, cyber-physical systems (robots), and techniques that allow the automation of tasks and the collection and analysis of multiple data ¹¹.

The use of AI tools in biotechnological research practically began in 2000, as reflected in the publications in indexed international scientific journals and since then it has been increasing exponentially (Table 1). Most of a total of 3500 articles have been published in recent years. The keywords related to AI most referenced in these articles are Machine Learning and Deep Learning, that is, the most used methods. Apart from these, some of the most cited keywords specific to the biotechnological field are Microarray and Gene expression, which indicate that gene expression studies are one of the fields where AI techniques are used the most.

Table 1. Number of annual biotechnological research publications using AI tools (Modified from Xu *et al.* ¹²).

Year of publication	No. of publications
2000	0
2005	40
2010	110
2015	130
2020	670

According to Xu *et al.* ¹², two of the three most referenced from those 3500 articles are about improving AI methods themselves and the third —published in Nature Biotechnology, on the identification of specific gene sequences— is more specific to biotechnology ¹³. AI is widely used in biotechnology to solve a wide variety of problems. However, the most popular topics are those related to the field of health, that is, biomedical and pharmaceutical applications.

Biomedical and pharmaceutical applications of Artificial Intelligence

As we have seen, some of the most common are those related to genomics, and especially for the **genetic diagnosis of diseases**, as is the case with **cancer**¹⁴. For example, Cristiano *et al.*¹⁵ developed a very interesting work to detect cancer at an early stage based on the profiles of the sequences of the free DNA fragments (cell-free DNA, cfDNA) found in the blood plasma, a method called DELFI by the authors. This method has the clear advantage of not being invasive since a small blood sample is enough. Cancer patients have some altered sequences of cfDNA fragments due to various mutations compared to healthy individuals, but it is very difficult and laborious to detect these changes by genetic markers or other common techniques. In this work, detection has been achieved by comparing cfDNA fragmentation profiles of 208 patients with 7 types of cancer and 215 healthy individuals, using machine learning techniques combined with other techniques.

The machine learning model used was the gradient tree boosting algorithm, which includes both the characteristics of the fragmentation profiles in certain genomic intervals, as well as the numbers of copies of chromosomes and mitochondrial DNA. With this algorithm, validation is done with multiple layers of training data and test data in different combinations, as in other machine learning techniques. Finally, a score is obtained (DELFI score) that can be used to classify individuals as healthy or having cancer, with a good probability.

With the samples correctly identified from cancer patients with 90% specificity, another similar algorithm trained to predict the type of cancer —breast, colorectal, lung, ovarian, pancreatic, gastric, or bile duct— was applied, and the result was 75% specific of the type of cancer. Therefore, this method is very promising for the early detection and control of human cancer¹⁵.

Apart from cancer, there are many applications of AI in the **diagnosis and prognosis of other diseases**. Some examples are the detection of tumoral lymph nodes¹⁶ or the prediction of Alzheimer's¹⁷. In addition, the AI tools can analyze medical images —such as X-rays, CT scans, and MRIs— to detect signs of disease with high accuracy. They can also combine clinical data to predict disease course and assess response to treatment¹⁸. AI helps identify biomarkers, which are biological indicators of diseases or health conditions. Machine learning models analyze omics data (genomics, proteomics, metabolomics) to find patterns that indicate the presence of diseases or response to therapies¹⁹.

Another case that needs to be commented on is the **AlphaFold software** for the field of **molecular biology**, designed as a deep learning system, and specifically the AlphaFold3 version²⁰, which has the prediction of the protein structure as its main function, and depending on the molecules that surround it. Consequently, this software can predict the interactions of proteins and other biomolecules with drugs. In this way, AlphaFold can predict in three dimensions how proteins fold

and what form they take when they interact with other smaller molecules, be it one or many. These can be drugs, and this is how their effects can be seen, since these depend on the form adopted by the proteins with which they interact.

AlphaFold was developed in 2018 by DeepMind, a company based in London —founded by Demis Hassabis—, which is a subsidiary of Alphabet Inc. (Google) of California. The version AlphaFold2 already had a large protein database and [can be used online at their free web](#). Now DNA, RNA and many other ligand molecules have also been added to Alphafold3, such as antibodies, ions, or many drugs, in addition to the fact that the database already has 200 million protein structures ²¹. Just these days the Nobel Prize in Chemistry 2024 has been awarded to Demis Hassabis and John Jumper, both from Deep Mind, together with David Baker from Seattle (USA) for their predictions in structure and the computational design of proteins ²².

The main feature of AlphaFold's algorithms is their very high machine learning capacity. The software was started by training it on about 170,000 proteins from public databases of sequences and structures and uses a machine-learning neural network that takes a piecemeal approach and then puts them together into a joint solution. Based on the genetic sequences and ligands and covalent bonds, the possible alignments of multiple sequences are performed by pairs in different modules with trial-and-error recycling, generating the positions of each atom, and in comparative modules the different sections of the protein are being predicted, until reaching the final module of the total structure ²⁰.

AlphaFold is being used in many studies to design new drugs and to find several disease antigens to fight. For example, it has been used to predict the structure of some proteins of SARS-CoV-2, the agent of COVID-19, before being confirmed experimentally. One of the predicted proteins participates in the lysis of the host cell to release the replicated virions ²³.

Apart from AlphaFold, there are quite a few other applications of machine learning for drug discovery, which identify potential therapeutic compounds more efficiently than traditional methods. As mentioned, large amounts of biological data are analyzed to predict drug-target interaction, reducing the time and cost of new drug development ^{24, 25}.

AI applications to other fields of Biotechnology

AI has strongly entered **precision agriculture**, but especially with non-biotech applications, such as the use of AI to predict crop yields, detect diseases from images, optimize the use of resources such as water and fertilizers, or the use of fruit harvesting robots with built-in digital vision and controlled by AI ²⁶. For example, deep learning with multilayer neural networks, called convolutional ones, is

applied to the processing of images taken by drones or satellites, in a similar way to facial image recognition or searches for images from common browsers. There is a good review of the use of these convolutional networks in agriculture by Kamilaris & Prenafeta-Boldú ²⁷.

AI applied to Biotechnological agriculture

The properly speaking biotechnological agriculture or **plant biotechnology** includes a range of biological techniques, both traditional and more modern, in which agricultural species are modified and with the possible use of microorganisms, to improve the yield of crops or obtain new products, while guaranteeing food safety and sustainability. These techniques include selection and crossing of varieties, mutations and genetic modifications or the introduction of foreign genes by recombinant DNA and other advanced techniques ²⁸.

Improved yield can be achieved through disease control by making plants resistant to disease-causing microorganisms, whether bacteria, fungi, or viruses. Another field of improvement is to achieve tolerance to abiotic stress such as drought, and other applications are phytoremediation, to remove harmful compounds such as heavy metals, and the production of secondary metabolites and other compounds of industrial interest ²⁹.

The applications of **AI in plant biotechnology** are very diverse and include, among others, the prediction of parental combinations in hybridizations or the classification of genotypes and genetic diversity. However, most applications carried out are modeling and prediction studies of various parameters, such as seed yield or other plant characteristics or disease predictions, or estimation of water stress tolerance ⁶.

AI can also be used to identify and select suitable genes to synthesize transgenic proteins and produce them in plants, in what is called **molecular agriculture**. The most interesting thing in this field is to produce animal proteins in plants, in a more sustainable and less polluting way than obtaining them with animals in intensive farms. There are currently several companies that produce pig, cow, or egg proteins, as well as enzymes and other molecules, in plant cells ³⁰.

An example is the synthesis of cow's milk casein in potatoes, a transgenic protein ³¹. To make this possible, the Israeli computational biology R&D company Evogene used an AI program called [GeneRator-AI](#), that identifies and selects relevant genes linked to certain phenotypes or characters from the [NCBI databases](#), which can be used to clone them into organisms that are easy to work with. In this case, with GeneRator-AI the genes of the 4 subtypes of cow's milk casein were selected and the potato plant was chosen as the optimal organism to clone them. With this, plants were obtained

that accumulate casein in their leaves. Once the casein is extracted, cheeses can be made, as is done by the company [Finally Foods](#) ^{32, 31}.

AI applied to Environmental Biotechnology

This includes many different microbial processes with the aim of preserving the environment, such as the biodegradation of organic waste in water and soil, the elimination of pollutants —especially xenobiotic compounds—, restoration of biodiversity, and use of some biodegradable waste to produce sustainable fuels, such as biogas or biofuel. As in all other industries, AI techniques are also useful for working with lots of data and drawing more reliable conclusions from them.

An example is the optimization of the **removal of the pollutant 2,4,6-trinitrotoluene (TNT)** by activated sludge with aeration, using artificial neural networks, published by Karimi *et al.* (2023)³³. TNT or 2-methyl-1,3,5-trinitrobenzene (IUPAC name) is an explosive, toxic, irritating and carcinogenic aromatic hydrocarbon. In addition to being used as an explosive in mines and military industries, it is also used for the synthesis of many different compounds such as drugs, biocides, dyes, and others, and for this reason it is often found in contaminated wastewater. TNT can be removed from these with the usual biological treatments of activated sludge from sewage treatment plants, but it has a high oxygen demand (BOD) for its biodegradation and the removal efficiency is not very high. That is why it is necessary to adjust the parameters of the purification systems well to achieve biodegradation of TNT, and AI mathematical models are a good option.

To eliminate TNT, the authors ³³ have used the ANFIS model (adaptive neural fuzzy inference system), which allows modeling of input-output relationships in complex systems. These algorithms involve learning with the training data and then solve it in a fuzzy inference system —where the variables can have partial values, between 0 and 1—, while ignoring the deeper layers, without complex mathematical models, and more flexible and faster for biological treatment processes. The result was very good, with a 97% removal of TNT, at optimal conditions for the parameters of the treatment plant ³³.

AI applied to genome editing

Various AI tools can be applied to improve genome editing, a type of genetic engineering in which a piece of DNA is inserted, modified, or replaced in the genome of a living being. The best known and valued editing system is CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats), consisting of a guide RNA component and an endonuclease, such as Cas9. In nature **CRISPR-Cas9** is used by bacteria to defend themselves from viral attacks. This genomic DNA editor is being

successfully used in various biotechnological sectors, both in research and applied to biomedicine, agriculture or environmental or others ³⁴.

However, since CRISPR-Cas9 is an editor derived from bacteria, often presents some drawbacks when brought to other organisms, such as human cells. A good alternative to overcome these evolutionary constraints is to design genome editors with AI ³⁵, using a **large language model**, that is, a neural network with many trained parameters, like the well-known AI programs that generate texts or images. In this case the parameters are genetic data of the entire biological scale, and they have prepared a database of one million CRISPR operons through systematic data mining of 26 terabases (10^{12}) extracted from genomes and metagenomes. In this way, the AI models ³⁵ can generate many more RNA sequences for CRISPR-Cas than are currently available, and with that human genes can be edited much more efficiently.

Conclusions

Currently we are experiencing a digital revolution, especially in the world of communications, and the term **Artificial Intelligence** (AI) is on everyone's lips largely due to generative AI with virtual assistants, conversational chatbots and generators of texts and images. In addition, AI is being applied to all business economic sectors and administrations to automate processes, perform data analysis and predictive market analysis, create content of all kinds, personalize advertising recommendations, and many other possibilities. This boom is generating a lot of expectations, even financial ones, sometimes exaggerated, and at the same time AI, as a new tool that it is, generates fears and misgivings regarding the risks and frauds that its use can entail.

Despite this, as a very useful new technology, more and more profit will be drawn from it, and with the right controls, it will lead to further advances for humanity. This is very clear in the world of **science and technology**. AI tools are being used in many research laboratories and technology centers as tools that allow better analysis of experimental results and easier design of new ones.

The relevance of AI is evident with the **Nobel prizes** awarded these days, the one in Physics to the pioneers who developed the bases of neural networks and the one in Chemistry precisely for the application of AI to Biotechnology, specifically in the protein structure.

Within science and technology, precisely **biotechnology** is the field that is providing the most advances and benefits in recent times. The two last revolutions since the end of the 20th century are the digital one—including AI lately—and biotechnology, especially that related to health. Advances in biotechnology, with genomic sequencing and protein structure resolution, and all related omics,

are increasingly dependent on the extensive use of massive amounts of data, requiring AI tools to analyze them and draw reliable results and conclusions.

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The author declare no conflict of interest.

References

1. Gottfredson, L.S. Mainstream science on intelligence: an editorial with 52 signatories, history and bibliography. *Intelligence*, **1997**, 13-23. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(97\)90011-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(97)90011-8)
2. The Nobel Prize in Physics. Nobel Prize Outreach AB. *NobelPrize.org*, **2024**. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2024/summary/>
3. Espeso, P. Deep Blue, el ordenador con una sola misión: ganar al humano. *Xataka*, **2024**. <https://www.xataka.com/otros/deep-blue-el-ordenador-con-una-sola-mision-ganar-al-humano>
4. Wikipedia contributors. Symbolic artificial intelligence. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 2024. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Symbolic_artificial_intelligence&oldid=123563212
5. Caudai, C., Galizia, A., Geraci, F. *et al.* AI applications in functional genomics. *Comput Struct Biotech J*, **2021**, 19, 5762-5790. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.10.009>
6. Niazian, M. & Niedbala, G. Machine Learning for Plant Breeding and Biotechnology. *Agriculture*, **2020**, 10, 436. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100436>
7. Kaplan, A. & Haenlein, M. Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, **2019**, 62, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
8. Mitchell, M. Artificial Intelligence: a guide for thinking humans. **2019**, Farrar, Strauss and Giroux, USA. <https://melaniemitchell.me/aibook/>
9. Oliveira, A.L. Biotechnology, Big Data and Artificial Intelligence. *Biotech J*, **2019**, 1800613, 1-6. <https://doi.org/10.1002/biot.201800613>
10. Cook, C.E., Bergan, M.T., Cochrane, G. *et al.* The European Bioinformatics Institute in 2017: data coordination and integration, *Nucleic Acids Research*, **2018**, 46, D21–D29. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1154>
11. Holzinger, A., Keiblinger, K., Holub, P. *et al.* AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnol*, **2023**, 74, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.02.001>

12. Xu, D., Liu, B., Wang, J & *et al.* Bibliometric analysis of artificial intelligence for biotechnology and applied microbiology: Exploring research hotspots and frontiers. *Front Bioeng Biotechnol*, **2022**, 10.3389. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.998298>
13. Alipanahi, B., Delong, A., Weirauch, M. *et al.* Predicting the sequence specificities of DNA- and RNA-binding proteins by deep learning. *Nature Biotechnol*, **2015**, 33, 831–838. <https://doi.org/10.1038/nbt.3300>
14. NIH. AI, Machine Learning and Genomics. National Human Genome Res Inst, *National Institute of Health*, USA, **2024**. <https://www.genome.gov/about-genomics/educational-resources/fact-sheets/artificial-intelligence-machine-learning-and-genomics>
15. Cristiano, S., Leal, A., Phallen, J. *et al.* Genome-wide cell-free DNA fragmentation in patients with cancer. *Nature*, **2019**, 570, 385. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1272-6>
16. Wu, S., Wang, Y., Hong, G. *et al.* An AI model for detecting pathological lymph node metastasis in prostate cancer using whole slide images. *Clinical Med Lancet*, **2024**, 71, 102580. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.102580>
17. Nield, D. Breakthrough AI can now predict Alzheimer's up to 7 years in advance. *Science Alert Health*, **2024**, 3, 14. <https://www.sciencealert.com/breakthrough-ai-can-now-predict-alzheimers-up-to-7-years-in-advance>
18. Savage, N. AI's keen diagnostic eye. *Nature Outlook*, **2024**, 4, 18. <https://www.nature.com/articles/d41586-024-01132-2>
19. Chudzik, A., Sledzianowski, A. & Przybyszewski, A.W. Machine Learning and Digital Biomarkers Can Detect Early Stages of Neurodegenerative Diseases. *Sensors*, **2024**, 24:1572. <https://doi.org/10.3390/s24051572>
20. Abramson, J., Adler, J., Dunger, J. *et al.* Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3. *Nature*, **2024**, 10.1038. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07487-w>
21. Camps, J.M. La IA de Google que vol revolucionar la indústria farmacèutica: com funciona. *3Cat*, **2024**, 5, 9. <https://www.ccma.cat/324/la-ia-de-google-que-vol-revolucionar-la-industria-farmaceutica-com-funciona/noticia/3291709/>
22. The Nobel Prize in Chemistry 2024. Nobel Prize Outreach AB. *NobelPrize.org*, **2024**, 10, 9. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2024/summary>
23. Google Deep Mind. Computational predictions of protein structures associated with COVID-19. *Deep Mind, Google*, **2020**, 8, 4. <https://deepmind.google/discover/blog/computational-predictions-of-protein-structures-associated-with-covid-19/>

24. Jiménez-Luna, J., Grisoni, F., Weskamp, N. *et al.* Artificial intelligence in drug discovery: recent advances and future perspectives. *Expert Opinion on Drug Discovery*, **2021**, 16(9), 949–959. <https://doi.org/10.1080/17460441.2021.1909567>
25. Noto, M. Machine learning uncovers new ways to kill bacteria with non-antibiotic drugs. *Science Alert*, **2024**, Health, 4, 17. <https://www.sciencealert.com/machine-learning-uncovers-new-ways-to-kill-bacteria-with-non-antibiotic-drugs>
26. Chebrolu, N., Lottes, P., Schaeffer, A. *et al.* Agricultural robot dataset for plant classification, localization, and mapping on sugar beet fields. *Int J Robot Res*, **2017**, 36, 1045–1052. <https://doi.org/10.1177/0278364917720510>
27. Kamilaris, A. & Prenafeta-Boldú, F.X. A review of the use of convolutional neural networks in agriculture. *J Agric Sci* **2018**, 156, 312-322. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/review-of-the-use-of-convolutional-neural-networks-in-agriculture/15B08C5CDD85F21EEEF7387536149>
28. Liu, W., Yuan, J.S. & Stewart, C.N. Advanced genetic tools for plant biotechnology. *Nat Rev Genet*, **2013**, 14, 781–793. <https://doi.org/10.1038/nrg3583>
29. Altman, A. & Hasegawa, P.M., eds. Plant Biotechnology and Agriculture; Prospects for the 21st century. *Academic Press*, **2012**.
30. Romanos, B. Agricultura molecular en plantas: ¿proteína animal en vegetales? *TechFood Magazine*, **2023**, 10, 16. <https://www.techfoodmag.com/agricultura-molecular-en-plantas-producir-proteina-animal-en-plantas/>
31. Watson, E. Casein ... from potatoes ? Molecular farming startup Finally Foods emerges from stealth. *AgFunderNews*, **2024**, 4, 2. <https://agfundernews.com/casein-from-potatoes-molecular-farming-startup-finally-foods-emerges-from-stealth>
32. Gavilán, M. & Muniesa, J. Plantas de patatas productoras de caseína gracias a la agricultura celular. *Gastronomía y Cia*, **2024**, 4, 3. <https://www.gastronomiaycia.com/2024/04/03/plantas-de-patatas-productoras-de-caseina-gracias-a-la-agricultura-celular/>
33. Karimi, H., Mohammadi, F., Rajabi, S. *et al.* Biological 2,4,6-trinitrotoluene removal by extended aeration activated sludge: optimization using artificial neural network. *Sci Reports*, **2023**, 13, 9053. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34657-z>
34. Zhang, F., Wen, Y. & Guo, X. CRISPR/Cas9 for genome editing: progress, implications and challenges. *Hum Mol Genet*, **2014**, 23, R40–R46. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddu125>

35. Ruffolo, J.A., Nayfach, S., Gallagher, J. *et al.* Design of highly functional genome editors by modeling the universe of CRISPR-Cas sequences. *bioRxiv*, **2024**, 4, 22, Cold Spring Harbor Lab. <https://doi.org/10.1101/2024.04.22.590591>

| **Received:** 15 October 2024 | **Accepted:** 14 November 2024 | **Published:** 15 December 2024 |

Citation: Bordons, Albert. Artificial Intelligence applied to Biotechnology. *Bionatura* 2024; Volume 9 No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>
All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



2 Propuesta de algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal **Proposal of algorithm for the utilization of prosthetic accessories in the brachytherapy of the oral cancer**

Dr. Isidro de Jesús Nápoles González.^{1*} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4365-3162>

Dr.C. Alfredo Álvarez Rivero.² <https://orcid.org/0000-0002-8773-911X>

Dr.C. Jorge Santana Álvarez.³ <https://orcid.org/0000-0001-5448-5136>

Dr.C. Silvia María Díaz Gómez.⁴ <https://orcid.org/0000-0002-6314-3434>

Dra. Tania Victoria Puerto Pérez.⁵ <https://orcid.org/0000-0003-2873-8413>

¹ Universidad de Ciencias Médicas. Camagüey, Cuba. isidro.cmw@infomed.sld.cu

² Universidad de Ciencias Médicas. La Habana, Cuba. mcimeq@infomed.sld.cu

³ Universidad de Ciencias Médicas. Camagüey, Cuba. jorsan.cmw@infomed.sld.cu

⁴ Universidad de Ciencias Médicas. Camagüey, Cuba. msilvia.cmw@infomed.sld.cu

⁵ Universidad de Ciencias Médicas. Camagüey, Cuba. taniapp.cmw@infomed.sld.cu

Correspondencia

Dr. Isidro de Jesús Nápoles González

Calle Pasaje B No. 4 Reparto El Corajo. Camagüey, Cuba. Teléfono: 5355287522

Email isidro.cmw@infomed.sld.cu

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.2

RESUMEN

En los países desarrollados el cáncer constituye una de las primeras causas de muerte. En consecuencia, se insiste en propiciar el cumplimiento de las prioridades establecidas para el control de esta enfermedad; en este sentido se realizó una investigación de desarrollo e innovación tecnológica, para la elaboración de un algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal y su evaluación por el criterio de expertos desde enero a mayo del 2024. La estructura y contenido del algoritmo fueron sometidos a la evaluación del grupo nominal. Se calcularon medidas descriptivas, en la que se destacan valores entre 4,70 y 5,00 como promedio. Se observó que todos los ítems estuvieron por encima de este valor (0,47). Además, se calculó el índice de validez de contenido a partir de la razón obtenida para cada ítem por los modelos de Lawshe y Tristán con valores de 81 % y 91 % respectivamente. Los especialistas consideraron importante

tener un instrumento metodológico práctico, que servirá de orientación para la confección de accesorios protésicos para la braquiterapia del cáncer bucal.

Palabras clave: validación; escala de evaluación; índice de Lawshe; panel de expertos.

ABSTRACT

In the developed countries cancer constitutes one of the fatal first causes. In consequence, he insists on propitiating the fulfillment of the priorities established for the control of this disease; In this sense came true an investigation of development and technological innovation, for the elaboration of an algorithm for the utilization of prosthetic accessories in the brachytherapy of the oral cancer and his evaluation for the opinion of experts since January to May of 2024. The structure and content of the algorithm were subjected to the evaluation of the nominal group. They calculated descriptive measures, in which values between 4.70 and 5.00 stand out as an average. It was observed that all the items were above this value (0.47). Furthermore, the rate of content validity from the reason obtained for each item by the models of Lawshe and Tristán with values of 81 % and 91 % respectively was calculated. The specialists considered important having a practical methodological instrument, that will serve as orientation for the confection of prosthetic accessories for the brachytherapy of the oral cancer.

Keywords: Validation; Scale of evaluation; Lawshe's index; Panel of experts.

INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados el cáncer constituye una de las primeras causas de muerte. En consecuencia, se insiste en propiciar el cumplimiento de las prioridades establecidas para el control de esta enfermedad, que se manifiesta de diferentes maneras según las regiones y su grado de desarrollo.^{1,2,3,4}

En el año 2018 a nivel mundial, fueron diagnosticados 354 864 nuevos casos y fallecieron 177 384 personas, lo que supone aproximadamente el 2 % de todas las muertes por cáncer en ese año, y en el año 2020 se diagnosticaron aproximadamente 18,1 millones de casos nuevos de cáncer en el mundo, y se pronosticó que las cifras aumentarían en las dos próximas décadas hasta los 27,0 millones. En España se estima que en el año 2022 alcanzará los 280 100 casos y para el 2040 la incidencia alcance los 341 000 casos.^{5,6}

El cáncer de cabeza y cuello (CCC) representa el 8,17 % de todos los casos nuevos de tumores malignos en Cuba, y es el quinto lugar entre las principales causas de cáncer con una variación de un 4,88 % para las mujeres, a un 11,02 % para los hombres.⁷ El bucal ocupa el sexto lugar en el mundo, es aproximadamente el 4 % de todos los tipos de cáncer y estos a su vez ocasionan entre el 3 y el 10

% de las muertes. Es el segundo más frecuente de las neoplasias malignas de cabeza y cuello después del laríngeo, y se desarrollan, a partir de lesiones precancerosas preexistentes.⁸

Suárez y de la Cruz,⁹ hacen referencia a otros autores que plantean que el cáncer oral y entre ellos el de labio es más común en los hombres que en las mujeres. La mayor frecuencia en hombres se asocia al hecho de estar más expuesto a los factores de riesgo, sobre todo a las radiaciones solares porque es más común la realización de labores que exponen a las radiaciones solares. También en este grupo poblacional es más frecuente el hábito de fumar y el alcoholismo. El carcinoma de labio se caracteriza por su localización visible, lo que implica un problema estético adicional, que contribuye a afectar aún más la calidad de vida de los enfermos.

El objetivo de esta investigación fue diseñar un algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Clasificación de la investigación: se realizó una investigación de desarrollo e innovación tecnológica, con un trabajo de desarrollo para la elaboración de un algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal y la evaluación de este por el criterio de expertos desde enero a mayo del 2024. La investigación quedó delimitada en dos etapas:

- Etapa de preparación
- Etapa de elaboración del algoritmo

Etapa de preparación: se concretó el conocimiento teórico sobre el cual se sustentó el algoritmo, a través de la valoración de nuevas evidencias científicas documentales.

Método de recolección de datos: los autores realizaron una revisión bibliográfica analítica para recopilar la información científica del tema a partir de diversos materiales bibliográficos que permitió la elaboración del algoritmo.

Estrategia de búsqueda y criterios de elección: se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos científicos publicados en las bases de datos electrónicas PubMed, Medline, Scopus, SciELO, Cochrane y buscadores como Google desde mayo de 2012 hasta mayo de 2024. Se trató de un análisis documental sobre algoritmos y protocolos de atención estomatológica, radioterapia, braquiterapia y uso de accesorios protésico en el tratamiento del cáncer bucal, así como, los fundamentos científico-teóricos que permitieron plantear los aspectos fundamentales para la creación del algoritmo.

Los artículos relacionados con el tema cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: libros de textos, tesis y artículos científicos disponibles en internet e impresos sin restricciones idiomáticas, documentos disponibles a texto completo.

El power point y los resúmenes se consideraron como criterios de exclusión.

Etapas de elaboración del algoritmo:

- Definición de la estructura del algoritmo y su contenido.
- Redacción y análisis de la versión preliminar del documento.
- Redacción del documento definitivo.

Definición de la estructura y contenido del algoritmo:

En la búsqueda bibliográfica realizada no se encontraron evidencias a nivel nacional e internacional, de un instrumento que sirviera de guía para determinar la estructura y contenido del algoritmo, por lo que se fundamentaron en la experiencia de más de 30 años en la confección de estos accesorios protésicos para la braquiterapia del cáncer de cabeza y cuello en el Servicio de Prótesis Bucomaxilofacial del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ) y el Servicio de Radioterapia del Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) ambos situados en La Habana, Cuba.

Se dispuso de elemento en la elaboración de protocolos aportados por Bastarrechea¹⁰ en su tesis doctoral titulada “Protocolo de atención estomatológica integral al paciente de riesgo quirúrgico”, Rojas¹¹ (“Protocolo de actuación ante urgencias y emergencias médicas durante la atención estomatológica”) y Justo¹² (“Protocolo de actuación para las rehabilitaciones protésicas estomatológicas con implantes dentales de carga inmediata”). Además, de la contribución de Cañedo,¹³ Lambert y Cobián,¹⁴ Delgado y colaboradores,¹⁵ Borda,¹⁶ Uriarte¹⁷ y Pérez¹⁸ en la confección de algoritmos.

También, para el manejo clínico del paciente y los pasos de laboratorio en la confección de los diferentes accesorios se consideró lo descrito en los libros:

- Manual de procedimientos para laboratorios de prótesis estomatológicas.¹⁹
- Prótesis parcial removible.²⁰
- Maxilofacial rehabilitation.²¹
- Prótesis bucomaxilofacial. Procedimientos de laboratorio.²²

Universo, criterios de selección de especialistas:

Para definir la estructura y contenido del algoritmo, se realizó una consulta a especialistas mediante la técnica del consenso del grupo nominal. Fueron seleccionados de manera preliminar un total de 10 especialistas, teniendo en cuenta los siguientes criterios: disposición a participar en la investigación, más de 10 años de experiencia profesional, categoría docente de auxiliar o titular, especialistas de segundo grado, másteres o doctores en ciencias, conocimientos acerca del tema que se investiga, capacidad de análisis y pensamiento crítico.

En una sesión de trabajo se llegó a consenso sobre la estructura y el contenido del algoritmo de actuación, para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia del cáncer bucal. Se realizó

de forma ordenada por parte de los participantes y las diferentes ideas, opiniones o sugerencias acerca del algoritmo presentado, fueron anotadas y recogidas por el investigador, expuestas y discutidas en el colectivo cada una de ellas.

Operacionalización de las variables.

Se propuso por los autores incluir 14 variables; tres para conformar la estructura del algoritmo con subacápites en cada uno de ellas que conformaron las variables del contenido del instrumento.

1- Entrada del algoritmo: variable cualitativa nominal politómica. Ejecución de actividades necesarias para garantizar el desarrollo de las actividades. Incluye subacápites referidos a:

1.1- Objetivo general: variable cualitativa nominal politómica. Indican la situación que se espera tras la aplicación del algoritmo.

1.2- Profesionales a quienes va dirigido el algoritmo: variable cualitativa nominal politómica. Profesionales a los que está orientado los procedimientos del algoritmo.

1.3- Población diana: variable cualitativa nominal politómica. Personas susceptibles a la aplicación del algoritmo.

1.4- Recursos necesarios para la atención al paciente: variable cualitativa nominal politómica. Todo recurso material necesario durante el proceso.

1.5- Medidas de protección a emplear por el personal de salud: variable cualitativa nominal politómica. Empleo del equipo de protección individual (EPI). Manejo cuidadoso de los elementos corto punzantes. Control de la higiene e infecciones.

2- Proceso del algoritmo: variable cualitativa nominal politómica. Cumplimiento de actividades necesarias para garantizar el diagnóstico y tratamiento que sigue una lógica temporal. Incluye subacápites referidos a:

2.1- Actuación de los miembros del grupo multidisciplinario: variable cualitativa nominal politómica. Define la participación de cada especialista en el proceso.

2.2- Consulta multidisciplinaria: variable cualitativa nominal politómica. Grupo de trabajo multidisciplinario con más de una categoría profesional.

2.3- Coherencia y secuencia lógica de tratamiento protésico: variable cualitativa nominal politómica. Procedimientos clínicos y de laboratorio para la fabricación de los diferentes accesorios protésicos según la localización de la lesión.

2.4- Esquemas y términos: variable cualitativa nominal politómica. Sistema de acciones esquematizado de forma didáctica en diagrama de flujo.

3- Salida del algoritmo: variable cualitativa nominal politómica. Actuación de actividades relacionadas con la puesta en práctica del algoritmo que incluye subacápites referidos a:

3.1- Relevancia científica: variable cualitativa nominal politómica. Responde a los resultados de investigaciones científicas y a la experiencia clínica de profesionales expertos en el tema.

3.2- Perfeccionamiento de la atención médica oncológica: variable cualitativa nominal politómica. Aplicación de la braquiterapia del cáncer bucal con la utilización de accesorios protésicos.

3.3- Aporte como guía metodológica: variable cualitativa nominal politómica. Instrumento didáctico que marca la ruta a seguir para la utilización de accesorios protésico.

Redacción y análisis de la versión preliminar del documento

Metodología aplicada en el grupo nominal:

Se siguió la metodología utilizada por Olaz referenciado por Cisneros y colaboradores,²³ y adaptada por los autores en el tiempo del descanso grupal:

1. Generación silenciosa de ideas: donde los participantes registran sus impresiones personales sobre el tema objetivo.
2. Difusión de las ideas de los participantes para conocer públicamente la opinión personal.
3. Debate sobre las ideas para redefinirlas, moverlas, agruparlas y descomponerlas.
4. Votación preliminar para jerarquizar la importancia de las propuestas encaminadas a lograr las preferencias de los participantes, la votación es silenciosa e independiente.
5. Tiempo de descanso grupal, puede variar entre 15 y 60 minutos.
6. Discusión de los resultados obtenidos en la primera votación, examen de posibles inconsistencias y reflexión entre los asistentes.
7. Votación final, silenciosa e independiente siguiendo el esquema del punto cuatro.
8. Listado y acuerdo sobre la propuesta y las prioridades reconstruidas.

Se elaboró una versión preliminar del algoritmo para la utilización de accesorios protésicos en braquiterapia del cáncer bucal, la cual fue presentada por los investigadores y sometida a la consideración de los miembros del grupo nominal, se hicieron las aclaraciones de las dudas por los autores y se dio un tiempo de 15 minutos para la reflexión individual de los especialistas.

Posteriormente se realizó de forma ordenada, la exposición de las diferentes ideas propuestas y se registraron las opiniones. Se redujo el número de propuestas para mayor concreción.

Los especialistas del grupo nominal encontraron consenso en las sugerencias de no incluir a la aparatología para realizar la braquiterapia de la lengua por ser un órgano móvil, pudiendo tener movimiento durante la emisión de la radiación y no ser efectiva. También en esta región es más frecuente la utilización de la braquiterapia intersticial con el uso de catéteres insertados dentro del órgano. Decidieron incluir dentro del grupo de trabajo a los licenciados y técnicos de prótesis estomatológica y de radioterapia. Además, no repetir la descripción de los pasos clínico y de

laboratorios en cada aparato protésico si los mismos eran igual. Seguidamente se realizó la votación final de forma silenciosa e independiente.

Redacción del documento definitivo

Se confeccionó una versión definitiva con las sugerencias emitidas por los especialistas, la que fue sometida a la consideración de los miembros del grupo nominal a través de la utilización de la escala Likert.^{24,25} con cinco categorías, además de una pregunta abierta para expresar valoraciones cualitativas de cada experto.

La medición de los criterios se correspondió con cinco categorías que establecieron una evaluación del uno al cinco: totalmente en desacuerdo con valor uno, en desacuerdo con valor dos, ni de acuerdo ni en desacuerdo con valor tres, de acuerdo con valor cuatro y muy de acuerdo con valor cinco.

A partir de las puntuaciones otorgadas por la escala Likert se calculó la puntuación promedio del algoritmo por especialista.

Todas las opiniones, sugerencias y aclaraciones se reelaboraron hasta lograr consenso entre los miembros del grupo nominal, quedando redactado el documento definitivo.

De procesamiento y análisis estadístico

Se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión para la inclusión definitiva de las variables en la elaboración del algoritmo.

Se realizó un análisis cuantitativo de validez de contenido mediante el modelo específico de cuantificación de la representatividad de los ítems propuesto por Lawshe (1975), modificado por Tristán (2008), conocido como la Razón de Validez de Contenido (Content Validity Ratio, CVR, por sus siglas en inglés) el cual propone que el panel de especialistas evaluadores clasifique a cada ítem del cuestionario en tres categorías de acuerdo a su importancia en: “esencial”, “útil pero no esencial” y “no necesario” y el índice de validez de contenido (CVI).²⁶⁻²⁹

Para índice de Razón de Validez de Contenido de Lawshe (1975), modificado por Tristán (2008), se establecen valores mínimos aceptables que depende del número de expertos involucrados en la validación. Estos valores son indicativos y pueden variar según la fuente, pero en general, reflejan la tendencia a que se necesite, un mayor consenso entre los expertos en la medida que aumente su número.

En esta investigación, se consideró como resultados satisfactorios en el índice de Lawshe CVR aquellos ítems que obtuvieran un grado de aceptabilidad con valores igual o superior 0,47.

Ecuación 1, utilizada para el cálculo de la razón de validez de contenido (CVR) para cada ítem.

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

Dónde: ne = número de expertos que tiene acuerdo en la categoría “esencial” N= número total de expertos.

Ecuación 2, para determinar la razón de validez de contenido para cada ítem.

$$CVR' = \frac{CVR + 1}{2}$$

Dónde: CVR = La razón de validez de contenido para cada ítem N= número total de expertos.

Ecuación 3, empleada para el cálculo del índice de validez global del instrumento (CVI).

$$CVI = \frac{\sum_{i=1}^M CVR_i}{M}$$

Una vez calculada el CVR de todos los ítems, se calcula la media de CVR y con ello se obtiene el CVI Dónde: CVR_i = Razón de validez de contenido de los ítems aceptables de acuerdo con el criterio de Lawshe M= Total de ítems aceptables en el instrumento.

RESULTADOS

Una vez propuesto los elementos de estructura y contenido del algoritmo fueron sometidos a la evaluación del grupo nominal, los que expresaron la importancia que le atribuían a cada ítem a través de una escala Likert de cinco pasos. Se calcularon medidas descriptivas como se muestra en la Tabla 1, en la que se destacan valores entre 4,70 y 5,00 como promedio.

Tabla 1. Medidas descriptivas de los ítems según criterio de inclusión por el grupo nominal.

Estructura del algoritmo	Descripción del contenido	Estadísticos descriptivos				
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Entrada	Ejecución de actividades necesarias para garantizar el desarrollo de las actividades.	10	5	5	5,00	,000
	- Objetivo general: estandarizar el procedimiento para la utilización de accesorios protésicos en la	10	5	5	5,00	,000

	braquiterapia de pacientes con cáncer bucal					
	- Grupo de trabajo: equipo integrado por profesionales de especialidades afines con experiencia en el tema	10	5	5	5,00	,000
	- Población diana: todos los pacientes con indicación de braquiterapia por cáncer bucal	10	5	5	5,00	,000
	- Recursos necesarios en el área clínica para la atención al paciente: todo recurso y material necesario durante el proceso	10	4	5	4,70	,483
	- Medidas de protección a emplear por el personal de salud: aplicar los protocolos de bioseguridad	10	4	5	4,80	,422
Proceso	Se trata de la elaboración puntual ofrecida por el algoritmo, el cuerpo de sus claves de formular una instrucción para el cumplimiento de actividades necesarias para garantizar el diagnóstico y tratamiento que sigue una lógica temporal.	10	5	5	5,00	,000
	- Consulta multidisciplinaria: compuesta por las especialidades a fines que establecen el diagnóstico y plan de tratamiento. Selección del equipo de braquiterapia y la técnica que se empleará. Remisión del	10	4	5	4,70	,483

	paciente al departamento de prótesis estomatológica					
	- Coherencia y secuencia lógica de tratamiento: procedimientos clínicos y de laboratorio para la fabricación de los diferentes accesorios protésicos según la localización de la lesión	10	5	5	5,00	,000
	- Esquemas y términos: sistema de acciones esquematizado de forma didáctica en diagrama de flujo	10	5	5	5,00	,000
Salida	Están las instrucciones de actuación de actividades relacionadas con la puesta en práctica del algoritmo.	10	4	5	4,90	,316
	- Relevancia científica: responde a los resultados de investigaciones científicas y a la experiencia clínica de profesionales expertos en el tema	10	5	5	5,00	,000
	- Perfeccionamiento de la atención médica oncológica en la aplicación de la braquiterapia del cáncer bucal con la utilización de accesorios protésicos	10	5	5	5,00	,000
	- Aporte del algoritmo como guía metodológica para la utilización de accesorios protésico en la braquiterapia del cáncer bucal	10	5	5	5,00	,000
N válido (por lista)		10				

Para tener certeza de que la definición semántica está representada correctamente en cada uno de los ítems, se calculó la razón de validez de contenido (CVR) con el modelo cuantitativo de Lawshe (1975) y el modificado por Tristán (2008). De acuerdo al punto de corte mínimo según el número de jueces involucrados, se observa en la tabla 2 que todos los ítems están por encima de este valor (0,47). Además, se calculó el índice de validez de contenido (CVI) a partir de la razón obtenida para cada ítem por ambos modelos con valores aceptables, de 81 % y 91 % respectivamente.

Tabla 2. Razón de validez de contenido del algoritmo.

Descripción de las variables de la Estructura	Descripción de las variables del contenido	Índice				
		No necesario	Útil pero no esencial	Esencial	CVR Lawshe	CVR Tristán
Entrada	Ejecución de actividades necesarias para garantizar el desarrollo de las actividades.	0	0	10	1	1
	- Objetivo general: Estandarizar el procedimiento para la utilización de accesorios protésicos en la braquiterapia de pacientes con cáncer bucal.	0	0	10	1	1
	- Grupo de trabajo: equipo integrado por profesionales de especialidades afines con	0	2	8	0,6	0,8

	experiencia en el tema.					
	- Población diana: todos los pacientes con indicación de braquiterapia por cáncer bucal.	0	1	9	0,8	0,9
	- Recursos necesarios en el área clínica para la atención al paciente: todo recurso y material necesario durante el proceso.	0	1	9	0,8	0,9
	- Medidas de protección a emplear por el personal de salud: aplicar los protocolos de bioseguridad.	0	2	8	0,6	0,8
Proceso	Se trata de la elaboración puntual ofrecida por el algoritmo, el cuerpo de sus claves de formular una instrucción para el cumplimiento de actividades necesarias para garantizar el diagnóstico y	0	0	10	1	1

	tratamiento que sigue una lógica temporal.					
	- Consulta multidisciplinaria: compuesta por las especialidades a fines que establecen el diagnóstico y plan de tratamiento. Selección del equipo de braquiterapia y la técnica que se empleará. Remisión del paciente al departamento de prótesis estomatológica.	0	0	10	1	1
	- Coherencia y secuencia lógica de tratamiento: procedimientos clínicos y de laboratorio para la fabricación de los diferentes accesorios protésicos según la localización de la lesión.	0	0	10	1	1
	- Esquemas y términos: sistema de	0	1	9	0,8	0,9

	acciones esquemático de forma didáctica en diagrama de flujo.					
Salida	Están las instrucciones de actuación de actividades relacionadas con la puesta en práctica del algoritmo.	0	2	8	0,6	0,8
	- Relevancia científica: responde a los resultados de investigaciones científicas y a la experiencia clínica de profesionales expertos en el tema.	0	1	9	0,8	0,9
	- Perfeccionamiento de la atención médica oncológica en la aplicación de la braquiterapia del cáncer bucal con la utilización de accesorios protésicos.	0	1	9	0,8	0,9
	- Aporte del algoritmo como guía metodológica para la utilización de	0	2	8	0,6	0,8

	accesorios protésico en la braquiterapia del cáncer bucal.					
CVI					0,814	0,907

DISCUSIÓN

Los autores concuerdan con lo planteado por Díaz y Miró,³⁰ en que la técnica de grupo nominal se encuadra dentro de los métodos mixtos porque la recogida de los datos es de naturaleza cualitativa, pero es posteriormente analizada de forma cuantitativa con una finalidad descriptiva. A diferencia de otras técnicas grupales como los grupos focales, es muy estructurada, lo que permite reducir o eliminar ciertos problemas propios de las dinámicas de grupos, garantizando una participación equilibrada entre los miembros del grupo y evita que el investigador tenga una influencia fuerte en la generación de ideas y durante la interpretación de los resultados lo que los hace más comprensibles y claros.

Sánchez y colaboradores,³¹ hacen referencia a otros autores, que plantean que la técnica del grupo nominal, es necesario acotar, que la misma se convierte por méritos propios, en una técnica de investigación cualitativa presente en diferentes campos de las ciencias sociales, porque se manifiesta la cooperación orientada al diagnóstico, tratamiento e intervención de ciertas problemáticas, además de la generación de un compromiso en el espacio apostando por la homogeneidad del grupo y facilita la generación de ideas y el análisis de problemas, resultando útil para las situaciones en que las opiniones individuales deben ser combinadas para llegar al consenso en grupos o equipos de trabajo. Este planteamiento en correspondencia con esta investigación donde se obtuvo un consenso en todos los ítems de la estructura y contenido del algoritmo.

Cisneros y colaboradores,²³ hacen referencia a otros autores que argumentan que la técnica de grupo nominal facilita la generación de ideas y el análisis de problemas, se forma a partir de las mejores respuestas individuales recogidas por el investigador sin interacción social; además resulta de mucha utilidad en situaciones en las que las opiniones individuales deben combinarse para tomar decisiones que no pueden o no deben generarse unilateralmente; lo que permite identificar y priorizar problemas, causas o soluciones a través de consenso en grupos o equipos de trabajo. También plantean, que no existe consenso específico acerca de cuál es el proceso metodológico por el que se desarrolla esta técnica, debido a las formas específicas en que cada persona configura la técnica frente a una situación concreta, lo que demuestra la flexibilidad que proporciona esta herramienta.

Morales,³² en su tesis doctoral refiere a Pérez que manifiesta que para determinar la cantidad de personas incluidas en el grupo se deben seguir ciertos criterios, además sostiene que las técnicas de consenso, como la del grupo nominal, no llevan un diseño muestral estricto, donde las personas son elegidas sin que intervenga el azar y la determinación del tamaño del grupo no es representativo de manera numérica de la comunidad de profesionales que podrían opinar.

Los autores coinciden con Olaz y Ortiz,³³ quienes expresan que el objetivo de esta técnica es conseguir un adecuado proceso de interacción, discusión y elaboración de unos acuerdos dentro del grupo sobre las temáticas que son propuestas por el investigador y que el resultado será el producto de esta interacción y los acuerdos a los que lleguen los participantes. Se trata de aprovechar la sinergia de los conocimientos y experiencias compartidas por los sujetos desde la perspectiva multidimensional de la temática.

Gutiérrez³⁴ agrega que después de la aplicación del modelo de Lawshe, si se tiene un ítem con un puntaje mayor o igual a 0.5823, este tiene un nivel aceptable de validez de contenido.

El cálculo de la proporción de validez de contenido permite ajustar la validación en forma independiente del número de expertos que participan, y corresponde a la proporción de acuerdos en las categorías “moderado y alto” para cada pregunta, considerando que un ítem es aceptable cuando obtiene un CVR superior a 0,58 (58 %) de acuerdo con el número de jueces.^{35,36}

Esta investigación está en relación con los planteamientos anteriores, ya que se obtuvieron resultados por encima de 0,47 en todos los ítems que permitió su permanencia en el algoritmo propuesto. Además, se observa un índice de validez de contenido global superior a 0.80 confirmando la utilidad y la importancia del instrumento. Sin embargo, no ocurrió así, al compararlo con los hallazgos de las investigaciones de Nolivos²⁷ y Pérez y colaboradores³⁷ que tuvieron que eliminar algunos ítems por no alcanzar el valor mínimo aceptable para el índice de relación de contenido de Lawshe, esto condujo a depurar el número de aspectos del instrumento.

Los autores de esta investigación están de acuerdo con lo planteado por Chamosa,³⁸ García y colaboradores³⁹ y Mamani y colaboradores,⁴⁰ en cuanto a que los ítems que no cumplen con el valor mínimo aceptable, deben ser eliminados o bien, evaluados de nuevo, porque, desde la perspectiva de los expertos en el tema; permite señalar que existen aspectos que no manifiestan relevancia en el estudio.

CONCLUSIONES

Se diseñó un documento científico con métodos de actuación que servirá de orientación para la utilización de accesorios protésicos en pacientes con cáncer bucal con indicación de braquiterapia. Los criterios evaluados determinaron una adecuada claridad, precisión y compresión para cada uno de los 14 ítems, confirmando la utilidad y la importancia del algoritmo.

Contribución de los autores:

Conceptualización: Isidro de Jesús Nápoles González.

Análisis formal: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Tania Victoria Puerto Pérez.

Investigación: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez.

Metodología: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Alfredo Álvarez Rivero, Silvia María Díaz Gómez, Tania Victoria Puerto Pérez.

Administración del proyecto: Isidro de Jesús Nápoles González.

Recursos: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Alfredo Álvarez Rivero.

Supervisión: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Alfredo Álvarez Rivero, Silvia María Díaz Gómez.

Validación: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Alfredo Álvarez Rivero, Silvia María Díaz Gómez, Tania Victoria Puerto Pérez.

Visualización: Isidro de Jesús Nápoles González.

Redacción-borrador original: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez, Alfredo Álvarez Rivero, Silvia María Díaz Gómez, Tania Victoria Puerto Pérez.

Redacción-revisión y edición: Isidro de Jesús Nápoles González, Jorge Santana Álvarez.

Fondos:

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Sánchez Vargas HE, Yordi García MJ. ¿Quién se beneficia con los nuevos conocimientos y terapias dirigidas al combate del cáncer? Rev Hum Med [Internet]. Dic 2017 [citado 7 Feb 2022];17(3):[aprox. 28 p.]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202017000300008&lng=es
2. Laplana de la Torre Y, Cadenas Freixas JL. Prevención del cáncer bucal en el Policlínico Comunitario Arturo Puig Ruiz de Villa. Hum Med [Internet]. 2020 [citado 11 Mar 2022];20(2):[aprox. 18 p.]. Disponible en: <http://www.humanidadesmedicas.sld.cu/index.php/hm/article/view/1585>

3. Benítez González Y, Verdecia Ramírez M. Constipación y cáncer de colon. *Corr Cient Med* [Internet]. Dic 2017 [citado 11 Mar 2022];21(4):[aprox. 5 p.]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812017000400019&lng=es
4. Sotomayor Cedeño M. Atención al Programa Integral para el Control del Cáncer en Camagüey. *Corr Cient Med* [Internet]. Sep 2014 [citado 11 Mar 2022];18(3):[aprox. 4 p.]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812014000300012&lng=es
5. Morales Navarro D. *Medicina Bucal II* [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2021 [citado 21 May 2022]. Disponible en:
http://bvs.sld.cu/libros_texto/medicina_bucal_ii/medicina_bucalii.pdf
6. Sociedad Española de Oncología Médica. Las cifras del cáncer en España 2022 [Internet]. España: SEOM; 2022 [citado 21 Ago 2022]. Disponible en:
https://seom.org/images/LAS_CIFRAS_DEL_CANCER_EN_ESPANA_2022.pdf
7. Programa Integral para el Control del Cáncer en Cuba. Diagnóstico y tratamiento del cáncer de cabeza y cuello [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2019 [citado 21 Feb 2022]. Disponible en:
http://www.bvs.sld.cu/libros/programa_control_cancer_cuba/programa_control_cancer_cuba.pdf
8. Loyola Carrasco DJ, Romero Fernández AJ, Lozada López F, Benites RM. Niveles de conocimiento de los estudiantes de odontología sobre el cáncer oral en la actualidad. *Rev Conrado* [Internet]. 2022 [citado 7 Feb 2021];18(S1):[aprox. 9 p.]. Disponible en:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiXkflKvbn3AhUHM2oFHa2jCgA4FBAWegQICxAB&url=https%3A%2F%2Fconrado.ucf.edu.cu%2Findex.php%2Fconrado%2Farticle%2Fdownload%2F2342%2F2271%2F&usg=AOvVaw21Nu3z7csA1poGJo_-DBO
9. Suárez Conde Y, Cruz García G de la. Factores de riesgos socio-ambientales asociados al diagnóstico precoz del cáncer de labio en Camagüey. *Rev Hum Med* [Internet]. Abr 2022 [citado 16 Jun 2024];22(1):[aprox. 21 p.]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202022000100012&lng=es.
10. Bastarrechea Milián MM. Protocolo de atención estomatológica integral al paciente de riesgo quirúrgico [Internet]. La Habana. Universidad de Ciencias Médicas de La Habana, Facultad de

Estomatología; 2021 [citado 21 Feb 2022]. Disponible en:

<http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=772&ReturnText=Search+Results&ReturnTo=index.php%3FP%3DAdvancedSearch%26Q%3DY%26FK%3DMARIBEL%26RP%3D5%26SR%3D0%26ST%3DQuick>

11. Rojas Herrera IA. Protocolo de actuación ante urgencias y emergencias médicas durante la atención estomatológica [Internet]. La Habana. Universidad de Ciencias Médicas de La Habana, Facultad de Estomatología; 2021 [citado 21 Feb 2023]. Disponible en:
<http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=772&ReturnText=Search+Results&ReturnTo=index.php%3FP%3DAdvancedSearch%26Q%3DY%26FK%3DMARIBEL%26RP%3D5%26SR%3D0%26ST%3DQuick>
12. Justo Díaz M. Protocolo de actuación para las rehabilitaciones protésicas estomatológicas con implantes dentales de carga inmediata [Internet]. La Habana. Universidad de Ciencias Médicas de La Habana, Facultad de Estomatología; 2020 [citado 21 Feb 2023]. Disponible en:
<http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=744&ReturnText=Search+Results&ReturnTo=index.php%3FP%3DAdvancedSearch%26Q%3DY%26FK%3Dprotocolo%26RP%3D5%26SR%3D0%26ST%3DQuick>
13. Cañedo Rodríguez M, Allen-Perkins D. Mashups digitales. Algoritmos, cultura y antropología. Dispa Rev Antrop [Internet]. 2023 [citado 2 Dic 2022]; 78(1): e001a. [aprox. 12 p.]. Disponible en: <https://dra.revistas.csic.es/index.php/dra/article/view/938/1233>
14. Lambert Delgado A, Cobián Mena A. Validación de un algoritmo hipnoterapéutico para niños con enuresis nocturna monosintomática. MEDISAN [Internet]. 2022 [citado 24 Ene 2023];26(6):[aprox. 10 p.]. Disponible en:
<https://medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/4360>
15. Delgado Pagán GY, Ferriol Rodríguez MR, Rojas Pérez Md, Sol Fabregat LA Del, Villegas Fleites A, Martínez Rojas L. Algoritmo para el manejo del paciente geriátrico en la Consulta preoperatoria de Anestesia y Geriátrica. Acta Méd Cen [Internet]. 2018 [citado 28 Mar 2019];13(1):[aprox. 11 p.]. Disponible en:
<http://www.revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/1007>
16. Borda Gómez N. Diseño de un algoritmo para el diagnóstico ágil de la enfermedad gingival. Parte 1 [Internet]. Bogotá DC. Universidad El Bosque. Programa de Odontología, Facultad de Odontología; 2021 [citado 21 Feb 2023]. Disponible en:

https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5941/Borda_Gomez_Natalia_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

17. Uriarte JM. Algoritmo. Para: Caracteristicas.co [Internet]. 2019 [citado 7 Oct 2024];12(45):[aprox. 5 p.]. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/algoritmo/>
18. Pérez Romero FR. Construcción de algoritmos como estrategia de aprendizaje en medicina. Inv Ed Med [Internet]. 2023 [citado 7 Oct 2023];12(45):[aprox. 12 p.]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/invedumed/iem-2023/iem2345d.pdf>
19. Colectivo de Autores. Manual de procedimientos para laboratorios de prótesis estomatológicas [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2015 [citado 21 Ago 2023]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/libros_texto/manual_proced_laboratorio_protesis/manual_protesis_completo.pdf
20. Arias Caballero M, Hernández Mirand L, Ramos Lorenzo M. Prótesis parcial removible [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2017 [citado 21 Ene 2024]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/libros_texto/protesis_parcial_removible/protesis_parcial_removible.pdf
21. Beumer J, Sung EC, Kagan R, Lyons KM, Gulbransen HJ, Venkatachalam B, et al. Oral management of patients treated with rsdiations therapy and/or chemoradiation. En: Beumer J, Marunick MT, Esposito MJ, editors. Maxilofacial rehabilitation. 3ra ed. EU: Quintenssence Publisching CO, Inc.; 2011. p. 1-59.
22. Álvarez Rivero AV, Borrero Brito AO, Capín Quintero E, Crespo Frómeta Y, Sánchez Alonso Y, Suárez Suárez K, et al. Prótesis bucomaxilofacial. Procedimientos de laboratorio [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2013 [citado 2 Abr 2024]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/libros_texto/procederes_bas_lab_prot_bucomax/completo.pdf
23. Cisneros Caicedo AJ, Axel Fabián Guevara García AF, Urdánigo Cedeño JJ, Garcés Bravo JE. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. Dom Cien [Internet]. 2022[citado 7 Feb 2024];8(1):[aprox. 20 p.]. Disponible en: <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2546/5714>
24. García Sánchez J, Aguilera Terrats JR, Castillo Rosas A. Guía técnica para la construcción de escalas de actitud. Odiseo, revista electrónica de pedagogía [Internet]. 2011 [citado 7 Feb

- 2020];8(16):[aprox. 12 p.]. Disponible en: <https://odiseo.com.mx/2011/8-16/pdf/garcia-aguilera-castillo-guia-construccion-escalas-actitud.pdf>
25. Fabila Echauri AM, Minami H, Izquierdo Sandoval MJ. La Escala de Likert en la evaluación docente: acercamiento a sus características y principios metodológicos [Internet]. 2013 [citado 7 Feb 2020]:[aprox. 10 p.]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/275962852_La_escala_de_Likert_en_la_evaluacion_docente_acercamiento_a_sus_caracteristicas_y_principios_metodologicos/download
26. Bowen Mendoza LE. Modelo difuso para la evaluación por pares. Universidad de Córdoba. Departamento de Informática y Análisis Numérico. Programa de Doctorado en Computación avanzada, energía y plasmas [Internet]. Córdoba, España: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Médicas: 2020 © Edita: UCOPress. Córdoba; May 2023 [citado 7 Feb 2020]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/25876/2023000002729.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
27. Bonilla CP, Díaz LP. Validez y confiabilidad de los instrumentos de percepción de barreras y de beneficios para el ejercicio en adolescentes colombianos. Rev Colomb Enferm [Internet]. 2018 [citado 7 Feb 2024];17:[aprox. 9 p.]. Disponible en: <https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RCE/article/view/2410/1876>
28. Nolivos Garzón JF. Conocimientos, actitudes y prácticas de medicina basada en evidencia en médicos del hospital José Carrasco Arteaga, Cuenca – 2019 [Internet]. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Médicas; 2020 [citado 7 Dic 2023]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/34214/3/Proyecto%20de%20investigación%20.pdf>
29. Holguín Zuluaga JA, Vélez Álvarez, Betancurth Loaiza, DP. (). Instrumento para medición de los determinantes sociales de la salud: diseño, validez facial y contenido. Diversitas [Internet]. 2024 [citado 7 Dic 2023];20(1):[aprox. 8 p.]. Disponible en: <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/diversitas/article/download/10230/8592>
30. Díaz Castaño N, Miró Llinares F. Personas en situación de vulnerabilidad y acceso a la justicia: una aproximación desde la técnica del grupo nominal. Drets Rev Valenc Refor Democràtiques

- [Internet]. 2021 [citado 7 Feb 2024];5:[aprox. 7 p.]. Disponible en:
<http://revistes.gva.es/ojs/index.php/drets/article/viewFile/154/181>
31. Sánchez MJ, Fernández M, Díaz JC. Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. REV CIENT UISRAEL [Internet]. 2021 [citado 7 Feb 2024];8(1):[aprox. 12 p.]. Disponible en:
<https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.400>.
32. Morales Navarro D. Propuesta de protocolo para el manejo inicial del trauma maxilofacial grave [Internet]. La Habana: Universidad de Ciencias Médicas de La Habana, Facultad de Estomatología Raúl González Sánchez; 2018 [citado 12 Ago 2022]. Disponible en:
<http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=623&ReturnText=Search+Results&ReturnTo=index.php%3FP%3DAdvancedSearch%26Q%3DY%26FK%3DDenia%2BMorales%2BNavarro%26RP%3D5%26SR%3D0%26ST%3DQuickhttp://revistaamc.sld.cu/>
33. Olaz Capitán ÁJ, Ortiz García P. La Técnica de Grupo Nominal. Una adaptación orientada hacia proyectos de intervención social [Internet]. España: Editorial Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia; 2021 [citado 21 Ago 2023]. Disponible en:
<https://doi.org/10.6018/editum.2895>
34. Gutiérrez López C. Construcción y validación del instrumento “Conocimientos para la detección del abuso sexual en la infancia”. Rev cienc Cuidad [Internet]. 2021 [citado 7 Feb 2024];18(1):[aprox. 12 p.]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7732372.pdf>
35. Cartagena Torres É, Vargas Hernández Y, Cuevas Rodríguez GN, Rubio Rincón GS. Validación de un instrumento para la evaluación del consentimiento informado y su uso en investigación en estudiantes universitarios. Cienc Tecnol Salud Vis Ocul. [Internet]. 2021 [citado 7 Feb 2024];19(2):[aprox. 6 p.]. Disponible en:
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1481&context=svo>
36. González Huerta JI, Medina Ceja LG, Espinel Bermúdez MC, Álvarez Del Río MA, Medina Arellano MJ, Córdova Jiménez I. Validación de un instrumento para medir el respeto de la autonomía del paciente en situación terminal durante la toma de decisiones médicas sobre el final de la vida. Rev Bio y Der [Internet]. 2023 [citado 7 Feb 2024];57:[aprox. 11 p.]. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n57/1886-5887-bioetica-57-207.pdf>

37. Pérez Armijo P, Rafael Almendra Pegueros R, Durán Agüero S, Echevarría Orella E, Russolillo Femenías G, Abecia Inchaurregui C. Implantación del etiquetado Nutri-Score en España: percepción de Dietistas-Nutricionistas. Protocolo de estudio transversal. Rev Esp Nutr Comunitaria [Internet]. 2021 [citado 7 Feb 2024];27(4):[aprox. 7 p.]. Disponible en: https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC_2021_4_14.RENC-D-21-0068.pdf
38. Chamosa Sandoval ME. Escala para medir actitudes de estudiantes de diseño gráfico hacia la investigación. RIDE [Internet]. Jun 2022 [citado 23 Sep 2024];12(24):[aprox. e021 p.]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672022000100021&lng=es
39. García Soto E, Haro Mota R de, Blas Yañez S. Diseño y validación de contenido de instrumento sobre el consumo de productos derivados del agave pulquero. en Gómez Vázquez Rodríguez Arrocha, Coordinadores. Economía alternativas y géneros en los espacios rurales.1ra ed [Internet]. Puebla, México: Secretaria de Educación/COMCYTEP; 2023 [citado 25 Jul 2024]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/107994531/LIBRO_ECONOMIAS_ALTERNATIVAS-libre.pdf?1701207807=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DECONOMIAS_ALTERNATIVAS_Y_GENERO_EN_LOS_E.pdf&Expires=1729770168&Signature=Mk143L9hhXMbWPLonkfPeLd~bZEU3In804yUeNfIdiTrjTDMYQujHjSjBbpgkhoDFMdyGH6RPOvZjEhQQiJlRxU67wWpm5psWCfs5GXx3qV531-5efiyv~PPJRbjvCBFz-E-As9o62fsgFRx9-MdS-NnX1xp9iR0~c7TU50i3B5tD3fahhWW2Cunt70QHDyGGv4pCocSaC96k4MYXm4e2SFvnQQq6-NnomL8nwoEmolrj4VrR41TcmRkpAV6CBZ7wXsrj8crFlvNilPtLpY5FcD~NRqp7EuWM~E902~D34VG09vmdEzq2P-va1-PYwKbhRkbK2K--pNfbZMFIsaWA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=58
40. Mamani Ramos AA, Damian Nuñez ED, Inga Arias MG, Quisocala Ramos GA, Torres Cruz F, Dextre Mendoza CW, et al. Retos [Internet]. 2024 [citado 23 Sep 2024];51:[aprox. 10 p.]. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/download/101142/74540/388754>

| **Received:** 10 septiembre 2024 | **Accepted:** 25 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Nápoles-González, I., Álvarez, A., Santana, J., Díaz, S., Puerto, T. Brachytherapy of the oral cancer. *Bionatura* 2024; Volume 9. No 4.

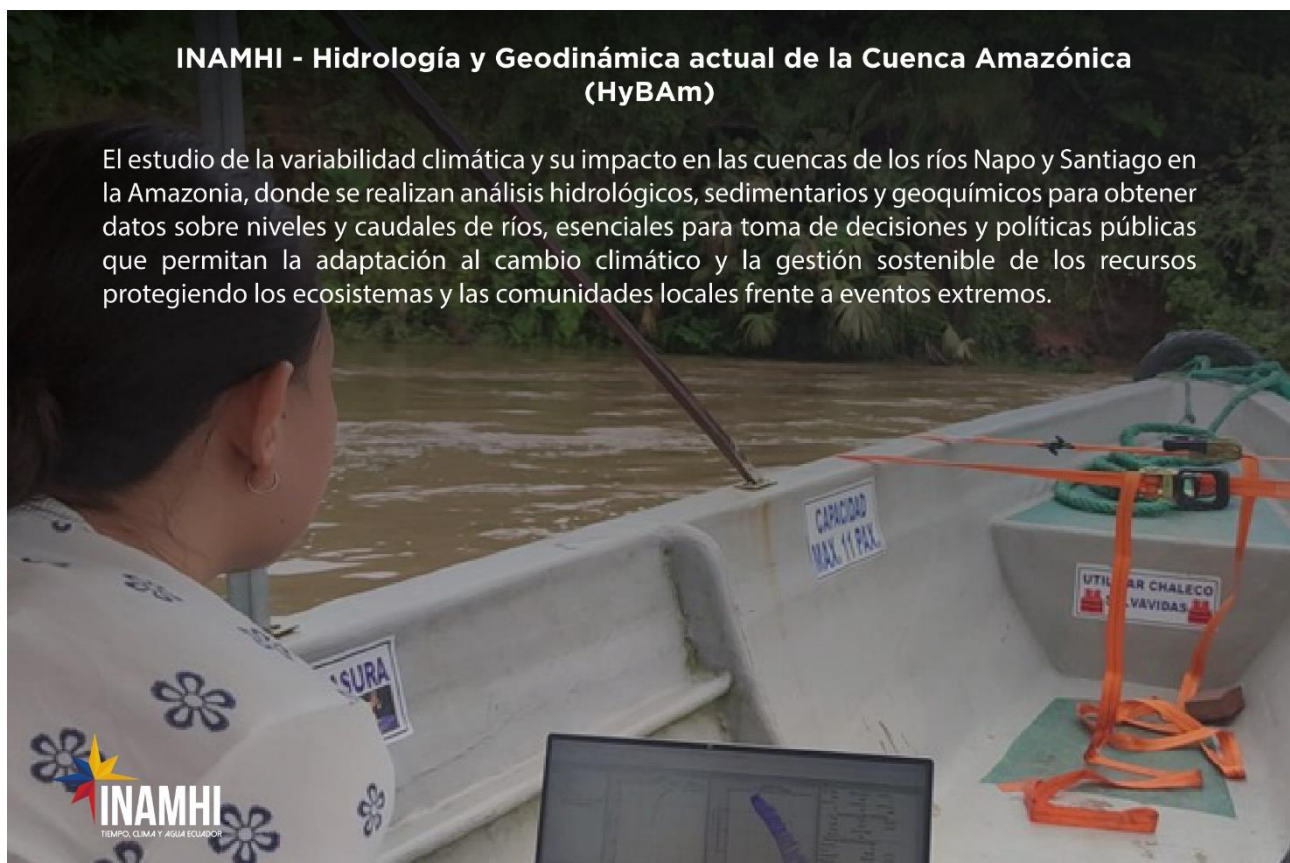
Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



3 Efecto del aditivo pentomuls 3c en la composición de los gases de combustión del petróleo crudo cubano

Effect of pentomuls 3c additive on the composition of cuban crude oil combustion gase

Yosvany González Díaz ^{1,*}, Isnel Benítez Cortés², Francisco García Reina³, Greta Márquez Peñamaría⁴, Luis Fernando Prieto Montenegro⁵, Jorge Carracedo Fernández⁶, Dayron Bárbaro Aldama Barbachán⁷, Pablo Ángel Galindo Llanes⁶

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz / Camagüey / Cuba; yosvany.gonzalez@reduc.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-9735-9137>

²isnel.benites@reduc.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

³pancho@unica.cu, <https://orcid.org/0000-0001-5721-3363>

⁴greta.marquez@reduc.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0001-7678-7274>

⁵fernando.prieto@pentol.net, <https://orcid.org/0000-0002-6985-6531>

⁶jorge.carracedo@pentol.net, <https://orcid.org/0009-0003-6407-4260>

⁷dairon@ctenue.une.cu, <https://orcid.org/0009-0009-2819-8702>

⁸pablo.galindo@reduc.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0003-1738-8761>

* Correspondencia: yosvany.gonzalez@reduc.edu.cu; Tel.: (+53) 58160023

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.3

Resumen

En centrales termoeléctricas es común que el petróleo se emulsione para disminuir las emisiones de gases. Es necesario evaluar su efecto en la generación de estos gases para determinar la emulsión óptima, que es el objetivo de este trabajo. Se diseñaron varias emulsiones en línea con diferentes porcentajes de agua y varias concentraciones de aditivo PentoMuls 3C, alrededor de la emulsión recomendada por el fabricante. La composición de los gases se midió utilizando un analizador de gases Testo 340. Los resultados indican que la concentración más baja de NO fue de 88,33 ppm cuando se utilizó una emulsión con un 5 % de agua y $0,25 \times 10^{-7}$ m³/kg de aditivo en el calentador de aire regenerativo (CAR) B. Esta cifra es inferior a los 137 ppm observados cuando se usó crudo solo y a los 500 ppm estipulados por la NC 803:2017. En relación al dióxido de carbono, se obtuvo un

15,91 % para la emulsión con 5 % de agua y $0,15 \times 10^{-7}$ m³/kg de aditivo en el CAR B. Respecto al monóxido de carbono, se alcanzaron 159,50 ppm con un 6 % de agua y $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg de aditivo en el CAR A, mostrando mejores resultados que el petróleo crudo (313 ppm).

Palabras clave: gases de la combustión; emulsión; aditivos; contaminación atmosférica.

Abstract

In thermal power plants, emulsifying oil is a common practice to reduce gas emissions. This study aims to evaluate the impact of emulsification on the generation of these gases and to identify the optimal emulsion. Some emulsions were formulated with different water percentages and concentrations of the additive PentoMuls 3C, adhering to the recommendations provided by the manufacturer. Gas composition was measured using a Testo 340 gas analyzer. The results showed that the lowest concentration of nitrogen oxide (NO) recorded was 88,33 ppm when using an emulsion containing 5% water and 0.25×10^{-7} m³/kg of additive in regenerative air heater (RAH) B. This value is significantly lower than the 137 ppm observed with crude oil alone and well below the 500 ppm limit set by NC 803:2017. For carbon dioxide, the emulsion with 5% water and $0,15 \times 10^{-7}$ m³/kg of additive in RAH B resulted in a concentration of 15,91 %. In terms of carbon monoxide, levels reached 159,50 ppm with an emulsion containing 6% water and $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg of additive in RAH A, demonstrating improved performance compared to crude oil, which measured 313 ppm.

Keywords: combustion gases; emulsion; additives; atmospheric pollution.

Introducción

La contaminación atmosférica es reconocida desde los tiempos de Hipócrates como un problema que afecta a la salud del hombre y que ha tenido un marcado incremento a partir del desarrollo industrial.

⁽¹⁾ Actualmente, se emplea el término catástrofe para caracterizar el cambio climático, el cual afecta a todo el planeta, con grandes potencialidades de afectar la vida humana. ⁽²⁾

Es precisamente el sector industrial el que ha causado la mayor cantidad de problemas medioambientales, ya que puede degradar la calidad del suelo, contaminar las fuentes de agua potable y emitir contaminantes al medio ambiente. ⁽³⁾ Desde el punto de vista medioambiental, uno de los retos mayores en el uso de combustibles fósiles es el manejo de los gases producidos durante la combustión debido a su naturaleza tóxica, destacándose el dióxido de carbono (CO₂), principal causante del cambio climático, ⁽⁴⁾ siendo el objetivo de emisión “0” todavía un reto en la actualidad.

⁽⁵⁾ La contaminación del aire debido al uso indiscriminado de estos combustibles constituye uno de

los problemas más críticos por lo que se debe trabajar en el conocimiento del impacto ambiental que producen los contaminantes, su prevención y control. ⁽⁶⁾

Como consecuencia de su uso, las emisiones de gases de efecto invernadero se han incrementado. En 2023, el promedio mundial de la concentración en superficie de CO₂ alcanzó 420,0 ppm, el metano (CH₄) 1 934 ppm y el óxido nitroso (N₂O) 336,9 ppm, ⁽⁷⁾ teniendo un impacto directo en la composición de la atmósfera a nivel mundial. ⁽²⁾ Según la Unión Europea, el desarrollo de los tratados relacionados con la calidad del aire aplicados han permitido combatir el cambio climático, el incremento de la pérdida de biodiversidad, ⁽⁸⁾ señalando que la velocidad en que se presenta este fenómeno ha ido incremento en los últimos años. ⁽⁹⁾

Para mitigar su impacto sobre la atmósfera y el clima, se presentan las tecnologías de almacenamiento de energía y las de captura del CO₂ ⁽¹⁰⁾ aunque estas están, aún, muy distantes de dar solución a la situación actual. ⁽⁵⁾ Se han realizado estudios para evaluar el efecto del cambio climático, producido fundamentalmente por las emisiones de CO₂, que tratan sobre la disponibilidad de vientos, reconociéndose que los patrones de viento varían según varían según los contextos geográficos, enfoques de modelización y proyecciones climáticas. ⁽¹¹⁾

Aunque existen reportadas tecnologías para la reducir de las emisiones de estos gases de combustión, ⁽¹²⁻¹⁴⁾ no se examina el control de múltiples contaminantes de forma combinada utilizando las últimas tecnologías. ⁽¹⁵⁾ Uno de los métodos más innovadores es la co-combustión, que implica la utilización de carbón mezclado con biomasa. Un ejemplo visible de esto es el uso de aserrín de madera, que permite observar la reducción de los impactos de CO₂, el aumento en la utilización de fuentes renovables de energía y la evaluación de los impactos ambientales mediante el Análisis del Ciclo de Vida. ⁽¹⁶⁾

En Cuba, a pesar de los esfuerzos intensivos para modificar la matriz energética con el fin de reducir el consumo de combustibles fósiles y sustituirlos por fuentes renovables antes de 2030, ⁽¹⁷⁾ meta alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ⁽¹⁷⁾ la generación base de energía eléctrica sigue dependiendo de combustibles fósiles. El uso de petróleo crudo pesado en la generación de energía ha resultado en un incremento de las emisiones de partículas y gases provenientes de la combustión, en particular óxido de nitrógeno (NO), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO). Esto también ha dado lugar a problemas operacionales en las fases de precombustión, combustión y postcombustión. ⁽¹⁸⁾ Para mitigar estos problemas, se recomienda la utilización de aditivos que mejoren la combustión, lo que repercutirá positivamente en el rendimiento del generador de vapor y

en el análisis de las emisiones puntuales, permitiendo estimar los valores reales según el tipo de combustible utilizado.

Estos aditivos cumplen diferentes funciones: catalizadores, para mejorar la combustión reduciendo las emisiones de gases, oxigenados para incrementar la composición de oxígeno en la mezcla precombustión, antioxidantes, mejoradores del índice de cetano, ⁽¹⁹⁾ así como, tensoactivos para mejorar la viscosidad, ⁽²⁰⁾ dispersantes de asfaltenos, ⁽²¹⁾ inhibidores de la corrosión, ⁽²²⁾ entre otras.

Es fundamental, en primer lugar, determinar el volumen y la composición química de los gases de combustión generados, especialmente el CO₂, que es el principal responsable del cambio climático. Esta información es crucial para evaluar con mayor precisión el impacto ambiental de estas emisiones. En Cuba, se utiliza el aditivo PentoMuls 3C, como emulgente, para formar una emulsión del tipo agua/petróleo, con el objetivo mejorar la combustión del petróleo crudo pesado en las centrales termoeléctricas. Sin embargo, hasta la fecha no se ha documentado su efecto en la composición de los gases, especialmente en la formación de CO₂, lo que impide realizar una evaluación integral de la dosificación necesaria. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar el efecto de las mezclas de aditivo y agua en la generación de CO₂ y otros gases de combustión. Este análisis servirá como paso previo para la introducción de futuras tecnologías destinadas a reducir estas emisiones y para determinar la dosificación óptima de la mezcla de combustible, aditivo y agua.

Materiales y métodos

Diseño de experimentos

Para el estudio se parte de la emulsión establecida por el fabricante, la cual está conformada por petróleo crudo cubano mejorado, el aditivo emulgente PentoMuls 3C, con una concentración de $2,5 \times 10^{-7}$ m³/kg de combustible y 6 % de agua. Se diseña un experimento donde se escogen varios valores por encima y por debajo para la concentración de aditivo y el porcentaje de agua, con el objetivo de evaluar el comportamiento de los gases alrededor del nivel prefijado. Para el agua se trabaja con 4 %, 5 %, 6 % y 7 % y para el aditivo se trabaja con $1,5 \times 10^{-7}$ m³/kg, 2×10^{-7} m³/kg, $2,5 \times 10^{-7}$ m³/kg, 3×10^{-7} m³/kg y $3,5 \times 10^{-7}$ m³/kg. Para la preparación de estas emulsiones, se cuenta con una planta de emulsión en línea que posee un sistema de control automático que garantiza una relación constante entre los valores del flujo de combustible, el flujo de aditivo y el flujo de agua.

Una vez ajustados los niveles de aditivo y agua según el diseño experimental, se espera un tiempo prudencial para garantizar que el combustible emulsionado, recorra el sistema de tuberías desde la planta de emulsión hasta los quemadores, se someta al proceso de combustión y recorra todo el generador de vapor, pasando por la zona radiante, el eje convectivo y llegue a la zona de los CAR.

Este equipo es el último que se encuentra en el recorrido de los gases de combustión antes de salir por la chimenea. Los CAR tienen la función de intercambiar el calor sensible cedido por los gases de combustión y el aire proveniente de la atmósfera el cual es enviado a los quemadores. Cuenta, además, con dos zonas, la A y la B, las cuales deben trabajar en las mismas condiciones. Sin embargo, debido a las infiltraciones que se presentan en este equipo, los valores de los parámetros de cada una de ellas, es común que sean diferentes. Por tanto, las mediciones de la composición de los gases en cada una de ellas son de gran importancia. Este tiempo se estima en unos 40 minutos.

Una vez estimada la llegada de los gases producto de la combustión de la emulsión seleccionada, se realizan las mediciones de la composición de los gases. Los CAR poseen un conducto en la parte superior que permite introducir la sonda de alta resistencia que acompaña el analizador de gases de la combustión TESTO 340 de resolución de 0,1 ppm para todas las mediciones de CO, CO₂ y NO_x. Se realizan tres mediciones en ambos lados espaciados cada 15 minutos y se determinan los valores mínimos, máximos, los promedios, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Cada unidad de generación cuenta con dos CAR independientes, el A y el B. Al salir los gases de combustión del economizador, llegan a estos equipos donde se separan los flujos de forma equitativa. De esta manera, se midió la composición de los gases en los dos equipos de forma independiente, CAR A y CAR B.

Resultados

Efecto de la emulsión PentoMuls 3C/agua en la composición química de los gases de combustión

- **Monóxido de nitrógeno**

Los niveles de NO para el CAR A se encuentran entre 117,0 ppm y 171,5 ppm, con un valor promedio de 154,15 ppm, una desviación estándar de 16,6022 y un coeficiente de variación del 10,7702 %. Para el CAR B los valores varían entre 88,33 ppm y 166,5 ppm, con una media de 140,522 ppm, una desviación estándar igual a 18,3648 y un coeficiente de variación del 13,069 %. Se aprecia que el NO no presentan grandes variabilidades mostrando que no existe influencia de los niveles de agua y aditivos estudiados.

Se requiere que el contenido de NO en los gases de combustión sea el menor posible. Los niveles de NO en el CAR A que están por encima a los niveles obtenidos con el combustible solo se presentan, para todas las combinaciones del 4 % de agua, 5 % de agua/0,2x10⁻⁷ m³/kg, 0,3x10⁻⁷ m³/kg y 0,35x10⁻⁷ m³/kg, 6 % de agua/0,15x10⁻⁷ m³/kg, 0,2x10⁻⁷ m³/kg, 0,3x10⁻⁷ m³/kg y 0,35x10⁻⁷ m³/kg y para 7 % de agua/0,2x10⁻⁷ m³/kg, 0,3x10⁻⁷ m³/kg y 0,35 x10⁻⁷ m³/kg. Para el CAR B se presentan valores

mayores para las combinaciones del 4 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,25 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg, 5 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg. Para 6 % de agua/ $0,15 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg y para 7 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg. Existe coincidencia entre ambos CAR para las combinaciones de 4 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg, 5 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg, para 6 % de agua/ $0,15 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg y para 7 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg, $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg. La figura 1 muestra los resultados para el NO.

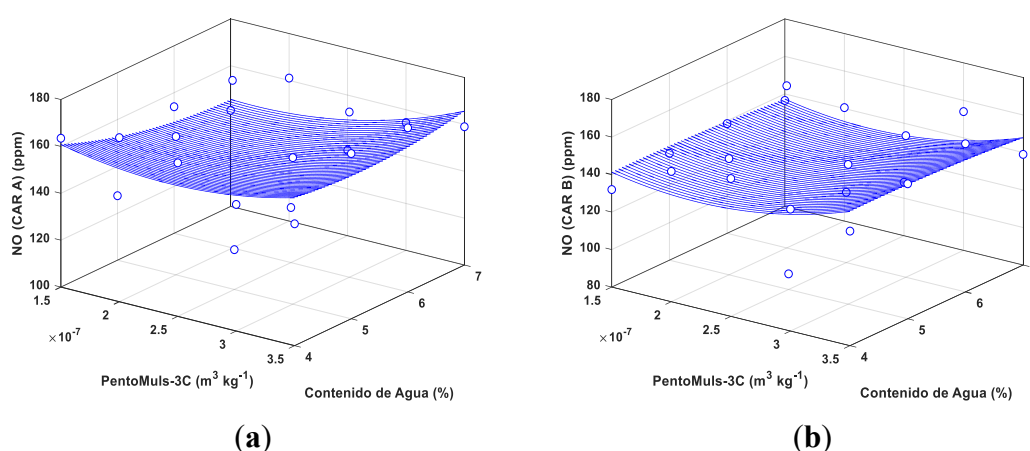


Figura 1. Monóxido de nitrógeno (a) CAR A: (b) CAR B

• Dióxido de carbono y monóxido de carbono

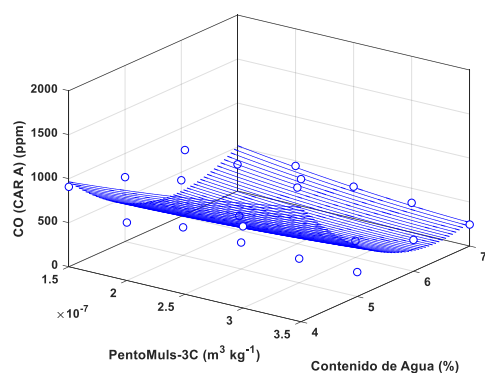
El CO₂ en el CAR A se mantuvo entre el 14,86 % y el 15,64 % con un valor promedio de 15,2325 % y desviación estándar de 0,1849. Estos valores dan como resultado un coeficiente de variación del 1,21385 %, indicando que no existe variabilidad en este parámetro. Para el CAR B los resultados indican una variación entre el 14,81 % y el 15,91 % para todos los niveles estudiados, mostrando un valor promedio de 15,385 % y una desviación estándar de 0,2054. Esto arroja un coeficiente de variación de 1,3353 %. De forma general, para ambos CAR los valores de CO₂ varían entre el 14,81 % y el 15,91 %, los que corresponden con el CAR B. (ver figura 2).

En este caso, se quiere que el contenido de CO₂ sea mayor, indicador de una buena combustión. En cada CAR existen valores que sobrepasan los niveles determinados para el combustible puro, lo que indica, entre muchos factores, que sería aconsejable trabajar con estos niveles de combinación agua/aditivo. Para el caso del CAR A, se obtienen mejores valores para las combinaciones 4 % de agua con $0,25 \times 10^{-7}$ m³/kg y $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg, 6 % de agua/ $0,35 \times 10^{-7}$ m³/kg y 7 % de agua/ $0,3 \times 10^{-7}$ m³/kg. En el CAR B se obtienen mejores resultados para las combinaciones 5 % de agua/ $0,15 \times 10^{-7}$

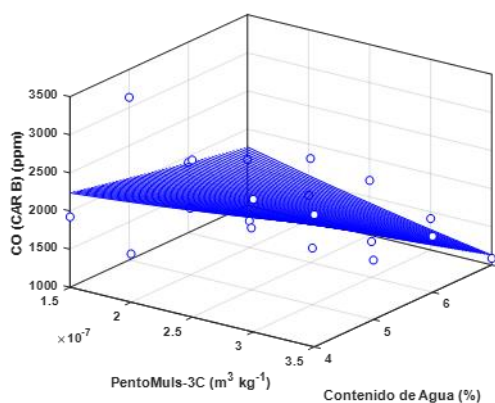
m^3/kg y $0,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y 6 % de agua/ $0,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$. Entre ambos CAR no existe coincidencia de este parámetro.

En el caso del CO, su presencia en los gases indica que la combustión, durante todos los experimentos, fue incompleta. Los resultados muestran que, en todas las combinaciones evaluadas, existe presencia de este gas, por lo que se corrobora que el momento en que se realizaron los experimentos, no eran los mejores desde el punto de vista de la combustión y no se logró que fuera completa (ver figura 2). Los resultados revelan que en el CAR A, varía entre 159,5 ppm y 1638,5 ppm, con valor promedio de 554,583 ppm, desviación estándar igual a 429,726 y un coeficiente de variación del 77,4863 %. En el CAR B varían entre 1085,0 ppm y 3132,0 ppm, con media de 1920,24 %, desviación estándar de 583,145 con un coeficiente de variación del 30,3683 %. Estos resultados indican que, en el CAR A existen mayores variabilidades de estos valores que en el CAR B, lo cual puede ser significativo de niveles de infiltraciones superiores en este equipo.

En el CAR A, las combinaciones siguientes de agua/aditivo aportan niveles de CO por encima del emitido por el combustible puro. Estas son: 4 % de agua/todas las concentraciones de aditivo, 5 % de agua/ $0,15 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y $0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$, 6 % de agua/ $0,15 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$, $0,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y $0,35 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y para 7 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$, $0,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y $0,3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$. Por su parte, el CAR B presentan valores mayores de CO respecto al combustible puro para todas las combinaciones, por lo que coincide con las mismas del CAR A en los niveles obtenido en este.



(a)



(b)

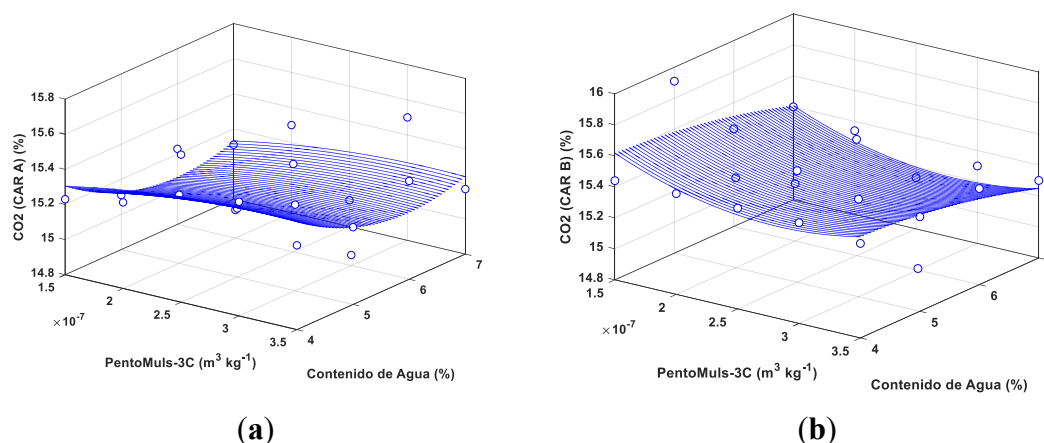


Figura 2. CO y CO₂. (a) CAR A: (b) CAR B

• Oxígeno y exceso de aire

La figura 3 muestra los resultados del nivel de oxígeno y del exceso de aire. Los gráficos muestran que, en ambos CAR, se obtienen los menores niveles de oxígeno y exceso de aire para el valor máximo de PentoMuls 3C y mínimo de agua. Esto indica que se deben trabajar a estos niveles para la entrada al generador de vapor de un oxígeno en exceso que no participa en el proceso de combustión. Los valores de oxígeno en el CAR A varían entre 0,51 % y 1,37 %, con un valor promedio de 0,899 % y una desviación estándar de 0,22 %, para un coeficiente de variación del 25,5264 % lo cual indica una gran variación de los valores en el intervalo estudiado. Por su parte, para el CAR B, los resultados varían de 0,25 % a 1,32 % con un valor promedio de 0,5405 %, desviación estándar igual a 0,249071 y un coeficiente de variación del 46,0817 %. En este caso, la variabilidad en el porcentaje de oxígeno es mucho mayor en el CAR B que en el CAR A. Esto puede deberse a que existan mayores niveles de infiltraciones. De forma general, esta variable se mantiene en el intervalo de 0,25 -1,37 %.

El contenido de oxígeno tiene una relación directa con el exceso de aire, lo cual se corrobora en los gráficos. Para el CAR A este varían entre 1,02 % y 1,07 %, con un valor promedio de 1,0405 % y desviación estándar igual a 0,0131689. Estos resultados indican un coeficiente de variación de 1,26564 %, el cual resulta muy bajo, indicando que no existe una gran variabilidad de los datos respecto a su valor promedio. Para el CAR B, varían de 0,99 % a 1,06 % con valor promedio de 1,022 %, desviación estándar igual a 0,0143637 y un coeficiente de variación de 1,40545 %, obteniéndose resultados similares en cuanto a la variabilidad de esta variable.

Por otra parte, una comparación entre con el contenido de oxígeno del petróleo emulsionado con el petróleo crudo solo (O₂ CAR A=0,74 % y O₂ CAR B=0,44 %) permite identificar como a varias combinaciones de aditivo y agua se obtienen valores por encima y por debajo del obtenido con el

petróleo crudo. En este caso, se obtienen valores mayores de oxígeno para todas las variantes de 7 % de agua y para todas las del 5 % de agua, excepto para $0,15 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$. Resultados similares se obtienen para 4 % de agua/ $0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y para 6 % de agua con $0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ y $0,35 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$. De forma general, en ambos CAR los valores varían entre 0,99 % y 1,07 %.

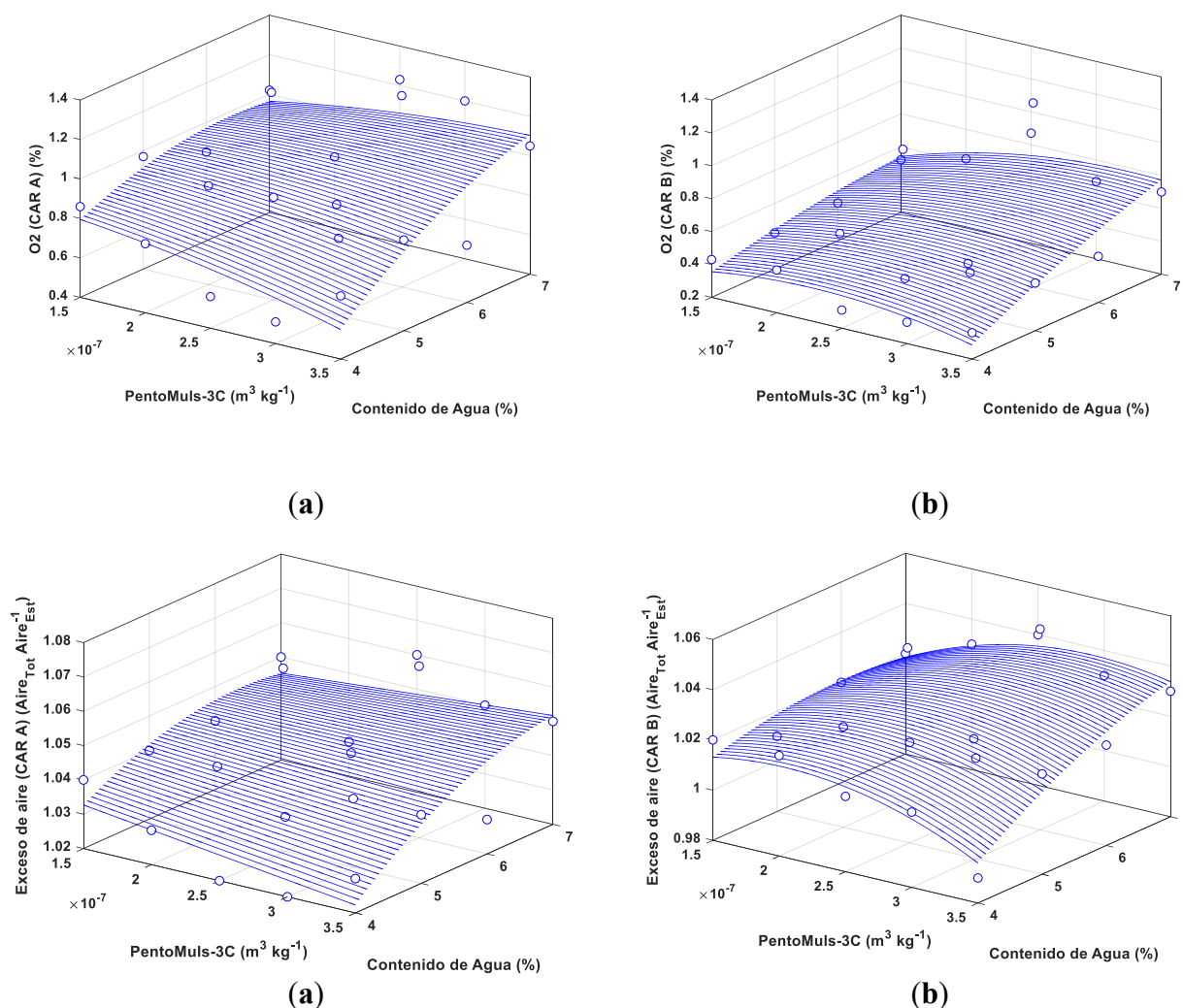


Figura 3. Oxígeno y exceso de aire. (a) CAR A: (b) CAR B

Discusión

El CO, reconocido como un gas contaminante del aire, que en raras ocasiones ha tenido un interés científico, es un parámetro a tener en cuenta en la evaluación sanitaria, ya que su presencia se asocia a intoxicaciones graves y mortales, cuando se encuentra en grandes concentraciones en ambientes cerrados. ⁽²³⁾ Cuando este es inhalado, reacciona con la hemoglobina formando carboxihemoglobina⁽²⁴⁾ y su presencia en bajas concentraciones puede causar isquemia miocárdica y arritmia cardíaca, mientras a altas concentraciones puede provocar asfixia o muerte. ⁽²⁵⁾ Para este gas, no existe reportada la norma cubana de emisión. Sin embargo, con una serie de datos tecnológicos se pueden estimar los resultados a partir de la aplicación de varios métodos como son el balance de

masa, factores de emisión, cálculos ingenieriles y mediciones en la fuente emisora. ⁽²⁶⁻²⁹⁾ No obstante, los valores permisibles de emisión varían de 0 a 500 ppm según la potencia de los generadores de la fuente de emisión, de la legislación de cada país o la región. ^(7,8,29-31) Es preciso trabajar con cero emisiones de CO, lo que indica una combustión completa del combustible, evidencia mejoras en la eficiencia de la combustión y reduce los costos de este proceso. ⁽³²⁾ En nuestro caso, el resultado de este parámetro para cuando se trabaja el petróleo crudo solo es de 313 ppm y el menor valor es 159,50 ppm cuando es emulsionado con un 6 % de agua y $0,2 \times 10^{-7}$ m³/kg de aditivo en el CAR A. Ambos resultados son satisfactorios teniendo en cuenta que se encuentran por debajo de 500 ppm. Tomando como base la concentración de CO cuando está puro, se evidencia que la emulsión se logra disminuir en un 50 % su nivel de emisión en esas condiciones. Por otra parte, si se tiene en cuenta que la concentración máxima admisible de este gas para 20 minutos de exposición según la norma cubana NC 1020: 2014 es de 39,29 ppm, ⁽³³⁾ entonces se puede afirmar que esta fuente fija de emisión contribuye al aumento de la concentración de este gas, lo que afecta al medio ambiente. Para el CO₂ tampoco existe la norma.

En la central lo que se regula es el oxígeno en el proceso de la combustión. El oxígeno en exceso que no participa en este proceso, se emite por la chimenea. Se debe tratar que este sea lo más bajo posible ya que se reduciría la formación de todos los óxidos de azufre y nitrógeno, así como la formación de cenizas en el interior de las zonas de transferencia de calor. Por otra parte, es un oxígeno que entra al generador de vapor sin aportar ningún valor calórico y, lo que sucede, es que absorbe calor de la quema del combustible, incrementando el volumen del mismo. De esta forma, se incrementarían los niveles de CO₂ y otros gases contaminantes. Se recomienda que sea lo menor 1 %, ⁽³⁴⁾ por lo que todos los valores para las diferentes combinaciones de aditivo/agua están por debajo de este nivel.

En el caso del NO, el porcentaje mayor de emisiones en diferentes países como China, Estados Unidos y el continente europeo, es atribuido a las plantas de generación de energía. ⁽³⁵⁾ Estas emisiones traen como consecuencia afectaciones en la actividad cognitiva. ⁽³⁶⁾ En espacios abiertos, desde fuentes fijas como es la chimenea de una central termoeléctrica, la NC 803 ⁽³⁷⁾ plantea un valor máximo de emisión de 500 ppm para fuentes ya existentes y de 400 ppm para fuentes nuevas, referidas a 3 % de oxígeno en gas seco. De esta forma, todos los valores de NO para las combinaciones estudiadas están dentro de la norma para futuras inversiones.

Es recomendable continuar el estudio de las emisiones a partir de los factores de emisión reportados por Meneses y colaboradores ⁽³⁸⁾ para las diferentes termoeléctricas cubanas. La determinación de los valores de los factores propios de emisión aplicando las diferentes metodologías que expone en su investigación para gases como el NO_x, SO₂, CO y CO₂, y su comparación con normas internacionales,

como los reportados en la Base de datos AP-42 de la EPA, permiten conocer las cantidades volumétricas que se expiden a la atmósfera. Esto es un indicativo para evaluar la eficiencia de la combustión del petróleo crudo nacional y las afectaciones provocadas por ellos al medio ambiente en estas zonas, en particular en la central termoeléctrica 10 de octubre de Nuevitas. Estudios realizados por otros investigadores, demuestran que las determinaciones de las concentraciones de gases que afectan al medio ambiente emitidas por fuentes fijas se pueden obtener por el método anteriormente planteado obteniendo resultados satisfactorios. ^(27,28,39-41) Deben incluirse en el estudio los niveles de SO₂ y de material particulado, ⁽⁴²⁾ los cuales no fueron posible medir por no contar con el equipamiento requerido.

Dentro de las alternativas de solución para reducir los impactos de los gases contaminantes, en particular del CO₂ se encuentra el mejoramiento de la calidad de los combustibles, ⁽³⁴⁾ el uso de lavadores de gases, ⁽⁴³⁾ uso de membranas de separación de gases, ⁽⁴⁴⁾ entre otras.

Conclusiones

Los niveles de gases de combustión CO, CO₂ y NO medidos para las diferentes relaciones aditivo/agua se encuentran dentro de los niveles permisibles, tanto los que están regulados por normas cubanas como los que sus criterios de emisión están definidos por mediciones propias de la instalación. En el caso de CO₂, entre ambos CAR no existe coincidencia de este parámetro. Para el CO, en el CAR A existen mayores variabilidades de estos valores que en el CAR B, lo cual puede ser significativo de niveles de infiltraciones superiores en este equipo. En el CAR B presentan valores mayores de CO respecto al combustible puro para todas las combinaciones, por lo que coincide con las mismas del CAR A en los niveles obtenido en este. En el caso de O₂, la variabilidad en el porcentaje es mucho mayor en el CAR B que en el CAR A. Esto puede deberse a que existan mayores niveles de infiltraciones. De forma general, esta variable se mantiene en el intervalo de 0,25 -1,37 %. Estos resultados son de gran importancia para la central termo-eléctrica 10 de octubre ya que permite realizar estudios posteriores a otros niveles de dosificación, con vistas a incrementar la eficiencia de la combustión.

Contribuciones de los autores: "Conceptualización, YG, IB, LP y JC; metodología, YG, IB, LP and JC; software, FG, LP y DA.; validación, YG, IB, LP, JC, GM y DA; análisis formal, YG, IB, LP y JC; investigación, YG, IB, GM, LP, DA y JC; recursos, FG, LP, JC y DA; curación de datos, YG, IB, LP y GM; redacción: original preparación de borradores, YG y IB; Redacción: revisión y edición, YG y IB; supervisión, LP y JC; administración de proyectos, FG; adquisición de fondos, FG.

Financiamiento: Financiado por el Proyecto Nacional Determinación de propiedades dieléctricas de la mezcla de crudo cubano con PentoMuls 3C del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Cuba, gestionado y dirigido por la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos: A la central termoeléctrica 10 de octubre de Nuevitas, Cuba, por su apoyo para realizar los estudios experimentales a escala industrial. A la firma Pentol GmbH® por contar con sus especialistas, equipamientos de medición y permitir la evaluación de su aditivo PentoMuls 3C.

Referencias

1. Fowler D, Brimblecombe P, Burrows J, Heal MR, Grennfelt P, Stevenson DS, et al. A chronology of global air quality. *Philos Trans R Soc Math Phys Eng Sci* [Internet]. 30 de octubre de 2020 [citado 8 de noviembre de 2024];378(2183):20190314. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2019.0314>
2. Astra IM. Energi dan dampaknya terhadap lingkungan. *J Meteorol. Dan Geofis.* [Internet]. 15 de diciembre de 2010 [citado 11 de diciembre de 2024];11(2). Disponible en: <https://jmg.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/view/72>
3. Ditia S. The effect of industrial waste on air pollution and water pollution causes climate change. *J Waste Sustain Consum* [Internet]. 29 de febrero de 2024 [citado 8 de noviembre de 2024];1(1):18-26. Disponible en: <https://journal-iasssf.com/index.php/JWSC/article/view/668>
4. Khaleel OJ, Basim Ismail F, Khalil Ibrahim T, Bin Abu Hassan SH. Energy and exergy analysis of the steam power plants: A comprehensive review on the Classification, Development, Improvements, and configurations. *Ain Shams Eng J* [Internet]. mayo de 2022 [citado 8 de noviembre de 2024];13(3):101640. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2090447921004160>
5. Kamil M, Ramadan KM, Awad OI, Ibrahim TK, Inayat A, Ma X. Environmental impacts of biodiesel production from waste spent coffee grounds and its implementation in a compression ignition engine. *Sci Total Environ* [Internet]. 20 de julio de 2019 [citado 11 de diciembre de 2024]; 675:13-30. Disponible en: <https://nchr.elsevierpure.com/en/publications/environmental-impacts-of-biodiesel-production-from-waste-spent-co>
6. Hernández-Garces A, Reinos-Valladares M, Hernández-Bilbao F. Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros de la provincia de Holguín. *Min Geol* [Internet]. 2018;34(3):360-7. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223555432009>

7. OMM. Organización Meteorológica Mundial. 2024 [citado 12 de diciembre de 2024]. Las concentraciones de gases de efecto invernadero se disparan una vez más: nuevo récord en 2023. Disponible en: <https://wmo.int/es/news/media-centre/las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-se-disparan-una-vez-mas-nuevo-record-en-2023>
8. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Real Decreto 1042/2017, de 22 de diciembre, sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas y por el que se actualiza el anexo IV de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. [Internet]. BOE-A-2017-15368. Sec. Anexo IV de la Ley 34/2007, Real Decreto 1042/2017 2017 p. 1-23. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-15368-consolidado.pdf>
9. Ortiz AMD, Outhwaite CL, Dalin C, Newbold T. A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. One Earth [Internet]. 22 de enero de 2021 [citado 11 de diciembre de 2024];4(1):88-101. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220306540>
10. Rawat A, Kumar D, Khatri BS. A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. J Water Clim Change [Internet]. 1 de enero de 2024 [citado 8 de noviembre de 2024];15(1):104-26. Disponible en: <https://iwaponline.com/jwcc/article/15/1/104/98490/A-review-on-climate-change-impacts-models-and-its>
11. Kara T, Şahin AD. Implications of Climate Change on Wind Energy Potential. Sustainability [Internet]. 12 de octubre de 2023 [citado 8 de noviembre de 2024];15(20):14822. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/20/14822>
12. Deng Y, Ansart R, Baeyens J, Huili Z. Flue Gas Desulphurization in Circulating Fluidized Beds. Energies [Internet]. 2019 [citado 11 de diciembre de 2024];12(19):3908. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/20/3908>
13. Nordahl SL, Hanes RJ, Mayfield KK, Myers C, Sarah E Baker, Scown C. Carbon accounting for carbon dioxide removal. One Earth [Internet]. 2024 [citado 11 de diciembre de 2024];7(9):1494-500. Disponible en: <https://colab.ws/articles/10.1016%2Fj.oneear.2024.08.012>
14. Desideri U, Paolucci A. Performance modelling of a carbon dioxide removal system for power plants. Energy Convers Manag [Internet]. diciembre de 1999 [citado 11 de diciembre de 2024];40(12):1505-1515. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019596789900088X>

2024];40(18):1899-915.

Disponible

en:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890499000746>

15. Asif Z, Chen Z, Wang H, Zhu Y. Update on air pollution control strategies for coal-fired power plants. *Clean Technol Environ Policy* [Internet]. octubre de 2022 [citado 8 de noviembre de 2024];24(8):2329-47. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s10098-022-02328-8>
16. Nugraheni DT, Purwana R, Hamzah US. Environmental Impact Assessment of Co-firing Implementation at X Steam Power Plant, West Java. *J Presipitasi Media Komun Dan Pengemb Tek Lingkung* [Internet]. 30 de julio de 2023 [citado 8 de noviembre de 2024];20(2):334-44. Disponible en: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/presipitasi/article/view/53237>
17. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DAES). Informe de los objetivos de Desarrollo sostenible [Internet]. United Nations Publications, 300 East 42nd Street, New York, NY, 10017, United States of America: Naciones Unidas; 2023 [citado 11 de diciembre de 2024] p. 1-80. Report No.: 23-09739. Disponible en: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*y2a5bv*_ga*NTQzMtMk4MjI3LjE3MzM5NTkyMDQ.*_ga_TK9BQL5X7Z*MTczMzk1OTQ3My4xLjEuMTczMzk2MDM1Ny4wLjAuMA..
18. Prelec Z, Mrakovčić T, Dragičević V. Performance study of fuel oil additives in real power plant operating conditions. *Fuel Process Technol* [Internet]. 1 de junio de 2013 [citado 11 de diciembre de 2024]; 110:176-83. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382012004572>
19. Ali Ijaz Malik M, Kalam MA, Mujtaba Abbas M, Susan Silitonga A, Ikram A. Recent advancements, applications, and technical challenges in fuel additives-assisted engine operations. *Energy Convers Manag*. [Internet]. agosto de 2024 [citado 8 de noviembre de 2024]; 313:118643. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890424005843>
20. Al-Khafaji Z, Abbas R. Using special additives for decreasing the viscosity of Missan crude oil. En: *AIP Conference Proceedings* [Internet]. 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/372388861_Using_special_additives_for_decreasing_the_viscosity_of_Missan_crude_oil
21. Gharbi K, Benyounes K, Khodja M. Removal and prevention of asphaltene deposition during oil production: A literature review. *J Pet Sci Eng*. 1 de septiembre de 2017;158.

22. Askari M, Aliofkhazraei M, Jafari R, Hamghalam P, Hajizadeh A. Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production -a review. *Av En Cienc E Ing* [Internet]. 1 de diciembre de 2021; 6:100128. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352815709_Downhole_corrosion_inhibitors_for_oil_and_gas_production_-a_review
23. Salthammer T. Carbon monoxide as an indicator of indoor air quality. *Environ Sci. Atmospheres* [Internet]. 2024 [citado 8 de noviembre de 2024];4(3):291-305. Disponible en: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D4EA00006D>
24. Lawin H, Ayi-Fanou L, Hinson A, Kagima J, Ukwaja K, Gordon S, et al. Exhaled carbon monoxide: a non-invasive biomarker of short-term exposure to outdoor air pollution. *BMC Public Health*. 17 de abril de 2017; 17:320.
25. Yang CH, Chen PH, Wu CH, Yang CS, Chuang LY. Deep learning-based air pollution analysis on carbon monoxide in Taiwan. *Ecol. Inform.* [Internet]. 1 de mayo de 2024 [citado 11 de diciembre de 2024]; 80:102477. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954124000190>
26. Fonte A, Cuesta O, Sosa C. Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas. *Rev Cuba Meteorol* [Internet]. 1 de enero de 2017 [citado 12 de diciembre de 2024];23(1):57-77. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/229>
27. Hernández-Garcés A, Peña-Cossío R, Bilbao FH, González JA. Distribución espacial de la emisión de contaminantes a la atmósfera emitidos por centrales azucareros villaclareños. 2021;48(3). Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-29.pdf>
28. Marrero-Díaz Y, Cruz-Estopiñan EB, Suárez-Benítez M. Emisiones atmosféricas provenientes de centrales azucareros de Holguín, Cuba: Una herramienta de gestión pública local. *Rev. Cuba Meteorología* [Internet]. junio de 2020 [citado 12 de diciembre de 2024];26(2). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/7019/701977549006/html/>
29. Meneses-Ruiz E, Roig-Rassi A, Paz E, Alonso D, Alvarado J. Factores de emisión de CO, CO₂, NO_x y SO₂ para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. *Rev. Cuba Meteorología* [Internet]. 29 de enero de 2018 [citado 12 de diciembre de 2024];24(1):1-9. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/255>

30. Rojas EM. Revisión Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas [Internet]. Ministerio del Medio Ambiente; 2023. Disponible en: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2023/proyectos/e78_Presentacion.pdf
31. Valdés DR, Pérez LLE, Santos DOC, Aranda AC, Díaz AS, Caraballo IVN. Inventario de emisiones de contaminantes en las fuentes fijas de las zonas urbanas de Pinar del Río y Santa Lucía. Rev. Cuba Meteorología [Internet]. 2013;19(1):68-8emisión de CO. Disponible en: <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2013/n1/6.pdf>
32. Liu C, Yin P, Chen R, Meng X, Wang L, Niu Y, et al. Ambient carbon monoxide and cardiovascular mortality: a nationwide time-series analysis in 272 cities in China. Lancet Planet Health. 1 de enero de 2018; 2: e12-8.
33. NC 1020: 2014. Calidad del aire — contaminantes concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables ICS: 13.040. 2014.
34. Rodríguez Arias AD, Rosabal Ponce LB. Aspectos esenciales para lograr el uso eficiente del combustible nacional, en las centrales termoeléctricas cubanas. Univ. Soc. [Internet]. 11 de julio de 2023 [citado 1 de noviembre de 2023];15(4):65-75. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3953>
35. Tian X, An C, Nik Bakht M, Chen Z. Assessment of reductions in NO₂ emissions from thermal power plants in Canada based on the analysis of policy, inventory, and satellite data. J Clean Prod. 1 de febrero de 2022; 341:130859.
36. Tang Y, Li Z, Fu Y, Zhao M. Causal Effects of PM_{2.5}, NO_x, and NO₂ on Cognitive Function: A Two-sample Mendelian Randomization Study. Aerosol Air Qual Res [Internet]. 2024 [citado 11 de diciembre de 2024];24(8):230326. Disponible en: <https://aaqr.org/articles/aaqr-23-12-oa-0326>
37. NC 803:2017. Calidad del aire — emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. ICS: 13.040. 2017.
38. Meneses-Ruiz E, Roig-Rassi A, Paz E, Alonso D, Alvarado J. Factores de emisión de CO, CO₂, NO_x y SO₂ para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. Rev. Cuba Meteorología [Internet]. 29 de enero de 2018 [citado 11 de diciembre de 2024];24(1):1-9. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/255>
39. Núñez-Caraballo V, Saura-González G, Rodríguez-Rojas R, Otero-Martín M, Oca AMM de, Purón-Arbolaez M, et al. Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio

- Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. Rev. Cuba Meteorología [Internet]. 24 de noviembre de 2018 [citado 12 de diciembre de 2024]; 24:356-64. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/441>
40. Peña-Ojeda JN, Carracedo-Velázquez A. Estimación de las emisiones provenientes de fuentes fijas en la ciudad Las Tunas. Rev. Cuba Meteorología [Internet]. 24 de noviembre de 2018 [citado 11 de diciembre de 2024]; 24:374-84. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/443>
41. Portal-Castillo D. Análisis de las emisiones provenientes de la Refinería Sergio Soto y su influencia en la calidad del aire en el municipio Cabaiguán. Rev. Cuba Meteorología [Internet]. 2018; 24:412-8. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/785ad26d-4557-4148-8e56-ec3d802f6ceb/content>
42. Álvarez Cruz A, Morales Pérez MC, González Rivero RA, Núñez Caraballo V. Cuantificación del dióxido de azufre en aire ambiental en zona de protección sanitaria de una recapadora de neumáticos. Cent Azúcar [Internet]. diciembre de 2022 [citado 11 de diciembre de 2024];49(4):69-79. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612022000400069&lng=es&nrm=iso&tlng=es
43. Cassula D.A, Zanzini JC, dos Santos Lino J, Luz da Silva T, dos Santos Z. Estudo de caso sobre a eficiência energética de fontes renováveis no brasil: avaliação da utilização da biomassa da cana-de-açúcar na cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro. En Porto Alegre. Brasil: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais- IBEAS; 2015. p. 1-9. Disponible en: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/X-009.pdf>
44. Yagmur Goren A, Erdemir D, Dincer I. Comprehensive review and assessment of carbon capturing methods and technologies: Environmental research. Environ. Res. [Internet]. 1 de enero de 2024 [citado 11 de diciembre de 2024]; 240:117503. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935123023071>

| **Recibido:** 10 octubre 2024 | **Aceptado:** 12 noviembre 2024 | **Publicado:** 15 diciembre 2024 |

Cita: González-Díaz, Y., Benítez, I., García, F., Márquez, G., Prieto, L., Carracedo, J., Aldama, D., Galindo, P. Efecto del aditivo pentomuls 3c en la composición de los gases de combustión del petróleo crudo cubano. Revis Bionatura 2024; Vol 9. No. 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/> All articles published by



Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers. Publisher's Note:

Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Secretaría de
Educación Superior, Ciencia,
Tecnología e Innovación

4 Sistema glinfático, barrera hematoencefálica y acuaporinas: su relación con la progresión de los gliomas

Glymphatic system, blood-brain barrier and aquaporins: their relationship with glioma progression

Adriel Mederos Matos ¹, Mercedes Zamora Mallet ², Juan Carlos Piña Napal ³

¹ Doctor en Medicina. Especialista de Primer Grado de Oncología. Profesor Instructor.

Hospital Provincial Docente de Oncología “María Curie”, Camagüey, Cuba

Carretera Central Oeste, km 4 1/2, esq. Madam Curie, Camagüey, Cuba

E-mail: drickensvd@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5557-0452>

² Doctor en Medicina. Especialista de Primer Grado de Medicina General Integral y Neurología.

Profesor Instructor. Hospital Militar Central “Carlos J. Finlay”

E-mail: mercedeszamoramallet@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-8271-0042>

³ Doctor en Medicina Especialista de Segundo Grado de Bioquímica. Doctor en Ciencias Médicas.

Profesor Auxiliar. Universidad de Ciencias Médicas “Carlos J. Finlay”

Camagüey, Cuba

E-mail: jcpina.cmw@infomed.sld.cu, <https://orcid.org/0000-0003-1813-4990>

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.4

Resumen

Los gliomas constituyen los tumores primarios más frecuentes del cerebro en humanos, siendo caracterizados por su notable capacidad infiltrativa y pronóstico desfavorable, de modo que constituyen un importante problema de salud. En los últimos años se han dilucidado aspectos novedosos de la anatomía, fisiología y bioquímica del encéfalo, que brindan explicaciones a interrogantes otrora no respondidas. Con el objetivo de argumentar la relación de la disfunción del sistema glinfático, la barrera hematoencefálica y los cambios en la expresión de acuaporinas con la progresión de estas neoplasias malignas, se realizó la presente revisión bibliográfica en la que se citaron 42 fuentes científicas escritas en inglés, que incluyen 39 obras alojadas en la base de datos de PubMed, con predominio de artículos originales. Se encontró que la disfunción glinfática y los patrones alterados de expresión de acuaporinas en astrocitos y endotelio vascular se correlacionan con el volumen de edema cerebral peritumoral, el grado de neuroinflamación y la agresividad de la enfermedad. Estos hallazgos descubren una avenida optimista para dirigir los esfuerzos humanos en

la lucha contra la enfermedad y demuestran la importancia de la investigación básica para ampliar las perspectivas de las intervenciones profilácticas y terapéuticas, tanto en la dimensión oncoespecífica como paliativa.

4.1.1 **Palabras clave:** sistema glinfático, barrera hematoencefálica, acuaporinas, glioma, edema cerebral, neuroinflamación.

4.1.2 **Abstract**

Gliomas represent the most common primary brain tumors in humans. They are characterized by their highly infiltrative behavior and poor prognosis, what makes them a prominent health problem. In recent years novel aspects of brain anatomy, physiology, and biochemistry have been elucidated, and new answers to previously unanswered questions were provided. To argue the relationship between the dysfunction of the glymphatic system, the blood-brain barrier, and alterations in aquaporin expression with the progression of these malignant neoplasms, a literature review was conducted. A total of 42 scientific sources written in English were cited, including 39 works hosted in the PubMed database, with predominance of original articles. It was found that glymphatic dysfunction and imbalanced aquaporin expression in astrocytes and vascular endothelium correlate with peritumoral brain edema volume, the degree of neuroinflammation, and the aggressiveness of the disease. These findings unravel an optimistic avenue to direct human efforts in the fight against the disease and demonstrate the importance of basic research in broadening the perspectives of prophylactic and therapeutic interventions, both in tumor-specific treatment and palliative dimensions.

Keywords: glymphatic system, blood-brain barrier, aquaporins, glioma, brain edema, neuroinflammation

Introducción

Los gliomas son un grupo de tumores cerebrales que constituyen mayoría entre los tumores primarios encefálicos del adulto (77 % de todos los cánceres del sistema nervioso central). ⁽¹⁾

Su origen se presume en las células gliales. Existe una amplia variedad de entidades en este grupo con distintos comportamientos clínicos y biológicos, que a lo largo del siglo XX han sido estudiados y clasificados, fundamentalmente, en base a rasgos morfológicos; partiendo desde la obra monumental de Bailey y Cushing de 1929 (primer sistema de clasificación hasta la de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 2007). ^(2, 3, 4)

El progreso tecnológico ha provisto de métodos para examinar a profundidad el cáncer, tales como la secuenciación de genoma completo (WGS), la secuenciación de exoma completo (WES) y otras capaces de medir las alteraciones del número de copias, secuenciación de mRNA, estado de metilación, etc. En las últimas décadas se han aplicado estas técnicas al estudio de los gliomas difusos y se ha podido evidenciar una gradación del número de mutaciones somáticas desde astrocitomas difusos (~16), astrocitomas anaplásicos (~36) hasta glioblastomas (46-50). ^(5, 6)

La clasificación de la OMS de 2016 fue la primera en incorporar los avances de la biología molecular al diagnóstico de los gliomas y otros tumores del sistema nervioso central (CNS). No obstante, en la más reciente clasificación (OMS 5^{ta} Edición de 2021) es donde se reconocen por primera vez las diferencias clínicas y moleculares entre gliomas difusos de adultos y niños. Por este motivo, los gliomas se clasifican en glioma de tipo pediátrico y glioma de tipo adulto. ^(7, 8)

El glioma del adulto se subdivide en tres grupos:

- astrocitoma IDH-mutante
- oligodendroglioma IDH-mutante con codeleción 1p/19q
- glioblastoma IDH-natural. ^(7, 9)

Aunque el diagnóstico y tratamiento de estas neoplasias ha avanzado en los últimos años con la aplicación de nuevas técnicas de diagnóstico molecular y mejores protocolos de cirugía, radioterapia, quimioterapia y terapia dirigida, los resultados siguen siendo pobres, con una supervivencia de menos del 10 % de los pacientes a los tres años. Entre las explicaciones a este fenómeno se citan la gran capacidad infiltrativa de las células de los gliomas, el diagnóstico tardío, la relación entre el tumor y la barrera hematoencefálica, la disrupción del sistema glinfático y el papel central de la acuaporina 4 como vínculo entre estas alteraciones. ⁽¹⁾

4.1.3 Barrera hematoencefálica

La barrera hematoencefálica (BBB) es una barrera protectora en términos estructurales y funcionales, dotada de bombas de eflujo muy eficientes, cuya función es proteger al cerebro de agentes biológicos, metabolitos tóxicos y otras sustancias dañinas presentes en la sangre. ⁽⁷⁾



Figura
1. La
barrera

hematoencefálica es una estructura altamente especializada que está constituida por células endoteliales muy unidas, pericitos, astrocitos y la propia membrana basal.

Esta compleja arquitectura garantiza la homeostasis del cerebro frente a diversos insultos.

Fuente: Ben Brahim Mohammed (dominio público, licencia: Creative Commons), Wikimedia Commons, 2010.

La microvasculatura del CNS tiene varios rasgos únicos: ausencia de fenestraciones entre células endoteliales adyacentes y menor cantidad de vesículas pinocíticas y endocíticas. Los endotelios de la BBB se conectan por una extensión continua de uniones estrechas que restringen la difusión pasiva entre las células endoteliales y a través de la estructura capilar. Además, estas uniones estrechas están envueltas por pies astrogiales lo que limita más aún la difusión pasiva. Como corolario, el endotelio es rico en bombas moleculares efusoras de la familia de las proteínas ABC que incluyen la glicoproteína P codificada por el gen *Mdr*, la cual elimina activamente sustratos que pueden haber pasado a través de la BBB. ⁽⁷⁾

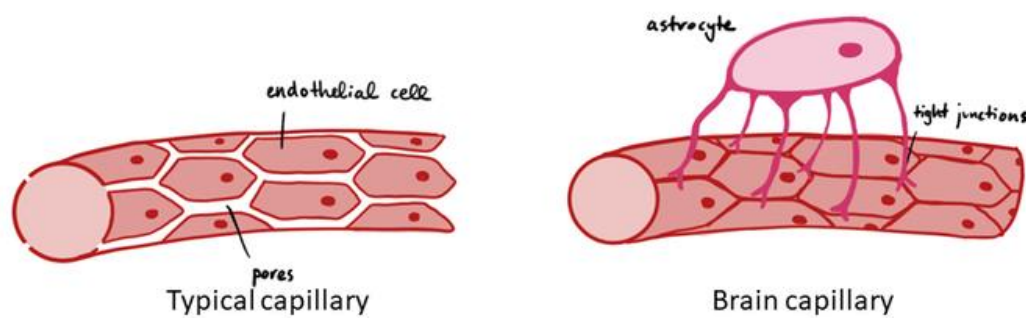


Figura 2. La principal diferencia entre los capilares cerebrales y los capilares de otros tejidos radica en la presencia y complejidad de las uniones estrechas (en inglés, *tight junctions*), que impiden el paso libre de moléculas y fluidos, sellando de este modo el espacio intercelular endotelial. *Fuente: David Nascari & Alan Sved (dominio público, licencia: Creative Commons), Wikimedia Commons, 2019.*

La relación de los tumores cerebrales con esta estructura es un aspecto crítico de su biología con implicaciones directas en su manejo, ya que dificulta el diagnóstico y tratamiento del cáncer por frenar el acceso intracerebral de los medicamentos empleados. Paradójicamente, en la cercanía del tumor se torna permeable a fluidos, lo que provoca edema cerebral vasogénico: la complicación más grave y frecuente del glioblastoma. ⁽¹⁾

El edema vasogénico, al igual que el edema citotóxico inducido por el cáncer, parece depender de alteraciones en la expresión y / o localización de transportadores transmembrana (canales) de agua, pertenecientes a la familia de las acuaporinas. Sin embargo, contrario a lo que puede pensarse, las células endoteliales de los capilares cerebrales sanos no expresan este tipo de proteínas canales. ⁽¹⁾

Antes de profundizar en la fisiopatología del edema cerebral, es necesario comprender las bases de la circulación normal de líquidos en el encéfalo.

4.1.4 Movimiento de fluidos en el cerebro

Una propiedad fundamental de las membranas celulares es su capacidad para permitir un transporte de agua altamente regulado. El transporte de fluidos en los tejidos sigue dos rutas: (1) transcelular: entre la membrana apical y basal de las células, por gradiente osmótico y (2) paracelular: entre los espacios intercelulares, a lo largo de las uniones célula-célula. ⁽¹⁾

Aunque se han encontrado vasos linfáticos en las membranas meníngeas, el parénquima cerebral ha sido considerado tradicionalmente una estructura carente de vasculatura linfática ⁽¹⁰⁾, de donde surge la necesidad de considerar vías alternativas para la eliminación de solutos y agua desde el fluido intersticial del espacio extracelular y desde el líquido cefalorraquídeo (CSF). ⁽¹⁾

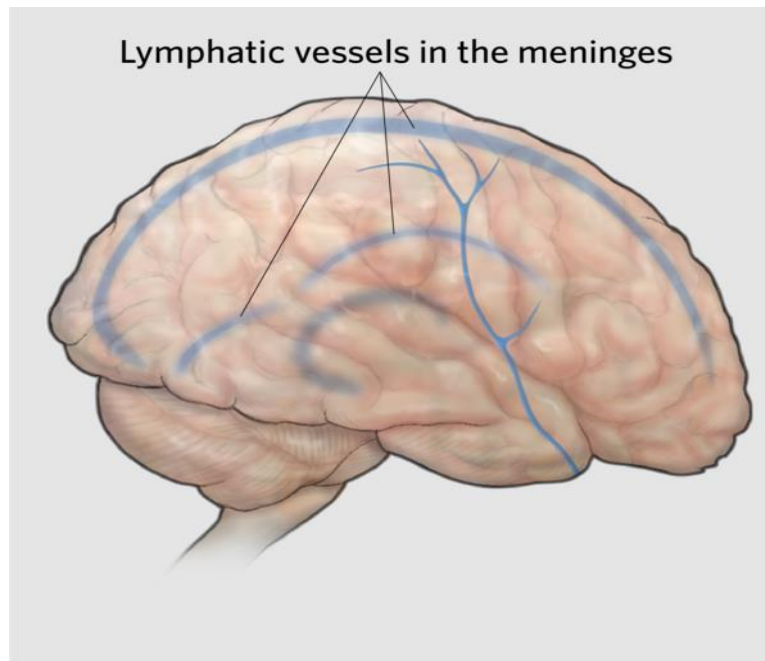


Figura 3. Los vasos linfáticos meníngeos predominan en la duramadre y están estrechamente relacionados con los grandes senos venosos del encéfalo y con los ganglios linfáticos cervicales profundos adonde drenan, lo que permite la eliminación de sustancias a través del sistema linfático general.

Fuente: Mohsin Ajaz (dominio público, licencia: Creative Commons), Wikimedia Commons, 2020.

El CSF es producido por secreción activa de los plexos coroideos y fluye en los ventrículos y el espacio subaracnoideo. En el cerebro, se pueden reconocer cuatro compartimentos de agua distintos: líquido intracelular, líquido extracelular (intersticial), CSF y sangre. La composición del líquido intracelular muestra grandes diferencias entre los distintos tipos celulares, pero el líquido intersticial que rodea a las células cerebrales es similar en composición al CSF, lo cual sugiere una dinámica de intercambio de solutos y agua entre ambos compartimientos. ⁽¹⁾

El estudio de Rennels *et al.* aportó evidencia, hace casi 40 años, de circulación de CSF hacia el interior del parénquima cerebral mediante “vías paravasculares”, al demostrar la presencia en el espacio extracelular de una proteína trazadora 10 - 20 minutos después de su infusión en los ventrículos laterales y el espacio subaracnoideo de gatos y perros anestesiados. ⁽¹¹⁾

Hace sólo una década, el trabajo de Iliff y colaboradores, empleando también moléculas trazadoras visualizadas *ex vivo* mediante imagenología de fluorescencia de cortes fijos de vibrátomo, demostró que, si bien el CSF del compartimiento ventricular penetra muy poco en el parénquima cerebral sólo del tejido periventricular inmediato, el CSF del espacio subaracnoideo difunde rápidamente por el tejido nervioso a lo largo de los espacios paravasculares. ⁽¹²⁾

En ese mismo trabajo, los autores hipotetizaron que la acuaporina 4 (AQP4), muy concentrada en los procesos pediculares astrogiales, constituye una vía de baja resistencia al movimiento de fluidos entre los espacios paravasculares y el intersticio, enlazando de este modo el compartimiento de CSF con el líquido intersticial para el aclaramiento de solutos/metabolitos del parénquima cerebral. Para demostrarlo, utilizaron modelos murinos con *knockdown* global del gen *Aqp4* cuyo resultado fue la reducción en un 70 % del aclaramiento de solutos intersticiales; lo cual apoya la hipótesis del transporte astrocítico de fluidos. ⁽¹²⁾

Basado en estas observaciones, en la similitud funcional con el sistema linfático periférico y el rol protagónico de las células gliales en el flujo de agua, otros investigadores sugirieron la existencia de una red de intercambio de líquidos, impulsada por la pulsación de las arterias cerebrales, que se denominó sistema glinfático. ⁽¹⁾

4.1.5 Sistema glinfático

Desde 2012, el sistema glinfático ha sido reconocido como una vía de limpieza de residuos y mantenimiento del balance de fluidos en el intersticio del parénquima cerebral. Desde su descubrimiento se ha asociado con el sueño, lo que recalca la importancia de dormir para la salud cerebral ⁽¹³⁾. Incluso la postura durante el sueño afecta su eficiencia, siendo mayor en decúbito lateral y supino. ⁽¹⁴⁾

Al contrario de lo que ocurre en estados demandantes como el de vigilia donde el cerebro se concentra en tareas que aseguren la supervivencia y el mejor desempeño, durante el sueño los procesos homeostáticos se centran en la restauración, con el objetivo de limpiar los desechos metabólicos generados. En este período, grandes cantidades de CSF son bombeadas al neuropilo (región del tejido nervioso donde se encuentran las sinapsis) en un proceso facilitado por la expansión del volumen extracelular durante el sueño no REM ⁽¹⁵⁾. Se ha demostrado que la fracción de volumen intersticial se incrementa hasta un 60 %, lo que permite el aclaramiento de proteína beta-amiloide dos veces más rápido. ⁽¹⁶⁾

Los estudios más recientes aportan evidencia de su relación con el volumen de la materia gris, el desempeño neuropsicológico ⁽¹³⁾ y ha abierto nuevas perspectivas en la patogénesis de la

neurodegeneración, infarto agudo isquémico e incluso en la inmunidad tumoral cerebral, lo que ofrece nuevos horizontes para la terapia personalizada de estas neoplasias. ⁽¹⁷⁾

A pesar de no existir consenso en el concepto de sistema glinfático, puede definirse como una vía paravascular mediada por células gliales y compuesta por tres compartimentos: el espacio perivascular arterial, el compartimiento de intercambio entre líquido cefalorraquídeo e intersticial y el espacio perivascular venoso ⁽¹⁸⁾. Los espacios perivascuales, denominados espacios de Virchow-Robins, son cavidades llenas de líquido que se encuentran alrededor de las arterias y venas penetrantes del cerebro. Se tratan de extensiones de la piamadre que acompañan a estos vasos cerebrales en su trayecto. ⁽¹⁹⁾

El CSF del espacio subaracnoideo fluye desde los espacios periarteriales hacia el espacio extracelular y se mezcla con el líquido intersticial del tejido nervioso. La mezcla (denominada fluido neuronal) transita por el intersticio y abandona el parénquima cerebral al entrar a los espacios perivenosos. ⁽¹⁷⁾

Antes del descubrimiento del sistema glinfático no se creía en la posibilidad de esta vía de translocación de fluidos por la presencia de la barrera hematoencefálica (BBB). Una de las revelaciones más importantes en este sentido ha sido que el intercambio de líquidos con el espacio intersticial se lleva a cabo a través de los astrocitos que conforman la BBB, con la AQP4 de los procesos pediculares astrogliales en la base molecular de esta dinámica. ^(17, 20)

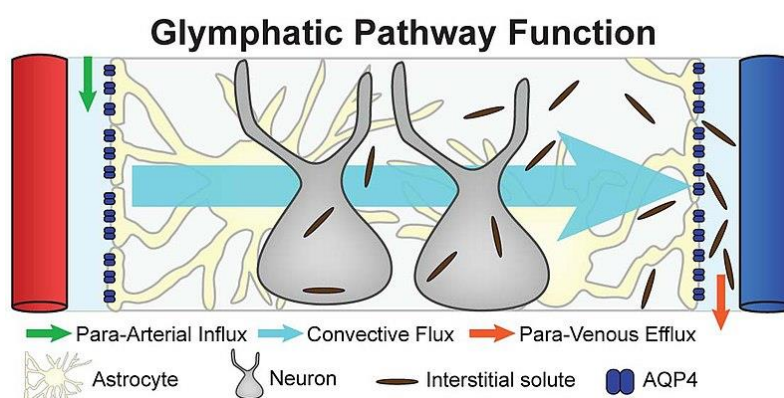


Figura 4. El movimiento de fluidos neuronales en la vía glinfática abarca desde los espacios periarteriales hasta los perivenosos, lo que implica un movimiento transglial y transintersticial.

Fuente: Jeffrey J. Iliff (dominio público), Wikimedia Commons, 2012.

Desde los espacios perivenosos, los fluidos neuronales hacen reentrada al espacio subaracnoideo, desde donde son filtrados por los recién descubiertos vasos linfáticos menígeos ⁽²¹⁾, lo que deja

entrever la comunicación del sistema glinfático con la circulación linfática tradicional. De esta forma, los solutos y productos de desecho del intersticio neuronal son drenados en última instancia a los ganglios linfáticos cervicales. ^(17, 20, 21)

Los astrocitos son únicos en su citoarquitectura, ya que conforman un retículo sincitioide habilitado por uniones mediadas por conexinas entre procesos membranosos de células contiguas. No sólo mueven agua entre los espacios intra- y extracelular, sino también solutos, como lactatos, que son excretados a los espacios paravasculares venosos durante el sueño. Más allá de eso, se considera que los astrocitos son los responsables de la modulación de las fases entre los estados de sueño y vigila. ⁽²²⁾

El estudio del sistema glinfático se lleva a cabo mediante técnicas imagenológicas invasivas, entre las que destaca la resonancia magnética nuclear (MRI) con contraste intratecal de gadobutrol, así como no invasivas, a destacar: resonancia magnética de difusión del espacio perivascular, más conocida como imagenología por tensor de difusión del espacio perivascular (DTI-ALPS), introducida en 2017, de la que deriva el índice ALPS, que refleja la difusividad a lo largo de los espacios perivasculares de las venas medulares al nivel del cuerpo lateral del cuarto ventrículo, por lo que sirve como un estimado de la función del sistema glinfático humano. ⁽²³⁻²⁵⁾

El índice ALPS se calcula mediante una razón matemática que evalúa la difusividad de las moléculas de agua (*i.e.*: facilidad con que se mueven estas moléculas a través de un tejido) en los distintos ejes de coordenadas. La fórmula exacta está publicada en el trabajo de Taoka *et al.* y, aunque su exposición excede los objetivos del presente trabajo, se mostrará una abstracción inédita de la misma para facilitar su comprensión al lector:

$$ALPS = \frac{Difusividad(x)}{Difusividad(yz)}$$

Al dividir la difusividad a lo largo de las fibras (eje x) entre la difusividad en las direcciones perpendiculares (ejes y, z), se conoce si la difusión es mayor en una dirección específica. Se asume que una mayor difusividad a lo largo de las fibras (eje x) está relacionada con un mejor flujo de CSF a través de los espacios perivasculares, lo que indica una función más eficiente del sistema glinfático. Los datos de imágenes obtenidas mediante resonancia magnética de difusión se utilizan para realizar reconstrucciones tractográficas, que permiten mostrar una representación visual de los tractos nerviosos a partir de datos recopilados mediante resonancia magnética de difusión. ⁽²⁶⁾

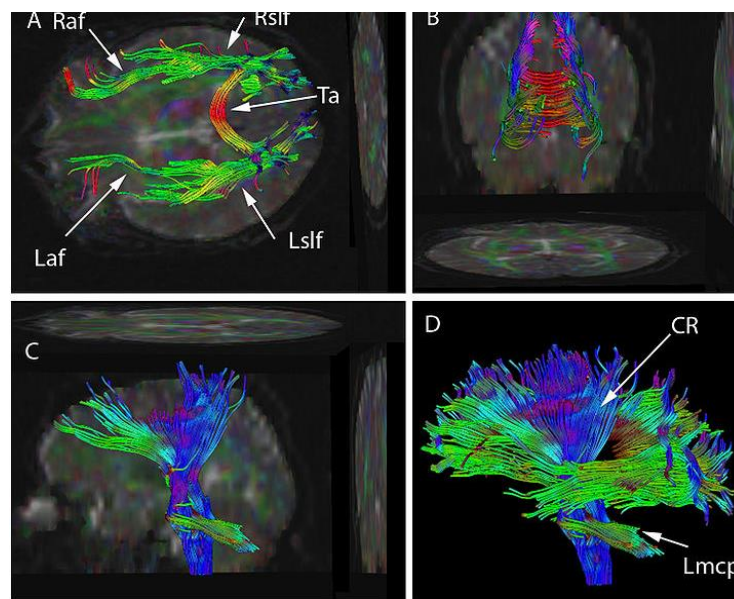


Figura 5. Resonancia magnética de difusión con reconstrucción tractográfica de las fibras nerviosas del encéfalo de un paciente. Esta tecnología permite visualizar las trayectorias de las fibras y crear modelos detallados de las conexiones neuronales.

Fuente: Afiller at English Wikipedia (dominio público, licencia: Creative Commons), Wikimedia Commons, 2009.

La importancia médica del cálculo del índice ALPS no se expresa en términos cuantitativos, sino cualitativos; por tanto, se debe expresar en simples términos de “bajo” o “alto” ⁽²⁵⁾. Se han establecido correlaciones entre índice ALPS con distintas escalas empleadas en hidrocefalia, enfermedad de Alzheimer y otras patologías neurodegenerativas, pero hasta 2021 no se había estudiado en pacientes con glioma. ⁽¹⁷⁾

El trabajo pionero de Toh *et al.* investigó las correlaciones entre la función glinfática con los volúmenes del edema tumoral y peritumoral, grados tumorales y estado de la mutación IDH en una muestra de 201 pacientes con glioma clasificados como: grado II (43 %), grado III (26 %) y grado IV (31 %); poco más de la mitad de la muestra tenía mutación de IDH1. Los resultados mostraron que

el índice ALPS fue significativamente menor en gliomas grado IV en comparación con gliomas grado II/III (sin diferencias entre ellos), así como en gliomas con IDH1 natural (no mutado) en comparación con los mutantes para IDH1, probablemente en relación con edema peritumoral, sin evidenciarse variaciones significativas entre hombres y mujeres. ⁽¹⁷⁾

En otros estudios del mismo autor, también se registran índices bajos cuando existe un volumen marcado de edema peritumoral con independencia de la histología, como en casos de metástasis cerebrales de carcinomas primarios extracraniales ⁽²⁷⁾ o meningiomas ⁽²⁸⁾. Otros investigadores encontraron, en el año en curso, que incluso el hemisferio afectado por el tumor presenta disminución significativa del índice ALPS; a su vez, los resultados no discriminaron en base a edad, sexo o histotipo tumoral. ⁽²⁹⁾

Las explicaciones propuestas para estas correlaciones se centran en que el crecimiento tumoral rompe el balance entre el influjo de líquido cefalorraquídeo periarterial y el eflujo perivenoso de líquido intersticial, con la acumulación resultante de líquido intersticial y, por ende, edema cerebral peritumoral. La función glinfática normal facilitaría la eliminación del exceso de fluidos y prevendría el edema. Por tanto, la disfunción glinfática permitiría explicar el edema en gliomas y tumores extraaxiales, como los meningiomas, que no tienen contacto directo con el intersticio cerebral. ⁽¹⁷⁾

No obstante, esta teoría no explica la formación de edema peritumoral en gliomas de bajo grado con uniones estrechas intactas, donde está reducido el crecimiento tumoral como agente disruptor del sistema glinfático. En este sentido, un estudio reciente ha demostrado que en estos casos existen cambios en las estructuras de soporte de la BBB que provocan la translocación de fluidos al intersticio cerebral. Los astrocitos parecen ser un paso limitante al movimiento osmótico, donde la AQP4 de sus procesos pediculares juega un papel esencial en la formación de edema peritumoral. La fuerte correlación entre ambos que exhiben diversas investigaciones justifica el estudio del papel de las acuaporinas en condiciones fisiológicas y patológicas. ⁽¹⁷⁾

4.1.6 Acuaporinas y su rol en la vía paravascular de fluidos

Las acuaporinas fueron identificadas por primera vez en 1992 por Peter Agre y colaboradores, como pertenecientes a una familia de transportadores transmembranales (canales) de agua. Las acuaporinas se ensamblan en las membranas como homotetrámeros y forman un arreglo ortogonal de partículas (OAP), donde cada monómero pertenece a una de las dos isoformas principales M1-AQP4 (32 kDa) y M23-AQP4 (30 kDa), y comprende seis dominios α -helicoidales transmembrana y un canal de agua de 2,8 – 3,0 angstroms (Å). ^(30, 31)

Estas proteínas facilitan el movimiento bidireccional pasivo del agua, impulsado por gradientes osmóticos a través de las membranas, unas 10-100 veces en comparación con la difusión simple. ^(14, 32)

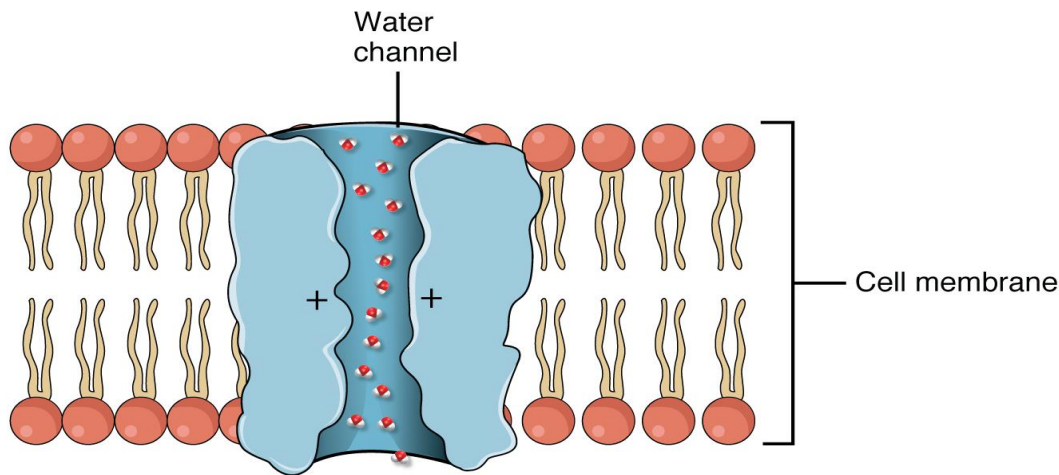


Figura 6. Representación esquemática de una molécula de acuaporina en la membrana celular permitiendo el paso del agua. Estas proteínas integrales de membrana facilitan el transporte rápido y selectivo de agua, lo que es crucial para la regulación del volumen celular y homeostasis. *Fuente: OpenStax College, Anatomy & Physiology, Connexions Web site (dominio público), Wikimedia Commons, 2013.*

Los cambios de su actividad tienen implicación en múltiples enfermedades, entre las que se pueden citar epilepsia, accidente vascular encefálico y glioblastoma. Su regulación es muy compleja y ocurre, hasta donde se conoce, por cuatro mecanismos: regulación de la expresión génica por microRNAs, modulación de la apertura del canal mediante fosforilación, control de la permeabilidad al agua por medio iones de metales pesados y regulación también de la permeabilidad mediante inhibidores de pequeña molécula. ⁽³³⁾

Hasta la fecha, se han identificado 11 tipos de acuaporinas en mamíferos en varios órganos como los riñones, glándulas secretoras y el cerebro, donde se describen predominantemente tres miembros de la familia:

1. **AQP1:** se expresa en la membrana apical del epitelio de los plexos coroideos, donde es probable que contribuya a la producción de líquido cefalorraquídeo.
2. **AQP4:** es la acuaporina más abundante y mejor caracterizada del cerebro, y predomina en la membrana plasmática de los astrocitos. La evidencia indica que la AQP4 está anclada en estas membranas a través de interacciones con la α -sintrofina ⁽³⁰⁾. La densidad de AQP4 es particularmente alta en los procesos pediculares de los astrocitos en contacto con los vasos y

la lámina basal superficial ($100 - 400 / \mu\text{m}^2$), pero su concentración cae a niveles muy bajos ($10 - 20 / \mu\text{m}^2$) en otras regiones de la membrana astrogial. ⁽¹⁾

3. **AQP9:** se expresa en el revestimiento endotelial del tercer ventrículo, en los astrocitos y las células epiteliales. Pertenece a una subfamilia de acuaporinas, las acuagliceroporinas, que transportan glicerol además de agua, y por lo tanto podrían participar en el metabolismo energético. ⁽³⁰⁾

Los procesos terminales perivasculares de los astrocitos (procesos pediculares o pies astrogiales) proveen una cobertura prácticamente completa de la microvasculatura cerebral (99 % de la superficie vascular cerebral) ⁽³⁴⁾, dejando sólo hendiduras de 20 - 30 nanómetros (nm), equivalentes a la separación entre dos neuronas en la hendidura sináptica, que permiten una comunicación directa del espacio vascular con el intersticio aunque muy limitada. A pesar de esto, la omnipresente membrana celular astrocitaria interpone una barrera de alta resistencia al flujo entre los compartimientos paravascular e intersticial. En cambio, AQP4, que ocupa el 50 % de la superficie de los pies astrogiales, constituye una vía de baja resistencia al movimiento de agua entre estos compartimientos. ⁽¹²⁾

De este modo, impulsado por la presión hidrostática de la masa de fluidos paraarteriales, el movimiento transglial de agua constituye la base del intercambio entre los espacios de Virchow-Robins y intersticio celular. La mezcla de CSF y líquido intersticial (en conjunto denominados fluidos neuronales) es aclarada con sus solutos (como las proteínas beta-amiloides) y transportados a lo largo de vías paravenosas específicas, incluyendo tanto la vena cerebral interna como la vena rinal caudal. Estas venas drenan a la vena cerebral magna y al seno recto (vena cerebral interna) y al seno transversal (vena rinal caudal). ⁽¹²⁾

4.2 Edema cerebral peritumoral y acuaporinas

Los síntomas de los gliomas son dependientes del crecimiento de la(s) masa(s) tumoral(es) y del edema cerebral peritumoral (PTBE). Desde los años '90 del pasado siglo se reconocen dos tipos de edema basado en su fisiopatología:

1. **citotóxico:** existen alteraciones en el funcionamiento de la $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPasa}$ y acumulación de sodio, con la consiguiente retención de líquidos en el compartimiento intracelular, mientras la BBB permanece intacta.
2. **Vasogénico:** se caracteriza por el compromiso de la BBB y la consecuente pérdida de homeostasia en el microambiente parenquimatoso neuronal. Al aumentar la permeabilidad

vascular y la propia integridad de esta barrera, la diferencia de presión hidrostática entre la sangre y el intersticio produce acumulación de líquidos en este último. ⁽¹⁾

Como se ha mencionado antes, AQP4 es una proteína clave en el sistema glinfático que promueve el flujo transglial de fluidos neuronales entre los espacios perivasculares y el intersticio cerebral.

Aunque los estudios de inmunofluorescencia han mostrado que en el área tumoral aumenta la vascularización (aumento de CD34⁺ alpha-SMA⁺), Xu *et al.* revelaron que la expresión de AQP4 en los pies astrogiales que rodea los vasos tumorales es muy débil. Estos resultados indican que el influjo al intersticio de CSF está limitado en los gliomas. De este modo, los fluidos neuronales no son drenados adecuadamente a las estaciones linfáticas durales, lo que disminuye la exposición de antígenos tumorales a los linfocitos T ⁽¹⁸⁾. Otros autores como Kaur han reproducido el hallazgo de subregulación de AQP4 en gliomas como factor vinculado a la obstrucción de los fluidos cerebrales y patogenicidad del cáncer. ⁽²⁰⁾

No obstante, en aparente contradicción, existen evidencias que apuntan a una relación directa entre los niveles de expresión de AQP4 y la incidencia de crisis cerebrales en pacientes con GBM. Al parecer los pacientes con convulsiones tendrían concentraciones mayores en sus membranas celulares. ⁽¹⁾

A juicio de los autores del presente trabajo, esto deja entrever que el significado biológico de la superexpresión de AQP4 no se ha comprendido en su totalidad. Puede que constituya un factor causal del edema cerebral o, por otro lado, una respuesta tisular compensatoria para eliminar el exceso de líquido. Por esta razón, se precisa comprender en profundidad la fisiopatología de PTBE que, cómo se verá, está íntimamente ligada a la evolución de las neoplasias de la glía.

4.2.1 La entrañable relación entre el edema cerebral peritumoral y la progresión de los gliomas

Todo lo anterior permite afirmar que el PTBE es una entidad multifactorial producida por la combinación de más de un mecanismo fisiopatológico. Es una de las principales manifestaciones de los gliomas que se presenta con varios rasgos histopatológicos: células tumorales infiltrantes, astrocitos reactivos, microglías activadas y angiogénesis. En efecto, la agresividad de los gliomas se correlaciona más con el volumen del edema que con el tamaño tumoral; se sospecha que el edema promueve la invasión glial y que su magnitud se asocia a mayores tasas de recurrencia y peor pronóstico. ⁽³⁵⁾

A favor de esta sentencia se posiciona la fisiopatología del PTBE, que depende de cuatro mecanismos principales:

- aumento de la permeabilidad de la BBB,
- angiogénesis tumoral,
- superexpresión de AQP4,
- invasión perivascular. ⁽³⁵⁾

La BBB es responsable de la entrada y salida de fluidos cerebrales, con un balance diario estimado de 40 000 moles de agua. Cualquier factor que provoque aumento de su permeabilidad producirá edema cerebral. Su compromiso es parte indisoluble de la historia natural del glioma en distintas etapas de la enfermedad. Inicialmente, los vasos sanguíneos existentes sirven como una guía para la invasión tumoral; en etapas posteriores, los vasos neoformados dan soporte al crecimiento del tumor, que conlleva secreción de factores angiogénicos (*e.g.*: VEGF), metaloproteinasas de matriz (MMPs) y ciclooxigenasa-2 (COX-2), los que incrementan la permeabilidad de la BBB. ^(34, 35)

La concentración de VEGF está influenciada por múltiples oncogenes, genes supresores tumorales, hormonas, citoquinas y varias moléculas de señalización (*e.g.*: óxido nítrico), y su efecto principal es la inducción de angiogénesis tumoral. Los vasos tumorales neoformados no poseen una BBB con las características normales observadas en vasos cerebrales sanos: expresión reducida de ocludina, claudina-5, cadherina, ZO-1 y ZO-2 (proteínas 1 y 2 de *zonula occludens*), así como otras moléculas de adhesión funcional que mantienen las uniones estrechas en el endotelio sano. ^(34, 35)

Además de la relación de acuaporinas con el edema cerebral, hay estudios que las vinculan con la agresividad del cáncer. Se ha documentado relación directa entre los niveles de AQP4 y el metabolismo glicolítico bajo condiciones hipóxicas, así como el grado de motilidad e invasividad celular. Las células de gliomas son extremadamente invasivas: su dinámica les permite ajustar su propio volumen y atraviesan el parénquima normal pasando por espacios estrechos y tortuosos, siguiendo un gradiente osmótico generado por acuaporinas. ⁽¹⁾

El estudio de Lan *et al.* demuestra que, si bien la expresión génica de *Aqp4* no difiere significativamente en base a la edad, sexo, mutación IDH o mutación MGMT, sí se vinculó con inestabilidad microsatelital (MSI) sin carga mutacional tumoral, *score* inmunológico y *score* estromal. El factor MSI, a diferencia de lo que ocurre en otros tumores, se relaciona con mal pronóstico en gliomas. El mismo estudio encontró que AQP4 se encontraba en proporcionalidad directa con la expresión de varios puntos de control inmunitarios y en proporcionalidad inversa con la capacidad de presentación de antígenos por parte del sistema inmunitario. Mediante estos hallazgos, los autores afirman en su estudio que existe relación directa entre AQP4 y la invasividad y resistencia multidroga de los gliomas. ⁽³⁶⁾

En opinión de los autores, la significación biológica en aparente ambigüedad de la sobreexpresión de AQP4 puede esclarecerse en relación con el histotipo de su expresión. Si bien el patrón de subregulación en astrocitos es característico, en otros tipos celulares (quizás en las propias células tumorales) la superexpresión sea la regla. En el primer caso se vería propiciada la disfunción glinfática, en el segundo, el edema vasogénico con / sin edema citotóxico; ambos trastornos están descritos en la esfera clínica como actores sinérgicos protagonistas del detrimento de la supervivencia y calidad de vida de los pacientes.

En relación a AQP1, Maugeri y colaboradores no sólo le atribuyen un papel en el PTBE de astrocitomas de alto grado, sino que también definen una proporción entre la expresión de AQP1 y el grado de malignidad. Es interesante que la expresión de esta proteína ocurre en la superficie de células endoteliales de capilares cerebrales tumorales, no en controles sanos, por lo que se ha vinculado con la formación de edema vasogénico peritumoral. Para explicar esto, sugieren que AQP1 induciría la secreción apocrina de VEGF por las células tumorales, lo que aumentaría la permeabilidad vascular secundaria a angiogénesis ⁽¹⁾, además, por el hecho de que los vasos tumorales neoformados contienen una BBB disfuncional, como antes se ha descrito. ⁽³⁵⁾

Maugeri también explica el papel de la hipoxia en la regulación del VEGF a nivel transcripcional y en la inducción de glucólisis anaerobia y producción de ácido láctico por el tumor, que puede persistir incluso en condiciones normóxicas (efecto Warburg). En éste y otros estudios se sugiere que la disminución del pH intracelular promueve la extrusión de hidrogeniones al espacio extracelular en conjunto con moléculas de agua, lo que induciría la superexpresión de AQP1 por el endotelio, como mecanismo compensatorio. Por tanto, los niveles de AQP1 vascular se correlacionarían con la intensidad de la glucólisis anaerobia tumoral. ⁽¹⁾

En opinión de los autores, un elemento fisiopatológico que refuerza la hipoxia, y en última instancia, el propio edema, es, paradójicamente, el propio proceso angiogénico. Está descrito que la angiogénesis tumoral nunca restablece la normoxia, más bien perpetúa la hipoxia relativa. Por un lado, esto es debido al crecimiento neoplásico no emparejado por el vascular, y por otro, a las cualidades tortuosas, irregulares, de los vasos neoformados, que no permiten un suministro adecuado de oxígeno al estroma y, aun en la cercanía de las células, se mantiene un grado de hipoxia intracelular relativa que mantiene encendidos estos circuitos patogénicos de retroalimentación positiva. La hipoxia es, además, acentuada por el edema pericelular que expande el espacio extracelular y disminuye la presión parcial tisular de oxígeno. Esta asociación viciosa generaría edema por varios mecanismos, incluyendo el del edema citotóxico.

Algo muy interesante que otros investigadores describen es el hallazgo de elementos de respuesta a esteroides en el promotor del gen *Aqp1*, lo que podría explicar en parte la acción antiedema cerebral de los glucocorticoides. ⁽¹⁾

También se ha reportado que VEGF estimula la producción de AQP4. En este contexto, VEGF sería el verdadero inductor del edema vasogénico, mientras la redistribución de AQP4 representaría una reacción protectora con el objetivo de evitar el edema citotóxico secundario mediante la reabsorción del exceso de fluidos. ⁽¹⁾

Por otro lado, estudios separados de varios autores apuntan a un mecanismo que conecta el PTBE con la invasividad celular: el aumento de influjo celular de agua estimularía la protrusión de la membrana para formar lamelipodios celulares que permiten la migración celular. Los autores hipotetizan que las células de gliomas tienen una habilidad inusual para regular su volumen y ajustarse a los espacios extracelulares tortuosos en la medida que los invaden, y esto requiere una permeabilidad aumentada al agua. ^(37, 38)

La invasión perivascular por el tumor puede interferir con el funcionamiento de las vías fisiológicas de drenaje de fluidos, como el sistema glinfático, lo que exacerba en potencia el PTBE ⁽³⁵⁾. En este sentido, Ma y colaboradores demostraron en roedores con glioma una reducción significativa de seis veces del flujo linfático en los grupos de linfonodos cervical profundo y mandibular, sitios terminales del drenaje de CSF de la cavidad craneana. ⁽³⁹⁾

El estudio de Watkins *et al.* demuestra que durante la progresión, las células tumorales se asocian con vasos sanguíneos mostrando preferencia por los capilares ($< 7 \mu\text{m}$ de diámetro) que constituyen un 48 % de la superficie vascular total; sólo un tercio de las células se anclaron a los vasos arteriales/venosos perforantes (7-35 μm de diámetro, 51 % del área total de los vasos); el resto, muy pocas células, contactaron vasos de mayor calibre para sólo un 1 % del área medida. Esta predilección por los pequeños vasos evoluciona al desplazamiento por parte del glioma de los procesos pediculados astrogliales hasta llegar a un contacto directo con las células endoteliales. Este insulto tiene consecuencias inmediatas en la modulación de las uniones estrechas del endotelio: la presencia de una sola célula cancerosa puede reducir la expresión de ZO-1 y claudina-5. ⁽³⁴⁾

En opinión de los autores del presente trabajo resulta evidente la entrañable relación entre el edema y la progresión de la enfermedad. Cada uno de los cuatro mecanismos fisiopatológicos citados al inicio de esta sección guardan vínculo con el desarrollo del glioma y llegan a su punto culminante con el desacoplamiento de los pies astrogliales de la superficie vascular por parte del glioma, la disrupción del sistema glinfático y la integridad de la barrera hematoencefálica. Al interrumpir *in situ*

la vía transglial de los fluidos neuronales y, en consecuencia, el bloqueo glinfático en *intima connexio* con el estado de neuroinflamación (como se verá más adelante), el tumor asegura su desarrollo en condiciones tóxicas que le favorecen. Su crecimiento compromete la BBB en términos funcionales en un inicio, debido a la angiogénesis y al rol permeabilizante del VEGF, mas la injuria se completa cuando invade la vasculatura e induce cambios estructurales al desplazar los astrocitos y degradar las uniones estrechas endoteliales. El resultado clínicamente evidente de todo este proceso es el edema cerebral peritumoral, con pronóstico sombrío a mediano y corto plazo por el desarrollo eventual de síndrome de hipertensión endocraneana.

4.2.2 Disfunción glinfática y neuroinflamación: círculo vicioso ignitor del glioma

El bloqueo glinfático, sumado a la disminución de producción de CSF asociado a PTBE e hipertensión endocraneana, compromete en gran medida el recambio de fluidos en pacientes con glioblastoma, lo que conduce al acúmulo de proteínas tóxicas, solutos y citoquinas/quimioquinas proinflamatorias que promueven la progresión de los gliomas. ^(39, 40)

De hecho, el estado de neuroinflamación y la disfunción glinfática, en muchos casos, coexisten y se contribuyen mutuamente desde el punto de vista causal, formando un círculo vicioso de injuria cerebral. El drenaje disminuido de CSF y/o la disfunción del sistema glinfático afectan la capacidad de eliminar los mediadores inflamatorios. Del mismo modo, la neuroinflamación puede exacerbar el daño glinfático; en este sentido, se sugiere que la liberación descontrolada de trampas extracelulares de neutrófilos (NETs) puede producir obstrucción vascular y daño tisular ⁽⁴⁰⁾. Una evidencia a favor de este mecanismo patogénico es el hallazgo de Pavan y colaboradores, que condujeron un estudio exploratorio de la patogenia del edema cerebral debido a meningitis por *Streptococcus pneumoniae* en un modelo murino; encontraron que las NETs interfieren con el transporte de fluidos neuronales mediado por el sistema glinfático, lo que conduce en última instancia al desarrollo eventual de edema cerebral difuso; demostraron que la degradación de las NETs con DNAsas revirtió el daño glinfático y restauró la dinámica de fluidos. ⁽⁴¹⁾

Los autores opinan que este pasaje demuestra el carácter de arma de doble filo del sistema inmunológico, capaz de provocar daños colaterales al propio hospedero, en ausencia de una enfermedad autoinmune. También resulta evidente una característica de la evolución humana: los mecanismos homeostáticos que son eficientes en condiciones agudas, se vuelven patogénicos en condiciones crónicas. El ser humano destaca en el mundo vivo por la disarmonía entre su propia biología y el ambiente que habita (el medio social: su segunda naturaleza), y esta disonancia de habitar en un mundo en permanente cambio por la cultura, que supera su capacidad de adaptación biológica

(e incluso intelectual), es la principal fuente de patogenicidad de las enfermedades crónicas no transmisibles.

Desde el punto de vista inmunitario, con el bloqueo del drenaje de CSF se afecta el transporte hacia los linfonodos de antígenos tumorales, lo que compromete la activación y proliferación de linfocitos T citotóxicos; no es extraño suponer entonces que el glioblastoma progresa en un microambiente privilegiado. Hay evidencias, además, de que la circulación interrumpida de CSF podría atenuar la eficacia de la administración de drogas intratecales a la cavidad craneana. ⁽³⁹⁾

4.2.3 Direcciones futuras en el tratamiento de gliomas

Hasta el presente, varios medicamentos se usan para el tratamiento del edema cerebral peritumoral (PTBE). Entre los más importantes: la esteroidoterapia y la osmoterapia con manitol; esta última incrementa la presión coloidosmótica intravascular que conduce a la retirada de agua de los tejidos cerebrales en cuestión de minutos. No obstante, las recientes revelaciones en la patogenia y fisiopatología de estas neoplasias malignas y sus fenómenos asociados pueden pavimentar el camino hacia la exploración de nuevas perspectivas terapéuticas.

Dado el rol de la AQP1 en el edema cerebral vasogénico y en la perpetuación de la hipoxia relativa, angiogénesis, crecimiento e invasión tumorales, el desarrollo de terapias biológicas contra esta diana podría romper el círculo vicioso que promueve la progresión tumoral. Su uso combinado con microdosis controladas de esteroides y dosis convencionales de anticuerpos monoclonales humanizados dirigidos contra el endotelio vascular (*e.g.*: bevacizumab), podría profundizar la regresión vascular y el efecto antitumoral, además de prevenir el edema peritumoral en un contexto de citólisis que podría favorecerlo.

En cambio, la explotación de la AQP4 parece propiciar una mayor controversia, pues su patrón de expresión y su significación biológica no están del todo dilucidadas. Terapias que induzcan la restauración de la AQP4 podría, como afirman autores como Xu, restablecer el comprometido sistema glinfático locorregional en pacientes con glioma, lo que aliviaría la obstrucción a la salida de fluidos neuronales y, por consiguiente, promovería la inmunidad antitumoral y el suministro más eficiente de agentes biológicos. Sin embargo, su inducción podría aumentar el edema peritumoral como afirman otros investigadores, en estrecha relación con la progresión de la enfermedad. Es posible que la inducción de expresión de AQP4 (si no se lleva a cabo controladamente en los procesos pediculados astrogiales mediante liposomas u otros mecanismos), no pueda ejercerse en la práctica clínica sin el bloqueo simultáneo de la AQP1 (y quizás, de la propia AQP4 en otros sitios) y/o agentes antiangiogénicos y/o esteroides.

El uso de inhibidores de COX-2, investigado hace décadas en otros tumores, pudiera ser parte de las terapias antiangiogénicas empleadas en el futuro; sin embargo, sus efectos adversos cardiotoxicos podrían prohibir su uso en ciertos pacientes, en especial en combinación con bevacizumab. En este sentido, estaría justificada la investigación de otros agentes de la misma vía del ácido araquidónico, capaces de modular la permeabilidad vascular de la BBB: los leucotrienos y las lipooxigenasas.

El trabajo experimental de Pavan *et al.* sobre el uso de DNAsas para revertir la neuroinflamación en el contexto de meningitis bacteriana, podría extrapolarse a determinados escenarios del tratamiento de los gliomas, dado su potencial para romper el círculo de retroalimentación positiva entre la disfunción glinfática y el estado inflamatorio. El beneficio de su uso podría ampliarse en combinación con otros agentes empleados para el tratamiento del edema cerebral, tanto en la fase aguda como en terapias de mantenimiento con intención paliativa.

El empleo de algunos compuestos derivados de la Medicina Complementaria y Alternativa (MCA), más conocida como Medicina Natural y Tradicional (MNT), pudiera ser una alternativa o complemento en el objetivo común de los tratamientos anticáncer. En este sentido se cita al ginseng, empleado en Japón, China y otras naciones asiáticas en el tratamiento de migraña y otras cefaleas, cuyo rol en la modulación de AQP4 y PTBE es un campo activo de investigación ⁽⁴²⁾. Otros compuestos, esta vez de la India, incluyen los ácidos boswélicos derivados de *Boswellia serrata*, que exhiben propiedades antiinflamatorias de utilidad en el manejo del edema cerebral, así como propiedades antitumorales y antioxidantes que ameritan mayor estudio ⁽³⁵⁾. La investigación y aplicación de la MNT podría tener impacto en un espectro amplio desde el tratamiento de urgencias en unidades de cuidados críticos o intermedios, como complemento o sustitución de terapias actuales en pacientes específicos, a la terapia metronómica de gliomas cerebrales o su uso paliativo en el escenario de progresión de la enfermedad. Por otro lado, la inducción de estructuras linfoides terciarias podría mejorar la inmunidad antitumoral. Las estructuras linfoides terciarias son agregados ectópicos de células linfoides (B y T) y estromales que se forman transitoriamente en ambientes carentes de tejido linfoide en asociación con condiciones inflamatorias crónicas, incluyendo autoinmunidad y cáncer. Su maduración se cree que abarca un espectro desde simples cúmulos linfoides hasta estructuras organizadas que contienen folículos definidos de células B con centro germinal activo así como zonas periféricas de células T, remediando órganos linfoides secundarios. ⁽¹⁰⁾

El desarrollo de terapias avanzadas como las hipotetizadas no podría considerarse separado de ciertos procedimientos paliativos, clínicos o quirúrgicos, que restablezcan la circulación normal del líquido cefalorraquídeo. Es posible que estas terapias u otras menos invasivas aumenten sus indicaciones y

no se releguen sólo a la dimensión paliativa del manejo del cáncer. El enfoque de la medicina preventiva no estaría exento de beneficiarse de estudios más profundos en relación a las acuaporinas. El desarrollo de nuevos biomarcadores para detectar fases muy tempranas de la enfermedad (subclínica) tendrían un impacto incuestionable en la supervivencia de pacientes con glioma.

Del mismo modo, el uso de estos (futuros) biomarcadores podría emplearse como guía para la evaluación de la respuesta en terapias sistémicas y en la detección precoz de recidivas. En este sentido, el estudio funcional mediante resonancia nuclear de difusión con medición de índice ALPS podría beneficiar a pacientes controlados en seguimiento, al anunciar tempranamente la disfunción del sistema glinfático aun en ausencia de evidencia clínica o imagenológica. (anatómica).

4.2.4 Conclusiones

El tratamiento de los gliomas cerebrales y sus fenómenos asociados aún representa un gran desafío tanto en la esfera asistencial como en la investigativa. No obstante, la revelación de aspectos fisiológicos del encéfalo que permanecían elusivos (*e.g.*: sistema glinfático), así como de mecanismos fisiopatológicos de fenómenos asociados a la progresión de los gliomas, descubre una avenida optimista para dirigir los esfuerzos humanos en la lucha contra la enfermedad.

El descubrimiento, aunque no del todo dilucidado, del papel de las acuaporinas en estos fenómenos, se suma a las continuas aseveraciones de la importancia de la investigación básica para ampliar las perspectivas del tratamiento oncoespecífico y paliativo, así como de la profilaxis secundaria.

No se deben dejar de mencionar los beneficios indudables de la incorporación de la medicina complementaria y alternativa a la asistencia médica y a la investigación; la fusión de ambos esfuerzos en una medicina de nuevo tipo podría acelerar el hallazgo de soluciones a los problemas de salud del presente.

Author Contributions: Todos los autores contribuyeron de manera similar en la preparación del artículo.

Funding: No se recibieron fondos para este trabajo de revisión.

Institutional Review Board Statement: No aplica

Informed Consent Statement: No aplica

Data Availability Statement: No aplica

Conflicts of Interest: Los autores declaran no tener conflictos de interés

Acknowledgments: No aplica

4.2.5 Referencias bibliográficas

1. Maugeri R, Schiera G, Di Liegro CM, et al. Aquaporins and Brain Tumors. *Int. J. Mol. Sci.* 2016;17:1029. doi: [10.3390/ijms17071029](https://doi.org/10.3390/ijms17071029)
2. Kernohan JW, Mabon RF, et al. A simplified classification of the gliomas. *Proc Staff Meet Mayo Clin* 1949;24(3):71-75.
3. Kalidindi N, Or R, Babak S, et al. Molecular Classification of Diffuse Gliomas. *Can J Neurol Sci.* 2020;47:464-473. doi: [10.1017/cjn.2020.10](https://doi.org/10.1017/cjn.2020.10)
4. Louis DN, Perry A, Reifenberger G, et al. The 2016 World Health Organization classification of tumors of the central nervous system: a summary. *Acta neuropathol* 2016;13:803-20. doi: [10.1007/s00401-016-1545-1](https://doi.org/10.1007/s00401-016-1545-1)
5. Otani R, Uzuka T, Ueki K. Classification of adult diffuse gliomas by molecular markers -a short review with historical footnote. *Japanese Journal of Clinical Oncology* 2017;47(1):2-6. doi: [10.1093/jjco/hyw142](https://doi.org/10.1093/jjco/hyw142)
6. Killela PJ, Pirozzi CJ, Reitman ZJ, et al. The genetic landscape of anaplastic astrocytoma. *Oncotarget* 2014;5:1452-1457. doi: [10.18632/oncotarget.1505](https://doi.org/10.18632/oncotarget.1505)
7. Youngblood MW, Magill ST, Stupp R, et al. Neoplasms of the Central Nervous System. En: DeVita VT, Lawrence TS, Rosenberg SA. DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer Principles and Practice of Oncology. Philadelphia: Wolters Kluwer. Vol 5. Cap. 60. pp1263-1332.
8. Youngblood MW, Moliterno GJ, Grünel M. Molecular Biology of Central Nervous System Tumors. En: DeVita VT, Lawrence TS, Rosenberg SA. DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer Principles and Practice Cap. 28. pp1021-1042.
9. Louis DN, Ellison DW, Perry A, et al. Introduction to CNS tumors. En: WHO Classification of Tumors Editorial Board. Central Nervous System Tumours. Lyon: International Agency for Research on Cancer. 5ta edición. Cap. 1. pp1-14.

10. van der Walle T, Vaccaro A, Ramachandran M, *et al.* Tertiary Lymphoid Structures in the Central Nervous System: Implications for Glioblastoma. *Frontiers in Immunology* 2021(12);724739. doi: [10.3389/fimmu.2021.724739](https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.724739)
11. Rennels ML, Gregory TF, Blaumanis OR, *et al.* Evidence for a ‘Paravascular’ Fluid Circulation in the Mammalian Central Nervous System. *Brain Research* 1985;326:47-63. doi: [10.1016/0006-8993\(85\)91383-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(85)91383-6)
12. Iliff JJ, Wang M, Zeppenfeld DM, *et al.* Cerebral arterial pulsation drives paravascular CSF-interstitial fluid exchange in the murine brain. *J. Neurosci.* 2013;33:18190–18199. doi: [10.1523/JNEUROSCI.1592-13.2013](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1592-13.2013)
13. Siow TY, Toh CH, MD, Hsu JL. Association of Sleep, Neuropsychological Performance, and Gray Matter Volume With Glymphatic Function in Community-Dwelling Older Adults. *Neurology* 2022;98(8):e829-e838. doi: [10.1212/WNL.00000000000013215](https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000013215)
14. Mogensen FLH, Delle C, Nedergaard M. The Glymphatic System (En)during Inflammation. *Int. J. Mol. Sci.* 2021;22:7491. doi: [10.3390/ijms22147491](https://doi.org/10.3390/ijms22147491)
15. Rasmussen MK, Mestre H, Nedergaard M. Fluid Transport in the Brain. *Physiol Rev* 2002;102:1025-1151. doi: [10.1152/physrev.00031.2020](https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2020)
16. Eide PK, Vinje V, Pripp AH, *et al.* Sleep deprivation impairs molecular clearance from the human brain. *Brain* 2021;144:863–874. doi: [10.1093/brain/awaa443](https://doi.org/10.1093/brain/awaa443)
17. Toh CH, Tiing YS. Factors Associated With Dysfunction fo Glymphatic System in Patients With Glioma. *Frontiers in Oncology* 2021(11):624690. doi: [10.3389/fnins.2021.624690](https://doi.org/10.3389/fnins.2021.624690)
18. Xu D, Zhou J, Mei H, *et al.* Impediment of Cerebrospinal Fluid Drainage Through Glymphatic System in Glioma. *Frontiers in Oncology* 2022(11);790821. doi: [10.3389/fonc.2021.790821](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.790821)
19. Ferris CF. Rethinking the Conditions and Mechanism for Glymphatic Clearance. *Frontiers in Neuroscience* 2021(15):624690. doi: [10.3389/fonc.2021.744318](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.744318)
20. Kaur J, Ding G, Zhang L, *et al.* Imaging glymphatic response to glioblastoma. *Cancer Imaging* 2023;23:107. doi: [10.1186/s40644-023-00628-w](https://doi.org/10.1186/s40644-023-00628-w)
21. Louveau A, Smirnov I, Keyes T, *et al.* Structural and functional features of central nevous system Lymphatics. *Nature* 2015;523(7560):337-341. doi: [doi:10.1038/nature14432](https://doi.org/10.1038/nature14432)

22. Lee DS, Suh M, Sarker A, *et al.* Brain Glymphatic/Lymphatic Imaging by MRI and PET. Nucl Med Mol Imaging 2020;54:207–223. doi: [10.1007/s13139-020-00665-4](https://doi.org/10.1007/s13139-020-00665-4)
23. Eide K. Neurosurgery and the glymphatic system. Acta Neurochirurgica 2024;166:274. doi: [10.1007/s00701-024-06161-4](https://doi.org/10.1007/s00701-024-06161-4)
24. Steward CE, Venkatraman VK, Lui E, *et al.* Assessment of the DTI-ALPS Parameter Along the Perivascular Space in Older Adults at Risk of Dementia. J Neuroimaging 2021;31:569–578. doi: [10.1111/jon.12837](https://doi.org/10.1111/jon.12837)
25. Taoka T, Ito R, Nakamichi R, *et al.* Diffusion Tensor Image Analysis ALong the Perivascular Space (DTI-ALPS): Revisiting the Meaning and Significance of the Method. Magn Reson Med Sci 2024;23:268–290. doi: [10.2463/mrms.rev.2023-0175](https://doi.org/10.2463/mrms.rev.2023-0175)
26. Basser PJ, Pajevic S, Pierpaoli C, *et al.* In Vivo Fiber Tractography Using DT-MRI Data. Magnetic Resonance in Medicine 2000;44:625–632. doi: [10.1002/1522-2594](https://doi.org/10.1002/1522-2594)
27. Toh CH, Siow TY, Castillo M. Peritumoral Brain Edema in Metastases May Be Related to Glymphatic Dysfunction. Frontiers in Oncology 2021(11);725354. doi: [10.3389/fonc.2021.725354](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.725354)
28. Toh CH, Siow TY, Castillo M. Peritumoral Brain Edema in Meningiomas May Be Related to Glymphatic Dysfunction. Frontiers in Neuroscience 2021(15);674898. doi: [10.3389/fnins.2021.674898](https://doi.org/10.3389/fnins.2021.674898)
29. Villacis G, Schmidt A, Rudolf J, *et al.* Evaluating the glymphatic system via magnetic resonance diffusion tensor imaging along the perivascular spaces in brain tumor patients. Japanese Journal of Radiology 2024;42:1146–1156. doi: [10.1007/s11604-024-01602-7](https://doi.org/10.1007/s11604-024-01602-7)
30. Amiry-Moghaddam M, Ottersen OP. The Molecular Basis of Water Transport in the Brain. Nature Reviews Neuroscience 2003(4):991–1001. doi: [10.1038/nrn1252](https://doi.org/10.1038/nrn1252)
31. Pisani F, Simone L, Mola MG, *et al.* Regulation of aquaporin-4 expression in the central nervous system investigated using M23-AQP4 null mouse. Glia. 2021;69:2235–2251. doi: [10.1002/glia.24032](https://doi.org/10.1002/glia.24032)
32. Verkman AS, Mitra AK. Structure and function of aquaporin water channels. Am. J. Physiol. Renal Physiol. 2000;278:F13–F28. doi: [10.1152/ajprenal.2000.278.1.f13](https://doi.org/10.1152/ajprenal.2000.278.1.f13)

33. Vandebroek A, Yasui M. Regulation of AQP4 in the Central Nervous System. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21:1603. doi: [10.3390/ijms21051603](https://doi.org/10.3390/ijms21051603)
34. Watkins S, Robel S, Kimbrough IF, *et al.* Disruption of astrocyte-vascular coupling and the blood-brain barrier by invading glioma cells. *Nat Commun.* 2014;5:4196. doi: [10.1038/ncomms5196](https://doi.org/10.1038/ncomms5196)
35. Ohmura K, Tomita H, Hara A. Peritumoral Edema in Gliomas: A Review of Mechanisms and Management. *Biomedicines* 2023;11:2731-2746. doi: [10.3390/biomedicines11102731](https://doi.org/10.3390/biomedicines11102731)
36. Identification of the prognostic and immunological roles of aquaporin 4: A potential target for survival and immunotherapy in glioma patients. *Frontiers in Cellular Neuroscience* 2022(16):1061428. doi: [10.3389/fncel.2022.1061428](https://doi.org/10.3389/fncel.2022.1061428)
37. McCoy E, Sontheimer H. Expression and function of water channels (aquaporins) in migrating malignant astrocytes. *Glia* 2007;55:1034–1104. doi: [10.1002/glia.20524](https://doi.org/10.1002/glia.20524)
38. Papadopoulos MC, Saadoun S. Key roles of aquaporins in tumor biology. *Biochim. Biophys. Acta* 2015;1848:2576–2583. doi: [10.1016/j.bbamem.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.09.001)
39. Ma Q, Schlegel F, Bachmann SB, *et al.* Lymphatic outflow of cerebrospinal fluid is reduced in glioma. *Scientific Reports* 2019;9:14815. doi: [10.1038/s41598-019-51373-9](https://doi.org/10.1038/s41598-019-51373-9)
40. Zou K, Deng Q, Zhang H, *et al.* Glymphatic system: a gateway for neuroinflammation. *Neural Regeneration Research* 2024;19(12):2661-2672. doi: [10.4103/1673-5374.391312](https://doi.org/10.4103/1673-5374.391312)
41. Pavan C, Xavier ALR, Ramos M, *et al.* DNase treatment prevents CSF block in early experimental pneumococcal meningitis. *Ann Neurol* 2021;90(4):653-669. doi: [10.1002/ana.26186](https://doi.org/10.1002/ana.26186)
42. Iba C, Uekawa M, Izawa Y. Effect of Goreisan, a Japanese Traditional Medicine, on Cortical Spreading Depolarization in Mice. *Int. J. Mol. Sci.* 2022; 23:13803. doi: [10.3390/ijms232213803](https://doi.org/10.3390/ijms232213803)

4.2.6 Anexo 1. Glosario

Acrónimo	Significado	Traducción común
AQP	<i>aquaporin</i>	acuaporina
BBB	<i>blood-brain barrier</i>	barrera hematoencefálica
CNS	<i>central nervous system</i>	sistema nervioso central
CSF	<i>cerebrospinal fluid</i>	líquido cefalorraquídeo
DNAsa	<i>deoxyribonuclease</i>	desoxirribonucleasa
DTI-ALPS	<i>diffusion tensor imaging analysis along the perivascular space</i>	imagenología por tensor de difusión del espacio perivascular
GBM	<i>glioblastoma</i>	glioblastoma
IDH	<i>isocitrate dehydrogenase</i>	deshidrogenasa de isocitrato
MMP	<i>matrix metalloproteinase</i>	metaloproteinasa de matriz
MGMT	<i>O6-methylguanine-DNA methyltransferase</i>	metiltransferasa de O6-metilguanina de ADN
MRI	<i>magnetic resonance imaging</i>	resonancia magnética nuclear
MSI	<i>microsatellite instability</i>	inestabilidad de microsatélites
OAP	<i>orthogonal array of particles</i>	arreglo ortogonal de partículas
NET	Neutrophil Extracellular Traps	Trampas extracelulares de neutrófilos
PTBE	<i>peritumoral brain edema</i>	edema cerebral peritumoral
REM	<i>rapid eye movement</i>	movimientos oculares rápidos
mRNA	<i>messenger ribonucleic acid</i>	ácido ribonucleico (ARN) mensajero
VEGF	<i>vascular endothelial growth factor</i>	factor de crecimiento del endotelio vascular

| **Received:** 10 octubre 2024 | **Accepted:** 17 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Mederos-Matos, A., Zamora M., Piña, JC. Glymphatic system, blood-brain barrier and aquaporins: their relationship with glioma progression. . *Bionatura*. **2024** Volume 9. No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

5 Potencialidades del aceite fusel. Tecnologías para su revalorización

Fusel oil potential. Technologies for its revaluation

Claudia Liz García Aleaga ¹, Arletis Cruz Llerena ^{1,2}, Osney Pérez Ones ^{2,*}, Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas ², Marcela Fernández Casiis ¹.

¹ Departamento de Bioingeniería; Dirección de Biotecnología; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) Vía Blanca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

² Grupo de Análisis de Procesos; Facultad de Ingeniería Química; Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae); Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

* Correspondence: osney@quimica.cujae.edu.cu

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.5

Resumen

El aceite fusel como subproducto obtenido a partir de la destilación y posterior rectificación del proceso de producción de bioetanol, constituye una fuente de bajo costo, rico en compuestos de alto valor comercial. Se encuentra constituido principalmente por una mezcla de alcoholes superiores, presentando al alcohol isoamílico como componente mayoritario. La separación de sus principales alcoholes mediante destilación y su posterior esterificación con un ácido carboxílico, permite la generación de productos de alto valor agregado con gran aplicación en industrias como la farmacéutica y alimentaria. Actualmente el aceite fusel no es aprovechado al máximo y se pierde en cantidades significativas. Disponer de métodos que permitan su aprovechamiento es esencial para valorizar este compuesto. En este sentido, en la literatura diversos autores plantean el uso de tecnologías para la recuperación, tanto de sus principales alcoholes, como para la obtención de los ésteres derivados. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica acerca de los principales aspectos relacionados con el aceite fusel, su composición, aplicaciones y tecnologías aplicadas para su revalorización. Entre las tecnologías reportadas la mayoría están encaminadas a la síntesis de ésteres y se destaca la destilación reactiva como una opción prometedora.

Palabras clave: aceite fusel, generación de productos, tecnologías para su revalorización

Abstract

Fusel oil, a by-product of the distillation and subsequent rectification of the bioethanol production process, is a low-cost source, rich in compounds of high commercial value. It is mainly composed of a mixture of higher alcohols, with isoamyl alcohol as the main component. The separation of its main alcohols by distillation and their subsequent esterification with a carboxylic acid allows the production of high value-added products with wide application in industries such as pharmaceuticals and food. Currently, fusel oil is underutilized and significant amounts are lost. Having methods that allow its use is essential to valorize this compound. In this sense, in the literature various authors propose the use of technologies for the recovery of both its main alcohols and for obtaining the derived esters. This paper presents a review of the main aspects related to fusel oil, its composition, applications and applied technologies for its revalorization. Among the reported technologies, most are aimed at the synthesis of esters and reactive distillation stands out as a promising option.

Keywords

Fusel oil, product generation, technologies for its revaluation

Introducción

La producción de bioetanol ha crecido en los últimos años constituyendo una de las actividades más importantes en el desarrollo del sector azucarero, no solo por el valor de su producción sino también por los innumerables usos y aplicaciones que poseen subproductos derivados del mismo.¹ Durante la etapa de rectificación en el proceso de producción de bioetanol se genera un subproducto como impureza de este proceso denominado aceite fusel.²

El aprovechamiento del fusel como subproducto tiene un interesante potencial económico en países con volúmenes de producción de etanol elevados. Actualmente el aceite fusel se quema en las calderas de los centrales o se comercializa para su utilización como solvente en algunas aplicaciones industriales, pero constituye una fuente renovable de energía de bajo costo para generar productos químicos de alto valor comercial.³

Mediante una deshidratación y posterior proceso de destilación, es posible obtener sus principales componentes, dentro de los que se pueden mencionar los alcoholes isoamílicos, isobutílico y n-propílico como componentes mayoritarios. A partir de las reacciones de esterificación de estos compuestos, también es posible obtener ésteres de gran valor agregado como el acetato de isoamilo, isobutilo y el acetato de etilo, con una amplia gama de usos en industrias como la farmacéutica y alimentaria.^{2,3}

La elaboración de productos químicos a partir de la reutilización de subproductos y residuales se está convirtiendo en un área atractiva de inversión para las industrias en el marco de una economía más

sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente. Conocer las características del fusel, sus propiedades, aplicaciones y vías de aprovechamiento mediante el empleo de tecnologías para su transformación en productos de alto valor agregado, es esencial para valorizar este compuesto.

Aceite fusel. Generalidades

El nombre de aceite fusel proviene del alemán fusel que significa licor de mala calidad.⁴ Se define como una mezcla de alcoholes superiores, congéneres de la fermentación alcohólica, favoreciéndose su formación cuando esta última se produce a altas temperaturas, con pH bajos y cuando la actividad de la levadura está limitada por el contenido de nitrógeno.² Lo componen diversos alcoholes como el etanol y otros de orden superior, como el alcohol isoamílico (A. isoamílico), 1-propanol, 2-propanol, butanol (varios isómeros), furfural y otros compuestos en menor proporción, además de agua.⁵

Es posible separar los componentes del fusel mediante la destilación en diferentes fracciones según su punto de ebullición. El intervalo en que estas se encuentran contenidas está aproximadamente entre los 80 y 130 °C a presión atmosférica.⁶ Luego por un proceso de esterificación con un ácido carboxílico es posible obtener los ésteres de estas fracciones, compuestos a los que se les confiere un alto valor agregado en diferentes industrias.

Según lo expresado por Urresta,⁷ el aceite fusel se puede derivar a partir del bioetanol de primera generación (azúcar o almidón) y también de segunda generación (biomasa lignocelulósica). Se encuentra presente en la sidra, aguamiel, cerveza, vino y bebidas espirituosas. En algunas bebidas se espera alcanzar concentraciones relativamente altas de los alcoholes del fusel como parte del perfil del sabor, por ejemplo, whisky, siwucha, la cerveza tradicional inglesa y sidras. En otras bebidas, por ejemplo, vodka y cervezas doradas, la presencia de los alcoholes del fusel se considera una imperfección.²

De acuerdo con la información disponible en la literatura, los rendimientos de aceite fusel obtenidos en planta comercial pueden variar entre 1-11 L por cada 1 000 L de alcohol etílico producido dependiendo del sustrato utilizado, las sustancias nitrogenadas añadidas y las condiciones de fermentación y destilación.⁸⁻¹⁰

Composición química del aceite fusel

La composición de los aceites fusel varía de una destilería a otra independientemente de que se emplee la misma materia prima. Los factores que afectan su composición son: el tipo de levadura o enzima, las condiciones y el medio bajo los cuales se lleva a cabo la fermentación (la presencia de aminoácidos, compuestos nitrogenados, la temperatura, la aireación, el tipo y concentración del inóculo) y el método de recuperación en la columna rectificadora.^{6,11,12}

Las propiedades fisicoquímicas del aceite fusel no se encuentran definidas en la literatura ya que estas van a depender de la composición del mismo. Es probable, que las propiedades sean muy cercanas a las del A. isoamílico, ya que generalmente es el compuesto mayoritario del aceite de fusel.³ En la Tabla 1 se presenta una recopilación de diferentes composiciones de aceite fusel reportada en la literatura proveniente de destilerías de cinco países.

Tabla 1. Composición del aceite de fusel reportada en el mundo

Componentes	Composición (% másico)				
	India ¹³	Brasil ¹⁴	Colombia ¹⁵	China ¹⁶	Cuba ¹⁷
1-propanol	3,5	0,94	nr	nr	2,56
Isobutanol	9,5	6,71	1,3	15	6,30
1-butanol	nr	0,57	1,4	nr	0,20
A. isoamílico	74,6	55,70	70,4	51	59,90
2-metil-1-butanol	nr	12,07	nr	nr	nr
Isopropanol	nr	nr	nr	13	nr
1-pentanol	nr	0,03	nr	nr	2,15
Agua	nr	15,31	14,3	10	14,14
Metanol	nr	0,02	nr	nr	nr
Etanol	12,4	8,66	12,6	10	14,75

Como se puede observar en la Tabla 1 las composiciones de aceite de fusel son muy diversas, tanto en cantidad como en compuestos presentes. Como punto en común todas las muestras reportadas presentan el alcohol isoamílico como componente mayoritario. En el caso de la destilería de Brasil se destaca la presencia de 2-metil-1-butanol (alcohol amílico activo) y algunas trazas de metanol y para el caso de la destilería China hay presencia de isopropanol. En cuanto a la composición de aceite fusel reportada para la destilería India se observa la ausencia de agua, ya que esta muestra empleada por los autores representa una composición típica de fusel en base libre de este compuesto. Esta variedad en la composición del fusel puede atribuirse a los factores antes mencionados.

Aplicaciones del aceite fusel

El aceite fusel a pesar de constituir un desecho industrial producto de la destilación alcohólica, posee en su composición una amplia gama de alcoholes superiores que lo posicionan como un producto versátil para diversos sectores industriales.

En la industria química los alcoholes provenientes del fusel, cada uno por separado, exhiben valiosas propiedades químicas que se traducen en aplicaciones industriales. El A. isoamílico como principal constituyente, entre sus usos es empleado como disolvente industrial para una variedad de resinas y materiales aceitosos, mientras que los alcoholes butílico y propílico encuentran su uso principal como disolventes industriales, especialmente para lacas y tintas de impresión.¹⁰ Dentro de las principales aplicaciones de los alcoholes que lo componen, su principal uso se encuentra en la síntesis de ésteres. Estos compuestos poseen un valor agregado superior y son muy cotizados actualmente.

Los ésteres obtenidos a partir de los alcoholes del aceite de fusel se pueden utilizar industrialmente como disolventes, extractantes, agentes aromatizantes, medicinales y plastificantes. Al igual que los alcoholes, son importantes componentes de sabor y fragancia en las industrias de alimentos, bebidas, cosmética y farmacéutica.¹⁸ Los acetatos de etilo, isobutilo, amilo e isoamilo se utilizan frecuentemente como componentes en aromatizantes y los acetatos de isopropilo y metilo son aditivos importantes en perfumes. El acetato de isoamilo presenta un importante uso en la industria de bebidas alcohólicas ya que es el único éster capaz de comunicar al vino su olor característico a plátano.^{18,19}

En la literatura varias investigaciones están encaminadas a potenciar su uso para la producción de combustibles renovables y es que se ha comprobado que el valor energético del fusel es cercano al de los otros tipos de combustibles, su índice de octanaje y densidad lo convierten en candidato a combustible alternativo para los motores de combustión.²⁰ Es por ello que en variedad de estudios realizados se promueve el aceite fusel como bioaditivo para combustibles convencionales como el diésel y la gasolina.²⁰⁻²⁵

Otras de las aplicaciones que se le atribuyen al aceite fusel es su empleo en la desnaturalización de alcohol o para suprimir la espuma durante la fabricación de azúcar.⁶ También se encuentra reportado su aplicación en la industria agrícola como herbicida,^{26,27} aunque son pocas las investigaciones que abordan sobre este tema, en un estudio realizado por Azania et al.²⁶ se demostró el potencial del aceite fusel contra las malezas, ya que la aplicación directamente al suelo fue eficiente para erradicar los retoños y no perjudicó el desarrollo de las plantas en sucesión. Es importante señalar que puede ser utilizado en conjunto con formulaciones de herbicidas tradicionales para erradicar diferentes especies de maleza.²⁸

Dada la creciente demanda de productos sostenibles, la utilización del aceite fusel para la producción de ésteres puede tomar mayor peso en sus aplicaciones. Los ésteres derivados del aceite fusel son compuestos versátiles que se pueden emplear para diversas aplicaciones industriales, desde fragancias y sabores hasta para producción de productos farmacéuticos. Esto no solo representa una oportunidad

para maximizar el aprovechamiento de este recurso, sino que también contribuye al desarrollo sostenible en múltiples sectores industriales.

Deshidratación del aceite fusel

La presencia de agua en el aceite fusel puede afectar negativamente a la destilación y a la pureza de los productos finales, por lo que es recomendable realizar previamente una deshidratación. Con este proceso se facilita la eliminación de la humedad y otras impurezas, permitiendo obtener alcoholes de mayor concentración y pureza.

Entre las técnicas de deshidratación reportadas en la literatura se encuentra el empleo de soluciones saturadas de sal como el sulfato de sodio (Na_2SO_4), la adición de hexano u óxidos como el de calcio (CaO) para separar las mezclas de fusel.^{7,29}

La adición de hexano al fusel para deshidratarlo se fundamenta en su efecto antisolvente. Al adicionarlo cambia la polaridad de la mezcla de fusel volviéndola más apolar. Debido a esto el agua se separa quedando una solución heterogénea de dos fases: una fase liviana que contiene todo el hexano, la mayoría o todos los alcoholes y nada de agua prácticamente y la otra fase más pesada compuesta fundamentalmente por agua.^{29,30} Es importante señalar que una vez finalizada la deshidratación con la adición de hexano, este forma parte de la solución deshidratada y es necesario la utilización de una segunda operación unitaria que permita su separación del fusel deshidratado.

El proceso de deshidratación con el óxido de calcio a pesar de estar muy establecido en las industrias debido a su bajo costo y no toxicidad, presenta inconvenientes como el consumo elevado de cal, la dificultad de su recuperación, la necesidad de mezcla mecánica y de filtración debido a las sustancias sólidas.³⁰

La deshidratación con sulfato de sodio es una de las técnicas más reportadas y empleadas. Constituye un método simple y efectivo para eliminar el agua presente en el aceite fusel ya que es un compuesto higroscópico que tiene la capacidad de absorber el agua. Solo es eficaz por debajo de los aproximadamente 30 °C, pero se puede usar en gran variedad de materiales ya que es bastante inerte químicamente.^{2,3,30}

En un estudio realizado por Berguero y Odetti³⁰ los autores se proponen obtener un método para la deshidratación del aceite fusel en el que comparan estas tres técnicas de deshidratación mencionadas (deshidratación con CaO , Na_2SO_4 y hexano) para tres muestras de aceite fusel de igual proporción (100 mL). Se adicionaron 3,3 g de CaO , 40,7 g de Na_2SO_4 y 50 mL de hexano saturado en agua respectivamente para cada muestra. Como resultados con la deshidratación con CaO se logró una disminución del contenido de agua inicial desde un 14 hasta un 10 %, con la deshidratación con

Na_2SO_4 se logró una reducción desde un 14 hasta el 8 % y con la adición de hexano se alcanzó una reducción desde un 14 hasta un 7 %.

Por otra parte, Hidalgo²⁹ en su investigación llevó a cabo la deshidratación de fusel en dos momentos: primeramente se mezcló fusel con una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) en dos etapas para separar la fase orgánica de la acuosa y posteriormente se eliminaron las trazas de agua adicionando 0,5 gramos de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) por centímetro cúbico de fusel. Como resultados se redujo el contenido de agua del fusel crudo desde un 17,24 hasta un 4 % empleando cloruro de sodio y posteriormente con Na_2SO_4 se disminuyeron los restos de agua contenida hasta un 2 %, lo que trajo consigo un aumento del grado alcohólico de la muestra (desde 85,4 °GL hasta 91,1 °GL), esencial para que exista una buena separación de los componentes en el proceso de destilación.

Recientemente Mattos et al.³¹ en su estudio, deshidrataron aceite de fusel en un horno de mufla utilizando sulfato de sodio anhidro pre-tratado a 250 °C durante 4 h. Como resultado se obtuvo que la concentración de agua se redujo de 11,6 hasta un 2 % p/p, este valor fue cuantificado mediante el titulador automático Karl Fischer (Kohler Model AKF 5000—Holtsville, NY, EE. UU).

Otro de los métodos reportados para la deshidratación de fusel lo constituye la pervaporación con membranas.^{16,32-34} En el estudio realizado por Zheng et al.¹⁶ se demostró que, mediante la pervaporación con una membrana de fibra hueca de complejo polielectrolítico sulfatado se puede aumentar el contenido orgánico en la alimentación del 90-99 % p/p con alta eficiencia y excelente selectividad del agua (contenido de agua en el permeado siempre por encima del 98,5 % p/p). De igual manera Chen et al.³² aplican la pervaporación para procesos de deshidratación de aceites fusel con una membrana de fibra hueca híbrida de sílice. El estudio permitió retener un contenido de agua en el permeado de 99 % p/p a 60 °C. Con el empleo de la membrana es posible separar completamente el agua presente, sin embargo se requiere de más tiempo de separación.²⁹

Destilación del aceite fusel

La destilación del aceite fusel resulta compleja debido a la cantidad de componentes presentes en la mezcla y a la presencia de varios azeótropos. Para obtener los principales alcoholes presentes en el aceite fusel se emplea la destilación fraccionada, mediante la cual aproximadamente se destila el 95 % de fusel crudo.²

Según Kujawski et al.³³ para una recuperación efectiva de los alcoholes $\text{C}_2\text{-C}_4$ se requiere la deshidratación del aceite de fusel crudo antes de la separación final. En su investigación se sometieron

a una destilación fraccionada discontinua: aceite fusel crudo y aceite fusel deshidratado. La baja cantidad de agua presente en el aceite fusel deshidratado permitió obtener sólo tres fracciones principales: la primera compuesta por etanol puro, la segunda por 2-metil-1-propanol con un 99,65 % másico de pureza y en la tercera fracción 2- metil-1 butanol (alcohol amílico activo) y 3-metil-1-butanol (A. isoamílico) con un 99,95 % másico de pureza; además las fracciones precursoras e intermedias constituyeron aproximadamente el 4,9 % másico; por lo que resultó ser más favorable.

Actualmente varios autores se están apoyando en el uso de la simulación de procesos para modelar sistemas intensificados para la separación de los alcoholes fusel más sostenibles. Tal es el caso de la investigación realizada por Mendoza-Pedroza et al.¹⁵ donde proponen un sistema de destilación para la obtención de A. isoamílico. Los autores llevaron a cabo una comparación entre el proceso intensificado y el esquema convencional y los procesos fueron modelados mediante el Aspen Plus. De igual forma Ferreira et al.¹⁴ en su investigación, tuvieron como objetivo evaluar el proceso de destilación industrial de aceite fusel para la obtención de A. isoamílico utilizando el simulador Aspen Plus, analizando tres configuraciones. Entre los resultados obtenidos los autores expresan que no es posible obtener solamente A. isoamílico en la corriente de cola mediante procesos convencionales de destilación debido a la presencia del alcohol amílico activo en la composición de la muestra de fusel. Se obtiene un producto constituido por una mezcla de ambos isómeros, debido a que la diferencia entre su punto de ebullición (solo 2,5 °C) dificulta su separación. Además, todos los procesos propuestos fueron capaces de recuperar A. isoamílico (99,53 %) siendo el mejor diseño la configuración C, con un menor costo total.

Esterificación de alcoholes

El aceite fusel presenta potencialidad como fuente de materia prima para la obtención de una gran variedad de ésteres, en dependencia del donante ácido utilizado.³⁵ Para llevar a cabo estas reacciones de esterificación con los alcoholes fusel, en la literatura se encuentra reportado el uso de ácidos como el acético,^{36,37} el propiónico,^{37,38} el butírico,^{37,39,40} el ácido láurico,^{35,41} el ácido oleico⁴²⁻⁴⁴ y el ácido caprílico.⁴⁵ Küçüçük y Ceylan³⁷ en su estudio, presentan algunos datos sobre la esterificación no catalizada de aceite de fusel con ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico. Como resultados se encontró que las velocidades de formación de ésteres de ácido butírico eran mayores que las de los ésteres de ácido acético y propiónico, el rendimiento de producción máximo estimado de los ésteres mixtos de ácido acético fue de alrededor del 19 %, de los ésteres de ácido propiónico del 24 % y de los ésteres de ácido butírico del 35 %.

Promover la esterificación con el uso de un catalizador adecuado puede aumentar considerablemente las velocidades de reacción y la conversión. Para el caso de la esterificación de los alcoholes fusel, algunos autores^{5,42,46,47} en sus investigaciones han empleado catalizadores ácidos homogéneos como el ácido sulfúrico. Sin embargo, estos procesos de esterificación con ácidos fuertes a menudo ocasionan la formación de productos indeseables que deben eliminarse mediante una neutralización o purificación posterior y en ocasiones consumen mucha energía,^{35,38} además de la pérdida del catalizador, corrosión y problemas medioambientales.⁴⁸

Con motivo de superar los inconvenientes que pueden ocasionar el uso de catalizadores ácidos homogéneos, en la literatura varias investigaciones emplean la catálisis heterogénea para la esterificación de los alcoholes fusel. En este sentido, autores como Osorio-Viana et al.³⁶ hacen uso de la resina de intercambio Amberlite IR-120 para la síntesis de acetato de isoamilo. Leyva et al.³⁸ en su estudio de la cinética de la reacción en fase líquida del ácido propiónico y el A. isoamílico para la obtención de propionato de isoamilo, utilizan la resina de intercambio iónico Amberlyst 70.

Otros autores se apoyan en la catálisis enzimática; tal es el caso de Wang et al.⁴⁹ los cuales para un nuevo proceso de producción de biodiesel mediante la síntesis de alcohol fusel y ésteres de ácidos grasos, emplean lipasa inmovilizada como catalizador, permitiendo que el proceso fuera respetuoso con el medio ambiente en comparación con los catalizadores químicos utilizados habitualmente. Autores como Dörmö et al.⁴³ también hacen uso de la esterificación enzimática para la obtención de un biolubricante ambientalmente seguro a partir del aceite fusel y ácido oleico; para ello se empleó la enzima lipasa Novozym 435 inmovilizada como biocatalizador. En la investigación desarrollada por Güvenç et al.¹⁸ también se emplea esta enzima como catalizador para la esterificación de A. isoamílico obtenido del fusel con ácido acético para la producción de acetato de isoamilo.

Recientemente, en un estudio realizado por Dias et al.⁵⁰ se empleó un proceso de producción de acetato de isoamilo a partir de aceite de fusel mediante catálisis enzimática en CO₂ supercrítico como medio de reacción. Este proceso demostró ser una alternativa viable para aprovechar el fusel, reduciendo los residuos generados en las plantas industriales de etanol.

También se encuentra reportado el uso de zeolitas como catalizadores sólidos ácidos. En el estudio realizado por Urresta⁷ se emplean las zeolitas: MFI y ZSM-5 con relación Si/Al 28 y 1000 para obtener alquenos a partir del fusel (buteno o isopenteno) para usarlos como biolubricantes.

Según lo expresado por Sánchez et al.⁸ existen dos alternativas principales para la esterificación de alcoholes fusel: el proceso directo y el proceso indirecto. El proceso indirecto consiste en la separación individual de los alcoholes provenientes del fusel seguido de su posterior esterificación

con un ácido carboxílico; y la trayectoria directa consiste en la reacción simultánea de toda la mezcla de alcoholes fusel con un ácido carboxílico.

Los datos de la literatura sobre los procesos de esterificación directa del aceite fusel son muy limitados. Son pocas las investigaciones encaminadas a este tipo de proceso y es que, cuando se hace reaccionar directamente la mezcla de aceite fusel, es necesario considerar numerosas reacciones químicas simultáneas de esterificación y transesterificación lo que resulta más complejo.

Los primeros autores en valorar esta alternativa fueron Patidar y Mahajani.^{13,51} En su estudio expresaron la posibilidad de que la destilación reactiva, que era un proceso intensificado muy empleado para la esterificación de alcoholes individuales,^{4,52-54} se pudiera emplear como una opción prometedora para la esterificación simultánea de todos los alcoholes presentes en el aceite fusel.

Con este trabajo se investigó experimentalmente la cinética de reacción para todas las reacciones de esterificaciones y transesterificación de diferentes constituyentes del aceite de fusel (etanol, n-propanol, isobutanol y A. isoamílico) con ácido acético, en presencia de una resina de intercambio catiónico, Amberlyst-15. El proceso de destilación reactiva se llevó a cabo con ayuda del simulador Aspen Plus empleando el modelo termodinámico UNIQUAC-HOC. Los autores demostraron que con la aplicación de la destilación reactiva es posible sobrepasar los límites de una destilación convencional logrando la separación de azeótropos⁵⁵ y obtener los ésteres de todos los alcoholes con un 99,5 % de pureza.

Por otra parte en el estudio realizado por Sánchez et al.⁸ se encuentran reportados los datos de equilibrio líquido-vapor para las mezclas binarias de acetato de isobutilo (iBuAC) + acetato de isoamilo (iAmAC) y acetato de isobutilo (iBuAC) + acetato de etilo (EtAc) a diferentes presiones (50, 100 y 150 kPa). Los autores concluyen que los parámetros binarios generados con esta investigación para las ecuaciones no aleatorias de dos líquidos (NRTL) y cuasiquímicas universales (UNIQUAC), se pueden integrar en un modelo termodinámico más complejo para estudiar la esterificación directa del aceite fusel. Los resultados también indican que en ausencia de datos de equilibrio para mezclas de acetatos formados en la esterificación directa del aceite de fusel podrían predecirse razonablemente utilizando el modelo predictivo de coeficientes de actividad de grupos funcionales cuasiquímicos universales modificados por Dortmund (UNIFAC-DMD) o incluso el modelo Ideal.

Otro de los estudios reportados donde se emplea el proceso directo es en la investigación realizada por Bôas et al.⁴⁴ donde los autores pretenden sintetizar ésteres biolubricantes en un reactor de lecho compacto mediante esterificación directa de aceite fusel.

Sin embargo, la esterificación indirecta de aceite fusel es más conocida en la literatura y es que la esterificación de cada alcohol por separado, permite utilizar el conocimiento sobre cada esterificación en particular y puede estudiarse de forma independiente.⁸ La esterificación de A. isoamílico con ácido acético para obtener acetato de isoamilo es de particular interés, la mayoría de los informes bibliográficos se centran en obtener este compuesto a partir del aceite fusel por ser el A. isoamílico su componente mayoritario.^{2,3,5,18} En un estudio realizado por Fátima-Bi et al.⁴⁶ se determinaron las condiciones óptimas para la reacción de esterificación del A. isoamílico obtenido de una muestra de fusel de Pakistán, empleando el ácido sulfúrico como catalizador.

En general los procesos para la obtención de ésteres a partir de la esterificación indirecta de los alcoholes presentes en el aceite fusel constan de cuatro etapas fundamentales: deshidratación del aceite fusel, destilación para obtener sus principales alcoholes, esterificación y por último la purificación de los ésteres obtenidos por destilación.

Para separar y eliminar impurezas de los ésteres producidos durante la síntesis química y garantizar un producto final de alta calidad y pureza, posteriormente del proceso de esterificación se realiza una etapa de purificación de los ésteres obtenidos.

Gallardo et al.⁵ en su investigación proponen un método de purificación para los ésteres obtenidos a partir de los alcoholes presentes en el aceite fusel. La purificación consta de una serie de lavados seguidos con agua, bicarbonato de sodio y con una solución saturada de cloruro de sodio, de un secado y posterior destilación como se muestra en la Figura 1.

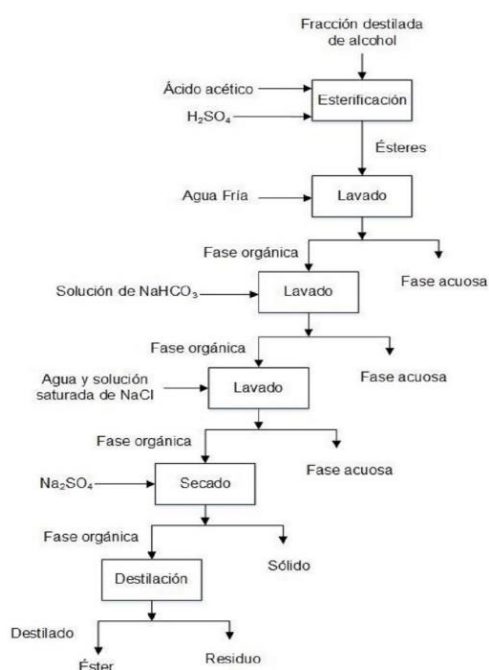


Figura 1. Esquema del proceso de purificación para la obtención de ésteres a partir del fusel⁵

En la investigación desarrollada por Dévora-Rodríguez et al.¹⁹ se propone un diseño de la etapa de purificación para la obtención de acetato de isoamilo a partir del fusel; el proceso fue llevado a cabo mediante la simulación de procesos con ayuda del Hysys.

Por otra parte, en la investigación realizada por Bôas et al.⁴⁴ se propone un método para purificar oleato de isoamilo obtenido de la reacción de esterificación de aceite fusel y ácido oleico. El método consistió en separar el biocatalizador mediante filtración en un embudo Buchner revestido con papel de filtro (Whatman No. 41). Luego, se transfirió a un embudo de goteo y se incubó con etanol anhidro a temperatura ambiente para eliminar el alcohol que no reaccionó. Posteriormente, el ácido oleico se eliminó mediante neutralización con una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 5 % (p/v) y se añadió cloruro de sodio (NaCl) para ayudar a separar las fases orgánica y acuosa. La fase orgánica se destiló para eliminar cualquier rastro de aceite de fusel y ácido oleico, y se analizó la pureza y las propiedades biolubricantes de la muestra purificada.

La obtención de ésteres a partir del fusel pone de manifiesto su alto potencial como subproducto renovable de igual forma que todos los retos que trae asociado su procesamiento. Con la literatura abordada se evidencia que la esterificación puede llevarse a cabo empleando diferentes ácidos carboxílicos, cada uno con sus propias características y rendimientos. Es importante destacar que, si bien los catalizadores ácidos homogéneos tradicionales como el ácido sulfúrico son efectivos, presentan desventajas significativas como la formación de subproductos indeseables que puedan traer problemas medioambientales asociados. En este contexto la catálisis heterogénea y enzimática surgen como alternativas para mitigar estos inconvenientes. La utilización de resinas de intercambio y lipasas inmovilizadas han demostrado ser efectivas, ofreciendo procesos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

El empleo de tecnologías más avanzadas como la destilación reactiva representa un enfoque prometedor para mejorar tanto la viabilidad económica como ambiental en la síntesis de ésteres. Se evidencia también que tanto la esterificación directa como indirecta tienen sus ventajas y limitaciones. La esterificación indirecta resulta un proceso más estudiado y menos complejo ya que facilita un control más preciso sobre las condiciones reactivas, al permitir el tratamiento individual de cada alcohol. Sin embargo, existen limitaciones en la aplicación práctica del proceso directo, lo que requiere de más investigaciones para comprender mejor los procesos involucrados, pues la separación de todos los ésteres formados podría resultar más compleja en la práctica en comparación con lo que se obtiene a partir del uso de herramientas de simulación.

Aplicación de tecnologías de revalorización de fusel

Varios son los autores que reportan en la literatura tecnologías para su valorización, ya sea con la finalidad de obtener sus principales componentes o ésteres de gran utilidad y valor comercial para la industria del bioetanol. En muchas de las tecnologías propuestas los autores se apoyan en el uso de la simulación de procesos para cumplimentar los objetivos de sus investigaciones. En la Tabla 2 se presenta un resumen de las tecnologías reportadas para la valorización de este compuesto.

Tabla 2. Tecnologías aplicadas para la valorización del fusel

Formas de revalorización	Tecnología de revalorización	Resultados	Fuente
Obtención de alcohol isoamílico mediante Aspen Plus	Separación de alcoholes mediante destilación y posterior purificación	792 L/d de alcohol isoamílico de 99,7 % de pureza	Montoya et al. ⁵⁶
Obtención de alcohol isoamílico, isobutanol y 1-propanol mediante Aspen Hysys v10.0		73,44 m ³ /año de alcohol isoamílico, 41,76 m ³ /año de isobutanol y 61,20 m ³ /año de 1-propanol	Fernández-Casiis et al. ⁵⁷
Obtención de alcohol isoamílico mediante Aspen Hysys v3.2	Deshidratación de fusel y posterior destilación	110,3 kg/h alcohol isoamílico de 99,9 % pureza	Martínez et al. ²
Recuperación de alcohol isoamílico mediante Aspen Plus	Separación de alcoholes evaluando tres configuraciones (A: una columna de destilación y un decantador; B: dos columnas de destilación y un decantador; C: una columna de destilación, una columna de extracción y un decantador)	99,53 % de recuperación de alcohol isoamílico	Ferreira et al. ¹⁴
Recuperación de alcohol amílico, butílico,	Proceso de destilación	72,08 kg/h de alcohol amílico, 8,76 kg/h de butanol, 1,37 kg/h de	Khaled y Gasmelseed ⁵⁸

propílico y etílico mediante Hysys		propanol y 11,39 kg/h de etanol por el fondo de la columna y 6,17 kg/h de etanol por el tope	
Obtención de acetato de isoamilo mediante el Aspen Hysys v3.1		626 kg/h de 99,9 % de pureza	Gallardo et al. ³
Obtención de acetato de isoamilo experimentalmente	Deshidratación, separación de alcoholes mediante destilación, esterificación con ácido acético y purificación de ésteres	El mayor rendimiento de acetato se alcanzó en el experimento IV obteniéndose un 98,01 % másico	De-Armas et al. ⁵⁹
Obtención de acetato de isoamilo mediante el Aspen Hysys v3.2		140, kg/h de acetato de isoamilo puro	Hidalgo ²⁹
Obtención de acetato de isoamilo mediante Aspen Hysys v3.2	Diseño de la etapa de purificación (mezclador, separador, columna de destilación)	94,26 kg/h de acetato de isoamilo	Dévora-Rodríguez et al ¹⁹
Obtención de acetato de n-butilo a partir del alcohol n-butilo obtenido previamente del fusel Aspen Plus	Destilación reactiva empleando resina de intercambio (Purolite C-100) como catalizador	99 % molar de acetato de n-butilo, disminución de 89 % consumo energético en comparación al proceso convencional (5 047,9 kW)	Altomare et al. ⁴
Obtención de ésteres a partir de la esterificación directa de los alcoholes fusel (etanol, n-propanol, isobutanol y alcohol isoamílico) con Aspen Plus	Destilación reactiva en presencia de resina Amberlyst 15	Los ésteres de todos los alcoholes presentes en el proceso tienen una pureza cada uno de ellos de un 99,5 %.	Patidar y Mahajani ^{13,51}

Obtención de una mezcla de ésteres a partir de la esterificación directa de los alcoholes fusel con Aspen Hysys v10.0	Destilación reactiva	65,66 % vol. de acetato de isoamilo, 11,05 % vol. de acetato de isobutilo y en el destilado 40,16 % vol. de acetato de etilo	García et al. ¹⁷
---	----------------------	--	-----------------------------

La simulación de procesos resultó ser la vía mediante la cual la mayoría de los autores desarrollan las tecnologías de revalorización de fusel. Para la evaluación de su fraccionamiento y esterificación se han empleado diversos simuladores como Aspen Plus y Aspen Hysys. Resultaría oportuno que se lleve a cabo industrialmente alguna de estas tecnologías con el fin de potenciar el uso de este residuo. Es importante señalar que las tecnologías que emplean la catálisis homogénea con el uso del ácido sulfúrico y esterificación con ácido acético deberían considerar en su estudio el tratamiento de residuales que se generan y trazar una estrategia para evaluar el efecto medioambiental.

Los residuales de estas tecnologías resultan agresivos al medio ambiente por su composición rica en ácidos. En este sentido podrían tratarse neutralizando el ácido, para ello se puede agregar una base controlada como el hidróxido de sodio (NaOH) o carbonato de calcio (CaCO₃), que reaccione con el ácido y elevar el pH hasta un valor deseado. Otra alternativa para mitigar el efecto ambiental negativo de estas tecnologías es la recuperación del ácido acético y su reutilización en el proceso, de esta forma se disminuye el consumo de ácido y se cierra el ciclo de producción.

Conclusiones

El aceite fusel presenta en su composición coproductos de gran utilidad para la industria del bioetanol. Su composición es diversa en distintas regiones del mundo tanto en cantidad como en compuestos presentes. El alcohol isoamílico constituye su componente mayoritario y punto en común dentro de sus composiciones.

Se reportan diferentes tecnologías de interés para la revalorización del fusel, ya sea para la obtención de sus principales alcoholes o ésteres a partir de ellos. El mayor peso de sus aplicaciones radica en la síntesis de ésteres de gran valor agregado para la industria alimenticia, la industria de los cosméticos, farmacéutica, entre otras áreas. La tecnología más empleada para obtener ésteres se basa en el proceso indirecto (deshidratación del fusel, destilación, esterificación y posterior purificación), y es que este proceso resulta más estudiado y menos complejo ya que facilita un control más preciso sobre las condiciones reactivas, al permitir el tratamiento individual de cada alcohol.

La destilación reactiva constituye un método intensificado y prometedor tanto para sintetizar ésteres de forma individual como de la mezcla de alcoholes fusel de manera directa. Sin embargo existen limitaciones en la aplicación práctica del proceso directo, lo que requiere más investigaciones y de un exhaustivo estudio para llevar a cabo las condiciones adecuadas para su implementación, y es que se deben considerar numerosas reacciones químicas simultáneas de esterificación y transesterificación entre los constituyentes del fusel, además de que la separación de todos los ésteres formados podría resultar más compleja en la práctica en comparación con lo que se obtiene en el simulador.

La simulación de procesos constituye una herramienta potente para la evaluación de tecnologías de revalorización del fusel. Diversos autores en sus investigaciones emplean esta herramienta para modelar virtualmente los procesos de recuperación de productos de alto valor agregado.

Contribución de autores:

Todos los autores contribuyeron en la lectura, conceptualización, revisión y edición del manuscrito.

Financiación:

Este estudio fue financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio y Ambiente (CITMA) de la República de Cuba.

Conflictos de Intereses:

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados

Referencias

1. Sánchez A, De-Armas AC. Potencialidades del aceite de fusel como combustible y materia prima para la obtención de ésteres. Centro Azúcar. 2022;49(4):114-24.
2. Martínez Y, Gallardo I, López N, Morales MC. Obtención de alcoholes superiores a partir de fusel mediante proceso de destilación fraccionada. Centro Azúcar. 2011;38(4):8-14.
3. Gallardo I, Feyt R, Hidalgo E. Obtención de acetato de isoamilo a partir de aceites fusel. Simulación del proceso. Centro Azúcar. 2011;38(2):44-54.
4. Altomare V, Labrador H, Rodríguez P, Morales V, Fernández C. Síntesis de acetato de n-butilo mediante un sistema de destilación reactiva a partir de un desecho agroindustrial. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. 2012;35(3):261-9

5. Gallardo I, Martínez Y, De-Armas AC, López N. Obtención de ésteres a partir de fracciones destiladas de aceite de fusel: parte I. Centro Azúcar. 2022;49(3):37-47.
6. Ramos-Miranda FE, Cuellar MA, Saez-Jover D. El desarrollo tecnológico y social de la industria azucarera.El caso de las biorefinerías. Universidad y Sociedad. 2018;10(5):295-300.
7. Urresta JD. Deshidratación de los alcoholes presentes en el aceite fusel y su conversión en alquenos empleando una zeolita tipo HZSM-5. Ingeniería y competitividad. 2014;16(2):79-90.
8. Sánchez CA, Sánchez OA, Orjuela A, Gil ID, Rodríguez G. Vapor–Liquid Equilibrium for Binary Mixtures of Acetates in the Direct Esterification of Fusel Oil. Journal of Chemical & Engineering Data. 2017;62(1):11-9. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.jced.6b00221>
9. De-Lima R, Bento HBS, Reis CER, Bôas RNV, De-Freitas L, Carvalho AKF, et al. Biolubricant Production from Stearic Acid and Residual Secondary Alcohols: System and Reaction Design for Lipase-Catalyzed Batch and Continuous Processes. Catalysis Letters. 2022;152(2):547-58. doi:<https://doi.org/10.1007/s10562-021-03663-z>
10. Patil AG, Koolwal SM, Butala HD. Fusel oil: composition, removal and potential utilization. International Sugar Journal. 2002;104(1238):51-8.
11. Awad OI, Ali OM, Hammid AT, Mamat R. Impact of fusel oil moisture reduction on the fuel properties and combustion characteristics of SI engine fueled with gasoline-fusel oil blends. Renewable energy. 2018;123:79-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.019>
12. Mayer FD, Feris LA, Marcilio NR, Staudt PB, Hoffmann R, Baldo V. Influence of fusel oil components on the distillation of Hydrous Ethanol Fuel (HEF) in a bench column. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2015;32(2):585-93. doi:<https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003215>
13. Patidar P, Mahajani SM. Esterification of fusel oil using reactive distillation- Part I: Reaction kinetics. Chemical Engineering Journal. 2012;207:377-87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.139>
14. Ferreira MC, Meirelles AJA, Batista EAC. Study of the fusel oil distillation process. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2013;52(6):2336-51. doi:<https://doi.org/10.1021/ie300665z>
15. Mendoza-Pedroza JDJ, Sánchez-Ramírez E, Segovia-Hernández JG, Hernández S, Orjuela A. Recovery of alcohol industry wastes: Revaluation of fusel oil through intensified processes. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. 2021;163:108329. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108329>

16. Zheng PY, Zhang WH, Chen KF, Wang NX, An QF. Pervaporation dehydration of fusel oil with sulfated polyelectrolyte complex hollow fiber membrane. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2019;95:627-34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.09.025>
17. García-Aleaga CL, Cruz-Llerena A, Pérez-Ones O, de-Cárdenas LZ. Destilación reactiva para la revalorización de aceite fusel: caracterización de muestras y simulación de procesos. *Revista Centro Azúcar*. 2024; 51(4):e1085-07.
18. Güvenç A, Kapucu N, Kapucu H, Aydoğan Ö, Mehmetoğlu Ü. Enzymatic esterification of isoamyl alcohol obtained from fusel oil: Optimization by response surface methodology. *Enzyme and Microbial Technology*. 2007;40(4):778–85. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.06.010>
19. Devora-Rodríguez Y, López-Bello N, de Armas-Matríz AC, Ley-Chong N. Diseño de la etapa de purificación para la obtención de acetato de isoamilo a partir del aceite de fusel. *Tecnología Química*. 2017;37(3):405-16.
20. Awad OI, Ali OM, Mamat R, Abdullah AA, Najafi G, Kamarulzaman MK, et al. Using fusel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;69:1232–42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.244>
21. Akcay M, Ozer S. Experimental investigation on performance and emission characteristics of a CI diesel engine fueled with fusel oil/diesel fuel blends. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2019;1-16. doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1689317>
22. Abdalla AN, Awad OI, Tao H, Ibrahim TK, Mamat R, Hammid AT. Performance and emissions of gasoline blended with fusel oil that a potential using as an octane enhancer. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2019;41(8):931-47. doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1521889>
23. Awad OI, Mamat R, Ali OM, Azmi WH, Kadrigama K, Yusri IM, et al. Response surface methodology (RSM) based multi-objective optimization of fusel oil -gasoline blends at different water content in SI engine. *Energy Conversion and Management*. 2017;150:222–41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.047>

24. Simsek S, Ozdalyan B. Improvements to the composition of fusel oil and analysis of the effects of fusel oil–gasoline blends on a spark-ignited (SI) engine's performance and emissions. *Energies*. 2018;11(3):625. doi:<https://doi.org/10.3390/en11030625>
25. Calam A, Solmaz H, Uyumaz A, Polat S, Yilmaz E, İçingür Y. Investigation of usability of the fusel oil in a single cylinder spark ignition engine. *Journal of the Energy Institute*. 2015;88(3):258-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.09.005>
26. Azania CAM, Azania AADPM, Rolim JC, Schiavetto AR, Pizzo IV, Zera FS. Aplicação de óleo fúsel na erradicação química da cana-de-açúcar e seu efeito na cultura do girassol em sucessão. *Bragantia*. 2010;69(3):581-90. doi:<https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300009>
27. Pizzo IV, Azania CAM, Azania AAPM, Schiavetto AR. Seletividade e eficácia de controle de plantas daninhas pela associação entre óleo fúsel e herbicidas em cana-de-açúcar. *Planta Daninha*. 2010;28(2):347-57. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200014>
28. Massa TB, Raspe DT, Feiten MC, Cardozo-Filho L, Da-Silva C. Fusel Oil: Chemical Composition and an Overview of Its Potential Application. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2023;34(2):153-66.
29. Hidalgo E. Aprovechamiento del aceite fusel para la obtención de productos químicos de alto valor agregado [Internet]: Universidad Central "Marta Abreu de las Villas"; 2010. Available from: <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/1797>
30. Bergero A, Odetti MS. Evaluación experimental de la producción Batch de acetato de isoamilo a partir de alcohol isoamílico recuperado del aceite de fusel [Internet]: Universidad Nacional de Córdoba; 2019. Available from: <http://hdl.handle.net/11086/12816>
31. Mattos FR, Júnior JM, Sabi GJ, Garcia PHD, Carvalho PO, Luiz JHH, et al. Design of a New Chemoenzymatic Process for Producing Epoxidized Monoalkyl Esters from Used Soybean Cooking Oil and Fusel Oil. *Catalysts*. 2023;13(3):543. <https://doi.org/10.3390/catal13030543>
32. Chen K-F, Zheng P-Y, Wu J-K, Wang N-X, An Q-F, Lee K-R. Polyelectrolyte complexes/silica hybrid hollow fiber membrane for fusel oils pervaporation dehydration processes. *Journal of Membrane Science*. 2018;545:284-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.10.002>
33. Kujawski W, Capa-La W, Palczewska-Tulińska M, Ratajczak W, Linkiewicz D, Michalak B. Application of Membrane Pervaporation Process to the Enhanced Separation of Fusel Oils. *Chemical Papers*. 2002;56(1):3-6.

34. Vauclair C, Tarjus H, Schaetzel P. Permselective properties of PVA-PAA blended membrane used for dehydration of fusel oil by pervaporation. *Journal of Membrane Science*. 1997;125(2):293-301. doi:[https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(96\)00233-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(96)00233-5)
35. Bôas RNV, Ceron AA, Bento HBS, Castro HFD. Application of an immobilized *Rhizopus oryzae* lipase to batch and continuous ester synthesis with a mixture of a lauric acid and fusel oil. *Biomass and Bioenergy*. 2018;119:61-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.011>
36. Osorio-Viana W, Duque-Bernal M, Fontalvo J, Dobrosz-Gómez I, Gómez-García MÁ. Kinetic study on the catalytic esterification of acetic acid with isoamyl alcohol over Amberlite IR-120. *Chemical Engineering Science*. 2013;101:755-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.07.009>
37. Küçüçük Z, Ceylan K. Potential utilization of fusel oil: A kinetic approach for production of fusel oil esters through chemical reaction. *Turkish Journal of Chemistry*. 1998;22(3):289-300.
38. Leyva F, Orjuela A, Miller DJ, Gil I, Vargas J, Rodríguez G. Kinetics of propionic acid and isoamyl alcohol liquid esterification with Amberlyst 70 as catalyst. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2013;52(51):18153-61. doi:<https://doi.org/10.1021/ie402349t>
39. Gamayurova VS, Shnaider KL, Jamai MJ. Enzymatic synthesis of butyrates of fusel oil. *Catalysis in Industry*. 2017;9:85-90. doi:<https://doi.org/10.1134/S2070050417010068>
40. Anschau A, Huerta KDM, Rêgo TV, Oliveira JMGD, Borba CM, Kalil SJ, et al. Enzymatic synthesis optimization of isoamyl butyrate from fusel oil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*. 2021;43(1):1-13. doi: <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v43i1.54966>
41. De-Castro H, Moriya R, Oliveira P, Soares C. Fusel oil as precursor for aroma generation by biotransformation using lipase: Scientific note. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1999;77-79:817-26. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1604-9_74
42. Özgülsün A, Karaosmanoglu F, Tüter M. Esterification reaction of oleic acid with a fusel oil fraction for production of lubricating oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2000;77(1):105-9. doi: <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0017-5>
43. Dörmő N, Bélafi-Bakó K, Barthá L, Ehrenstein U, Gubicza L. Manufacture of an environmental-safe biolubricant from fusel oil by enzymatic esterification in solvent-free system. *Biochemical Engineering Journal*. 2004;21(3):229-34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bej.2004.06.011>

44. Bôas RNV, De-Lima R, Mendes AA, Freitas L, Bento HBS, De-Carvalho AKF, et al. Batch and continuous production of biolubricant from fusel oil and oleic acid: Lipase screening, reactor system development, and reaction optimization. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2021;168:108568. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108568>
45. Bôas RNV, Biaggio FC, Giordani DS, De-Castro HF. Síntese enzimática do caprilato de isopentila utilizando óleo fúsel como matéria-prima. *Química Nova*. 2017;40(5):541-7. doi:<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170032>
46. Fatima-Bi, Amanat-Ali, Seema-Iqbal, Muhammad-Arman, Mahmood-Ul-Hassan. Chemical esterification of fusel oil alcohol for the production of flavor and fragrance esters. *Journal of Chemical Society of Pakistan*. 2008;30(6):919-23.
47. Rodríguez RN, Chacón JAÁ. Aplicación de la química verde para la obtención de bases lubricantes. *Congreso de Ciencia y Tecnología*. 2018;13(1):216-9. doi:<https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.820>
48. Vartolomei A, Calinescu I, Gavrilă AI, Vinatoru M. Ultrasound assisted synthesis of isoamyl acetate catalysed by acidic ion exchange resin. *Univ Politeh Buchar Sci Bull Ser B*. 2021;83(1):113-24.
49. Wang M, Nie K, Yun F, Cao H, Deng L, Wang F, et al. Biodiesel with low temperature properties: Enzymatic synthesis of fusel alcohol fatty acid ester in a solvent free system. *Renewable energy*. 2015;83:1020-5. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.058>
50. Dias ALB, Hatami T, Martínez J, Ciftci ON. Biocatalytic production of isoamyl acetate from fusel oil in supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2020;164:104917. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104917>
51. Patidar P, Mahajani SM. Esterification of fusel oil using reactive distillation. Part II: Process alternatives. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2013;52(47):16637-47. doi:<https://doi.org/10.1021/ie401553z>
52. Leyva F, Orjuela A, Kolah A, Lira C, Miller D, Rodríguez G. Isoamyl propionate production by reactive distillation. *Separation and Purification Technology*. 2015;146:199-212. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.03.039>
53. Sánchez CA, Gil ID, Rodríguez G. Fluid phase equilibria for the isoamyl acetate production by reactive distillation. *Fluid Phase Equilibria*. 2020;518:112647. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2020.112647>

54. Martínez AF, Sánchez CA, Orjuela A, Rodríguez G. Isobutyl acetate by reactive distillation. Non-reactive phase equilibrium and topological analysis. *Fluid Phase Equilibria* . 2020;516:112612. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2020.112612>
55. Ali SS, Hossain SKS, Asif M. Dynamic modeling of the isoamyl acetate reactive distillation process. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2017;19(1):59-66. doi:<https://doi.org/10.1515/pjct-2017-0009>
56. Montoya N, Córdoba F, Trujillo C, Gil I, Rodríguez G. Fusel oil process separation [Internet]: American Institute of Chemical Engineers Annual Meeting; 2011. Available from: https://www.researchgate.net/publication/287348623_Fusel_oil_process_separation
57. Fernández-Casiis M, Cruz-Llerena A, Pérez-Ones O, De-Cárdenas LZ, De-Cárdenas BZ. Obtención de productos de alto valor agregado, a partir de la separación del aceite fusel. *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 2022;56(2):43-55.
58. Khaled A, Gasmelseed GA. Desing of fusel oil separation column using hysys program. *Sudan Engineer Society Journal*. 2010;56(54):53-60.
59. De-Armas AC, Gallardo I, López N. Obtención de ésteres a patir de fracciones destiladas de aceite de fusel: parte II. *Revista Centro Azúcar*. 2022;49(4):1-11.

| **Received:** 10 septiembre 2024 | **Accepted:** 15 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: García-Aleaga, C., Cruz, A., Pérez, O., Zumalacárregui, L., Fernández, M. Potencialidades del aceite fusel. Tecnologías para su revalorización. *Bionatura* 2024; Volume 9. No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

6 Caracterización preliminar bromatológica de la *Salicornia bigelovii* en las salinas “El Real” y “Las Tunas”

Preliminary bromatological characterization of *Salicornia bigelovii* in the “El Real” and “Las Tunas” salt flats

Adriana Martín Navas¹, Mercedes Caridad García González², Yolexis Roberta Cardona Soberao³,

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

adrianabmartin98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3404-7757>

²Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

mercedesgarciagonzalez61@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4785-8605>

³Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

yolexis.cardona@reduc.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-0042-5805>

*Correspondencia: adrianabmartin98@gmail.com; 53 54933481

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.6

Resumen

La *Salicornia bigelovii* es una planta halófila que constituye un recurso que crece en abundancia a lo largo de las costas de Cuba, sin embargo, no es aprovechado por la población, de ahí la necesidad de determinar su perfil nutricional para ser consumida. El objetivo de la investigación fue caracterizar a partir de los estudios preliminares bromatológicos la *Salicornia bigelovii* en las salinas “El Real” y “Las Tunas.” Se realizó una investigación experimental, en los laboratorios territoriales de suelos de la provincia de Camagüey. De los métodos empíricos fueron aplicados la revisión bibliográfica y las determinaciones analíticas a muestras de la halófila *Salicornia bigelovii* de ambas salinas. Los resultados más significativos fueron que los porcentajes de proteína bruta, fósforo, calcio y magnesio presentaron diferencias significativas, así como desde lo nutricional pueden considerarse como una buena fuente de minerales, especialmente de potasio, calcio, magnesio y fósforo. Se concluye que los estudios preliminares bromatológicos realizados a la *Salicornia bigelovii* evidencian la importancia de esta investigación ya que proporcionan información valiosa para sus aplicaciones culinarias y posibles usos industriales, además para lograr una alimentación saludable a partir de su consumo.

Palabras clave. *Salicornia bigelovii*; análisis bromatológicos; valor nutricional.

Abstract

Salicornia bigelovii is a halophyte plant that constitutes a resource that grows in abundance along the coasts of Cuba, however, it is not used by the population, hence the need to determine its nutritional profile to be consumed. The objective of the research was to characterize, based on preliminary bromatological studies, *Salicornia bigelovii* in the “El Real” and “Las Tunas” salt flats. An experimental investigation was carried out in the territorial soil laboratories of the province of Camagüey. Of the empirical methods, the bibliographic review and analytical determinations were applied to samples of the halophyte *Salicornia bigelovii* from both salt flats. The most significant results were that the percentages of crude protein, phosphorus, calcium and magnesium presented significant differences, as well as from a nutritional point of view they can be considered a good source of minerals, especially potassium, calcium, magnesium and phosphorus. It is concluded that the preliminary bromatological studies carried out on *Salicornia bigelovii* show the importance of this research since they provide valuable information for its culinary applications and possible industrial uses, in addition to achieving a healthy diet from its consumption.

Keywords. *Salicornia bigelovii*; bromatological analysis; nutritional value.

Introducción

Las halófitas son plantas tolerantes a la sal que evolucionaron naturalmente y representan como máximo el 2 % de las especies de plantas terrestres. Tienen la capacidad de completar su ciclo de vida en un ambiente rico en cloruro de sodio. Estas plantas han desarrollado una serie de estrategias a nivel morfológico, anatómico, fisiológico, bioquímico y genético que les permite adaptar las estrategias más adecuadas para mantener la homeostasis iónica celular y la integridad de membranas. Las halófitas se encuentran en todo el mundo en diferentes ecosistemas, que van desde semidesiertos alcalinos y bosques de manglares, pasando por praderas y pastos seminaturales, hasta hábitats artificiales.

La *Salicornia bigelovii* Torr es una planta perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, halófito con una amplia distribución geográfica y con un perfil fitoquímico de relevancia alimentaria. Es una planta suculenta que crece en marismas costeros y cuenta con una larga historia de utilización por los humanos. Durante años, esta planta se ha utilizado como alimento, ya que es rica en fibra dietética, minerales, vitaminas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, esteroides y compuestos fenólicos.⁽¹⁾

Aunque son plantas que siempre han estado ahí, no ha sido hasta hace relativamente poco tiempo que se ha profundizado en el estudio de las halófitas y se ha ido ampliando el abanico de utilidades que pueden llegar a tener. El 90 % de la alimentación humana depende de solo 30 especies de plantas, siendo el 50 % el arroz, el trigo y las patatas. El uso de cultivos halófitos podría ser una alternativa sostenible para regiones donde el agua dulce es un bien escaso y los suelos están muy dañados por la salinidad ya que las halófitas pueden aprovechar esos suelos degradados, reduce sus contaminantes y los recupera. ⁽²⁾

El género de *Salicornia* está constituido por las especies de *S. pacifica*; *S. subterminalis*, *S. virginica*; *S. borealis*; *S. marítima*; *S. rubra* y *S. bigelovii*. La *S. bigelovii* es una halófito anual cuyo ciclo de vida oscila de 10 a 12 meses. Dicha planta ya desarrollada presenta ramas suculentas que brotan del tallo principal, carentes de hojas, articuladas y erectas, donde se generan entre cada entrenudo seis flores con sépalos verdes y suculentos, en dos grupos de tres flores, que producen un promedio de dos a tres semillas cada una. ⁽³⁾

Los estudios efectuados sobre *S. bigelovii* indican que presenta potencial agroindustrial, ecológico y social de alto impacto. En la composición química de la salicornia es posible encontrar lípidos, pròtidos, mucílagos, esteroides, triterpenos (α -amirina), cumarinas y flavonoides. La cutícula de las hojas contiene ceras e hidrocarburos: 1-cloro-n-alcanos. El aceite proveniente de las semillas es un aceite comestible. El perfil de ácidos grasos incluye ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico conocido como omega-6, linolénico u omega-3 y otros, por lo que puede ser utilizada en la producción de forrajes, aceites vegetales y alimentos para consumo humano. ⁽³⁾

Para conocer a profundidad las características de dicha planta, se le realizan diversos estudios, entre ellos los análisis bromatológicos. Bromatología es un término que proviene del griego broma, que significa alimento y logos, estudio, por tanto, es la ciencia que estudia los alimentos desde sus componentes y características hasta aspectos externos como los procesos de producción, elaboración, manipulación, conservación e incluso los sanitarios. ⁽⁴⁾

Gracias a la bromatología se pueden determinar con mayor facilidad los posibles efectos adversos del consumo de ciertas sustancias, una cuestión indispensable para garantizar a la sociedad alimentos seguros y tratados correctamente. Esta ciencia que posibilita conocer la naturaleza y el comportamiento de los alimentos se diferencia de la nutrición y la dietética por un factor clave: no está relacionada directamente con el consumidor final ya que es un estudio que se desarrolla fundamentalmente en espacios de investigación. Otro dato clave a destacar es que la bromatología

es aplicable tanto a empresas del sector de la alimentación como al espacio doméstico y la sanidad pública. ⁽⁵⁾

En la revisión bibliográfica realizada no se encontraron en Cuba, estudios sobre la *S. bigelovii* desde el punto de vista de su valor nutricional y funcional, sin embargo, se pueden encontrar pesquisas de autores de otros países que avalan su gran potencial como suplemento nutritivo. ⁽⁶⁻¹⁰⁾ Pese a ser un recurso que crece en abundancia a lo largo de las costas de Cuba, no es aprovechado por la población, de este modo, es necesario determinar su perfil nutricional para dar a conocer los nutrientes que presenta la planta con el objetivo de poder ser consumido y aprovechado como un vegetal con cantidades importantes de nutrimentos, lo que la convierte en un prometedor alimento funcional o suplemento nutricional.

Por consiguiente, no resulta una excepción en la tendencia a emplear las Salicornias en Cuba, como nación subdesarrollada que necesita de la alimentación sostenible de la población por lo que surge esta alternativa como una nueva opción en la alimentación sana. En consecuencia, en la Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz se implementan dos proyectos de investigación que responden a esta temática, en los que se encuentran insertados profesores y estudiantes de la carrera de Licenciatura en Ciencias Alimentarias.

Estos proyectos son: Producción sostenible y comercialización de plantas halófitas en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Salinera “El Real”, playa Santa Lucía en Camagüey y en la UEB Salinera “Las Tunas”, Puerto Padre.

Por tanto, el objetivo de la investigación es caracterizar los estudios preliminares bromatológicos de la *S. bigelovii* en las salinas “El Real” y “Las Tunas” para lograr una alimentación saludable a partir de su consumo.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de tipo experimental en el laboratorio territorial de suelos de la provincia de Camagüey.

De los métodos empíricos fueron aplicados:

*La revisión bibliográfica con el objetivo consultar materiales de interés para la investigación, para sistematizar la información contenida en ellos y extraer conclusiones válidas referidas al objeto de estudio. Por tal razón, se consideraron para el análisis: artículos originales, artículos de revisión,

libros, tesis de maestría, tesis de doctorados, entre otros documentos, publicados preferentemente en idioma inglés y español.

*Se utilizó como motor de búsqueda el Google Académico y se consideraron bases de datos de acceso abierto como IRESIE, Redalyc, SciELO y Dialnet, del contexto iberoamericano. Para la indagación documental se emplearon diversas frases, entre las que se destacan: *Salicornia bigelovii* Torr, descripción botánica, importancia en la alimentación humana y estudios bromatológicos.

*Para el estudio bromatológico de la *S. bigelovii* en las salinas el “El Real” y “Las Tunas” fueron utilizaron los métodos fisicoquímico con el objetivo de caracterizar la planta, haciendo énfasis en la determinación del porcentaje de humedad, materia seca, cenizas en base seca, proteína bruta, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

1. Procedimiento experimental

1.1 Recolección y selección de la muestra

Se recolectó ejemplares adultos de la planta *S. bigelovii*, cosechada en la playa de Santa Lucía en la provincia de Camagüey en la salina “El Real” a 10 m sobre el nivel del mar el 18 de junio de 2024 y de la salina “Las Tunas” en Puerto Padre en el día 25 de junio de 2024.

Se seleccionó las muestras de manera manual. Luego se procedió al lavado y se dejó secar a temperatura ambiente.

1.2 Preparación de la muestra

Inicialmente la muestra se homogeneiza cuando es secada y molida hasta pasar por un tamiz de 1mm. El método empleado es de los cuarteos sucesivos. Se emplearon tijeras de material resistente para cortar la raíz. Una vez que la muestra fue obtenida en cantidad suficiente, se trasladó al laboratorio en el menor tiempo posible con el fin de evitar cualquier tipo de alteración. Los instrumentos y materiales que se utilizaron en la toma de la muestra estaban secos y perfectamente limpios con el fin de evitar contaminaciones con agentes extraños como tierra y otros materiales. Cada muestra fue cuidadosamente identificada con todos los datos correspondientes.

1.3 Determinaciones fisicoquímicas

*Determinación de humedad y cenizas en base seca

La determinación de humedad fue realizada por el método gravimétrico, la diferencia de masas entre la muestra fresca y la sometida a secado en la estufa a 105 °C por 24 h. ⁽¹¹⁾ La materia seca resultante

fue usada para la determinación de cenizas por vía gravimétrica, en un horno mufla a temperatura de 550 °C.

*Determinación de proteína bruta

La determinación de proteínas fue realizada por el método de Kjeldahl, usando el factor de conversión de 6,25. La muestra es sometida a digestión con ácido sulfúrico concentrado el cual transforma el nitrógeno orgánico en iones amonio, en presencia de sulfato de cobre (II) como catalizador, se adiciona un álcali, se destila el amoníaco liberado dentro de un exceso de solución de ácido sulfúrico y posteriormente se valora el exceso de ácido con solución de hidróxido de sodio. ⁽¹¹⁾

*Determinación de nitrógeno

La determinación de nitrógeno fue cuantificada por fotolorimetría ($\lambda=415$ nm) con el empleo del reactivo de Nessler (disolución de yodo mercurato potásico alcalizado con hidróxido de sodio o potasio) que, en presencia del amoníaco liberado por la acción del álcali, origina una coloración amarilla (el anión yodo mercurato al reaccionar con el amonio da lugar al yoduro de mercurio, amina de color amarillo anaranjado). ⁽¹²⁾

*Determinación del fósforo

La determinación de fósforo fue efectuada por espectrofotetría UV visible ($\lambda=440$ nm). La estabilidad de la formación del complejo amarillo fosfomolibdico, se atribuye a que, en presencia del vanadio, el ácido fosfórico forma con los iones del molibdato un compuesto cromógeno el cual varía el grado de intensidad de su color amarillo en dependencia de las concentraciones de fósforo presente en la solución o en el extracto. ⁽¹²⁾

*Determinación del potasio

La determinación de potasio se basa en la medición de la intensidad de las líneas espectrales, características para este elemento. El extracto obtenido de la muestra es llevado para su análisis en el fotómetro de llama sin previo tratamiento o dilución, excepto en el caso en que las concentraciones sobrepasen los puntos de la curva. ⁽¹²⁾

*Determinación de calcio y magnesio

La determinación de calcio y magnesio fue obtenida por la valoración con la sal disódica etilendiaminotetraacético o EDTA. Na_2 por su gran capacidad para la formación de complejos con varios cationes polivalentes. En el caso del calcio se propicia la formación de un complejo con los iones calcio de color rojo anaranjado en presencia del indicador murexida (siempre que el pH esté alrededor de 12); que se convierte en violeta cuando los iones calcio son totalmente capturados por

el EDTA. Sobre este mismo extracto se propicia la formación de un color vino tinto al actuar el indicador Eriocromo negro T con los iones de magnesio, el cual pasa a azul brillante cuando todos los iones han sido eliminados por el verceno. ⁽¹³⁾

*El análisis estadístico se utilizó para relacionar las variables estudiadas y los posibles cambios que se manifiestan en el análisis bromatológico de la planta, expresado en valores cuantitativos para así proceder a la comparación de estas. Los resultados del estudio preliminar bromatológico se expresan como la media de los tres valores $\pm$ desviación estándar.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa StatGraphics Centurion XV Versión 15.2.06. Se realizó la Prueba T-Student para muestras independientes y se calculó las diferencias significativas con un 95% de confianza ($p < 0,05$).

Resultados

En las Tablas 1. y 2. se muestra la composición bromatológica de la *Salicornia bigelovii* en las salinas “El Real” y las “Las Tunas”. Es significativo destacar al comparar los resultados que el contenido de humedad difiere, los porcentajes de ceniza bruta son similares y se observan diferencias en la proteína bruta que puede estar determinado por el porcentaje de nitrógeno presente en las plantas de ambas salinas.

Tabla 1.

Composición bromatológica de la *Salicornia bigelovii* en la salina “El Real”

Parámetros	Humedad	Materia seca	Ceniza bruta	Proteína bruta	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
Porcentajes (%)	55,62	44,38	40,33	7,5	1,20	0,23	1,99	0,38	0,63

Resultados expresados $\pm$ desviación estándar (n=3).

Tabla 2.

Composición bromatológica de la *Salicornia bigelovii* en la salina “Las Tunas”

Parámetros	Humedad	Materia seca	Ceniza bruta	Proteína bruta	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
Porcentajes (%)	82,34	17,66	41,38	7,0	1,12	0,1	2,16	0,5	0,86

Resultados expresados $\pm$ desviación estándar (n=3).

A continuación, aparecen en la tabla 3 expresado en mg/100g de muestra los principales minerales de la *Salicornia bigelovii* en ambas salinas.

Tabla 3.

Principales minerales de la *Salicornia bigelovii* en la salina “El Real” y “Las Tunas”

Parámetros	Salina “El Real” mg/100g muestra	Salina “Las Tunas” mg/100g muestra
K	1990	2160
Ca	380	500
Mg	630	860
P	230	100

Resultados expresados $\pm$ desviación estándar (n=3).

Para identificar si hay diferencias significativas en los resultados de las determinaciones realizadas se aplica la Prueba T de Student para muestras independientes, lo que se representa en la tabla 4. Los resultados reflejan que hay diferencias estadísticamente significativas y buen tamaño de efecto (>0.5) en cuanto a los porcentajes de fósforo, calcio, magnesio y la proteína bruta.

Tabla 4.

Prueba T para muestras independientes (>0.5)

		Estadístico	gl	p		Tamaño del Efecto
% N	T de Student	2.301	4.00	0.083	La d de Cohen	1.879
% P	T de Student	5.000	4.00	0.007	La d de Cohen	4.082
% K	T de Student	-1.121	4.00	0.325	La d de Cohen	-0.915
% Ca	T de Student	-7.348	4.00	0.002	La d de Cohen	-6.000
% Mg	T de Student	-13.728	4.00	< .001	La d de Cohen	-11.209
%PB	T de Student	3.216	4.00	0.032	La d de Cohen	2.626

%CB	T de Student	-0.883	4.00	0.427	La d de Cohen	-0.721
-----	--------------	--------	------	-------	---------------	--------

Nota. $H_a \mu_R \neq \mu_T$

Discusión

El contenido de humedad representa el componente principal en la composición bromatológica de la *S. bigelovii* en ambas salinas. Este parámetro permite caracterizar el alimento con el fin de establecer los cuidados que se requieren en el tratamiento y almacenamiento. Así se evitará la degradación de nutrientes, la alteración de las propiedades organolépticas del producto y la contaminación con microorganismos, favoreciendo su estabilidad dentro del periodo de vida útil.

Sin embargo, hay una diferencia que puede explicarse por los diferentes hábitats en donde crecen las plantas, ya que la exposición a la salinidad aumenta la succulencia de las plantas, de modo que los iones se acumulan en las vacuolas, y el sodio en la célula puede actuar como un ajustador osmótico eficaz para mantener la turgencia celular, lo que promueve el crecimiento de la planta. Además, el agua en los humedales se evapora, lo que aumenta la concentración de sal que permanece en el medio durante la estación no lluviosa y, en consecuencia, aumenta la succulencia del tejido vegetal. ^(6, 14, 15, 16)

En ambas salinas se obtienen porcentajes similares de ceniza bruta, lo cual indica que las plantas pueden tener una composición similar de minerales. En cuanto a los porcentajes de nitrógeno, en una planta de *S. bigelovii* indica la cantidad de nitrógeno presente en la materia seca de esta, expresado como un porcentaje del peso total. El porcentaje de nitrógeno en *S. bigelovii* proporciona información valiosa sobre su crecimiento, productividad, calidad nutricional, y su potencial para diversas aplicaciones. Sin embargo, es importante considerar que este porcentaje varía dependiendo de factores como la variedad de la planta, las condiciones ambientales (disponibilidad de agua y nutrientes, salinidad del suelo, temperatura, etc.), y el método de análisis utilizado.

Precisamente, los niveles de nitrógeno en la planta pueden reflejar la salud general y la disponibilidad de nutrientes en el suelo donde crece. Un porcentaje bajo puede indicar una deficiencia de nitrógeno, mientras que un porcentaje muy alto puede indicar una sobre fertilización o un problema en la absorción de nutrientes. ⁽¹⁷⁾

Se coincide con Rueda Puente *et al.* ⁽¹⁷⁾ cuando señalan que el nitrógeno es un componente clave de las proteínas, por lo que un mayor porcentaje de nitrógeno sugiere un elevado contenido de proteína en la planta, lo que la hace más nutritiva como alimento para animales o incluso para consumo humano, aunque esto requiere de una investigación adicional sobre la palatabilidad y posibles toxinas.

Lo antes expuesto justifica las diferencias estadísticamente significativas de la proteína bruta, lo que coincide con estudios de investigadores como Parida *et al.* ⁽¹⁸⁾ los que evidencian que estos valores en el contenido de proteínas para los diferentes tipos de géneros de *Salicornia* pueden ser distintos lo que depende del estado de desarrollo en que se encuentre la planta. Este porcentaje es afectado por diferentes factores: especie, estado fenológico, parte de la planta, y nivel de fertilidad del suelo.

Al respecto, se coincide con Riquelme *et al.* ⁽¹⁵⁾ y Kosová, Prášil y Vítámvás ⁽¹⁹⁾ los que señalan que las proteínas juegan un papel inminente en la respuesta al estrés de las plantas porque están directamente involucradas en la adquisición de una mayor tolerancia al estrés y que la biosíntesis de proteínas puede promoverse como resultado de respuesta al estrés.

En cuanto a la composición de los principales minerales se evidencia que hay diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de fósforo, calcio y magnesio. En este sentido, los resultados del porcentaje de calcio y magnesio coinciden con los estudios realizados por Riquelme *et al.* ⁽¹⁵⁾, Min *et al.* ⁽²⁰⁾ y Bertin *et al.* ⁽²¹⁾ los que encontraron que los minerales con las concentraciones más altas en *Sarcocornia neei*, *Sarcocornia ambigua*, *Salicornia bigelovii* y *Salicornia herbácea* eran el sodio, potasio, calcio, magnesio y el hierro.

Se considera por los autores que dichos hallazgos sugieren que las condiciones ambientales de cada salina influyen en la absorción de nutrientes por la planta. Por lo que es importante realizar investigaciones para comprender mejor las causas de estas diferencias y sus implicaciones para el crecimiento y la calidad nutricional en la planta.

Con relación a los resultados se considera destacar el significado de estos y su aplicación práctica pues constituyen estudios que, aunque preliminares contribuyen a la caracterización de la composición bromatológica de esta planta con vistas a ser utilizada en el consumo humano en el país. Cabe señalar que las limitaciones del estudio dadas por carencias de reactivos y equipos para la realización de todos los análisis bromatológicos no restan validez a los resultados. En este sentido, constituyen un reto para los autores la continuidad de la investigación.

Conclusiones

Los resultados más significativos en la composición preliminar bromatológica es que los porcentajes de proteína bruta, fósforo, calcio y magnesio presentaron diferencias significativas, así como desde lo nutricional pueden considerarse como una buena fuente de minerales, especialmente de potasio, calcio, magnesio y fósforo.

La caracterización preliminar bromatológica de la *S. bigelovii* en las salinas “El Real” y “Las Tunas” evidencian la importancia de estas investigaciones ya que proporcionan información valiosa para sus

aplicaciones culinarias y posibles usos industriales, además para lograr una alimentación saludable a partir de su consumo.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González

Metodología: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Curación de datos: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González

Validación: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Análisis formal: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Investigación: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Recursos: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González

Redacción-redacción original: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Revisión y edición de textos: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González

Visualización: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Supervisión: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Administración del Proyecto: Adriana Martín Navas, Mercedes Caridad García González, Yolexis Roberta Cardona Soberao

Referencias

1. Coc Coj O, Cámara Mota A, González Cortés N, Jiménez Vera R. La salicornia: una planta halófila con propiedades funcionales. Revista Iberoamericana de Ciencias [Internet]. 2020 [citado 12/07/2024]; 7 (1): 26-38. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2020/jul/3800103.pdf>

2. Estrada Valverde AV. Agricultura biosalina y perspectivas de futuro [Tesis]. España: Universidad de Jaén; 2021. Disponible en: <https://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/14541>
3. Zapata Sifuentes G, Preciado Rangel P, Guillén Enríquez RR, Bernal FS, Holguin Peña RJ, Borbón Morales C, Rueda Puente EO. Lipid and Yield Evaluation in *Salicornia bigelovii* by the Influence of Chitosan-IBA, in Conditions of the Sonora Desert. Agronomy [Internet]. 2021 [citado 12/07/2024]; 11: 428. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030428>
4. Barreto Rodríguez GE, Morales Pinto NG. Manual de Laboratorio. Nutrición y Bromatología. Sello Editorial Universidad del Atlántico, 2021. [citado 15/06/2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.15648/EUA.174>
5. Carretero ÁA, Arencibia Rivero T, Arévalo Calzadilla Á, Caracuel García Á, Domínguez Hierro T, Fernández Daza-Centeno R. Actualización en bromatología hospitalaria. Glosa, SL; 2006. [citado 12/06/2024]. Disponible en: <https://hospifood.com/descargas/actualizacion-en-bromatologia-hospitalaria.pdf>
6. Auris Candela LY, Piedra Vilca JA. Evaluación químico-bromatológica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de dos tipos de brotes de *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott sosa alacranera [Tesis]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2021. [citado 16/07/2024]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17489>
7. Costa M, Cerletti M. Halófilos: la vida en la sal. Ciencia hoy [Internet]. 2021 [citado 16/07/2024]; 30 (176): 38-43. Disponible en: https://cienciahoy.org.ar/wp-content/uploads/Revista_176_Halofilos-1.pdf
8. Méndez Ventura LM. Manual de prácticas de Análisis de Alimentos. México: Universidad Veracruzana; 2020. [citado 22/07/2024]. Disponible en: <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Manual-Analisis-de-Alimentos-1.pdf>
9. Tavares A, Brás I, Silva ME. Valorização de produtos alimentares sazonais Parte I - Caracterização físico-química de framboesa, mirtilo e salicórnia fresca cultivada em Portugal. Millenium [Internet]. 2020 [citado 16/07/2024]; 2 (ed espec nº7): 143-149. Disponible en: <https://doi.org/10.29352/mill0207e.16.00375>
10. Alfheeaaid HA, Raheem D, Ahmed F, Alhodieb FS, Alsharari ZD, Alhaji JH, BinMowyna MN, Saraiva A, Raposo A. *Salicornia bigelovii*, *S. brachiata* and *S. herbacea*: Their Nutritional Characteristics and an Evaluation of Their Potential as Salt Substitutes. Foods [Internet]. 2022 [citado 14/07/2024]; 11(21): 3402. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods11213402>

11. AOAC. Official methods of analysis of the Association Official Analytical Chemist. 19th ed; 2012. [citado 22/07/2024]. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1819676](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1819676)
12. Norma Ramal. NRAG. 144:2010. Tejido vegetal: Determinación de nitrógeno, fósforo y potasio. La Habana: Comités Técnicos de Normalización Ramal (CTNR); 2010. [citado 22/07/2024]. Disponible en: <https://www.gaf.minag.cu/uploads/files/repo/8140e63e73895bfa7271dfd00a07a4f9f47fa74a.pdf>
13. Norma Ramal. NRAG. 144:2009. Tejido vegetal: Determinación de calcio y magnesio. La Habana: Comités Técnicos de Normalización Ramal (CTNR); 2009. [citado 22/07/2024]. Disponible en: <https://www.gaf.minag.cu/uploads/files/repo/8140e63e73895bfa7271dfd00a07a4f9f47fa74a.pdf>
14. Khan MA, Gul B, Weber DJ. Effect of salinity on the growth and ion content of *Salicornia rubra*. Commun Soil Sci Plant Anal [Internet]. 2001 [citado 14/07/2024]; 32 (17-18): 2965-2977. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/CSS-120000975>
15. Riquelme J, Olaeta JA, Gálvez L, Undurraga P, Fuentealba C, Osses A, *et al*. Nutritional and functional characterization of wild and cultivated *Sarcocornia neei* grown in Chile. Cien. Inv. Agr [Internet]. 2016 [citado 11/07/2024]; 43(2): 283-293. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202016000200011
16. García Caparrós P, Llanderal A, Pestana M, Correia PJ, Lao MT. Nutritional and physiological responses of the dicotyledonous halophyte *Sarcocornia fruticosa* to salinity. Aust. J. Bot [Internet]. 2017 [citado 18/07/2024]; 65 (7): 573–581. Disponible en: <https://sapientia.ualg.pt/entities/publication/066dd382-6b81-472a-bb02-e47a0634d5f2>
17. Rueda Puente EO, Beltrán Morales FA, Ruíz Espinoza FH, Valdez Cepeda RD, García Hernández JL, Ávila Serrano NY, Partida Ruvalcaba L, Murillo Amador B. Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófita *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. Agrosistemas Tropicales y Subtropicales [Internet]. 2011 [citado 12/07/2024]; 13 (2): 157-167. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93917767003>

18. Parida AK, Kumari A, Panda A, Rangani J, Agarwal P. K. Photosynthetic pigments, betalains, proteins, sugars and minerals during *Salicornia brachiata* senescence. Biol. Plant [Internet]. 2018 [citado 16/07/2024]; 62 (2): 343-352. Disponible en: <https://bp.ueb.cas.cz/pdfs/bpl/2018/02/16.pdf>
19. Kosová K, Prášil I, Vítámvás P. Protein contribution to plant salinity response and tolerance acquisition. Int J Mol Sci [Internet]. 2013 [citado 18/07/2024]; 14(4): 6757–6789. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3645664/>
20. Min JG, Son K, Kim J, Kim T, Park J. Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* (Tungtungmadi) Leaf extracts. Prev Nutr Food Sci [Internet]. 2002 [citado 16/07/2024]; 7 (3): 261–264. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/263650925_Physiological_and_Functional_Properties_of_Salicornia_herbacea_Tungtungmadi_Leaf_Extracts
21. Bertin RL, Gonzaga LV, Borges G da SC, Azevedo MS, Maltez HF, Heller M, *et al.* Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESIMS/MS. Food Res. Int [Internet]. 2014 [citado 12/07/2024]; 55: 404-411. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913006455>

| **Received:** 15 septiembre 2024 | **Accepted:** 20 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Martín-Navas, A., García, M., Cardona, Y. Caracterización preliminar bromatológica de la *Salicornia bigelovii* en las salinas “El Real” y “Las Tunas”. *Bionatura* 2024; Volume 9. No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

7 Caracterización de los sistemas de producción caprina del municipio de Jimaguayú

Characterization of the goat production systems in the municipality of Jimaguayú

Elena De Varona Rodríguez¹, Lino Miguel Curbelo Rodríguez², Florangel Vidal Fernández³,
Lourdes Mariana Crespo Zafra⁴

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz / Camagüey / Cuba;

elena.devarona @reduc.edu.cu/ <https://orcid.org/0009-0001-7851-4269>

7.1 ² lino.curbelo@reduc.edu.cu/ <https://orcid.org/0000-0003-0453-2357>

³ florangel.vidal@reduc.edu.cu / <https://orcid.org/0000-0003-3600-0961>

7.2 ⁴ lourdes.crespo@reduc.edu.cu/ <https://orcid.org/0000-0002-4799-3447>

* Correspondencia: florangel.vidal@reduc.edu.cu; Tel.:(+53) 54227804

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.7

Resumen

Con el objetivo de caracterizar los sistemas de producción caprina, de Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), pertenecientes a la Empresa Agropecuaria de Jimaguayú, Camagüey se aplicaron encuestas a 20 productores en el periodo abril a julio de 2022. Para el desarrollo de las variables socioproductivas el método utilizado fue comparación de proporciones. El estudio arrojó que predominó la fuerza masculina con 60 %, la edad promedio fue 56 años, con predominio de 12 grado y técnico medio, lo que es adecuado para asimilar un proceso de capacitación sobre la especie caprina. El tiempo en la actividad fue mayor entre 21 a 30 años. El 35 % lo tienen como actividad principal. Se pudo identificar una insuficiente atención hacia los productores vinculados a la crianza caprina, sistemas con pastoreo extensivo sobre coberturas naturales y bajo uso de otras fuentes de alimentación alternativas, deficiencias técnico constructivas de las instalaciones, deficiente control y atención veterinaria y limitada capacitación. Se concluye que es necesario reorganizar la producción caprina en esta región y establecer un sistema que permita mejorar los rendimientos de leche y carne para así contribuir al desarrollo de la seguridad alimentaria y mejorar la calidad de vida de los productores.

Palabras clave: caprinos, Sistemas de Producción, Seguridad alimentaria

Abstract

The objective of characterizing the goat production systems of Credits and Services Cooperatives (CCS), belonging to the Jimaguayú Agricultural Enterprise, Camagüey. A surveys was applied to

producers in April to July 2022. For the development of socio-productive variables, the method used was the comparison of proportions. The study showed that male strength predominated 60 %, the average age was 56 years, with a predominance of 12 grade and average technicians to assimilate a training process on the goat species. The time they have been in the activity was greater between 21 to 30 years. Only 35 % have it as their main activity. It was possible to identify insufficient attention to producers linked to goat farming, systems with extensive grazing of natural covers and low use of other alternative food sources, technical and constructive deficiencies of facilities, deficient attention veterinary control and limited training. It is concluded that it is necessary to reorganize goat production in the region and establish a system that allows improving milk and meat yields in order to contribute to the development of food security and improve the quality of life of producers.

Keywords: Goats, Production Systems, Food Security

Introducción

A nivel global¹ los sistemas de producción caprina se caracterizan por ser la actividad productiva más difundida en el medio rural, lo cual impacta en el campo de la sostenibilidad ambiental, por su capacidad de adaptarse a diferentes climas y sistemas ecológicos. De forma particular, la ganadería caprina presenta una diferencia importante ante otros sistemas productivos. Aparte de que cualquier raza puede ser utilizada para producir carne, algunas también poseen las características ideales para la producción de leche, piel, abono y subproductos de valor agregado, así como también productos especializados con un alto grado de innovación tecnológica, entre los que se encuentran los cosméticos y productos para la salud humana.²⁻³

El proceso de caracterización incluye la documentación sistemática de la información recogida, que facilite el acceso a la misma. Además, las actividades de caracterización deben contribuir a una predicción objetiva y fiable del rendimiento animal en ambientes definidos, que permita una comparación del rendimiento potencial en el marco de los sistemas de producción más importantes de la región. La información obtenida, posibilitará a los grupos interesados, tomar decisiones sobre las prioridades en la gestión de los recursos zoogenéticos, en ausencia de tales análisis y estudios, posiblemente se ignora el desarrollo y producción de razas locales, a favor de la introducción de germoplasma exótico o de un cruce indiscriminado que resultará en la erosión de estas razas locales¹.

Ante los actuales retos de una economía en proceso de evolución y globalización, es necesario que la producción caprina modernice los esquemas de manipulación y proceso y pase, de un modelo tradicional, en el que la fuente de información y conocimiento se alimenta de la intuición y la tradición

oral, a un esquema moderno de corte empresarial en el que la toma de decisiones se fundamente en el uso de la información y la construcción dinámica del conocimiento, con el fin de elevar la productividad caprina y el nivel de vida de la población. ⁴⁻⁵

El actual estudio sobre las características del sistema de producción caprino, brindaran información para el diseño de estrategias de conservación y mejora animal. Por lo antes planteado esta investigación tuvo como objetivo: Caracterizar los sistemas de producción del caprino a pastoreo en el municipio camagüeyano de Jimaguayú, Cuba.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio y principales características edafoclimáticas.

El municipio de Jimaguayú, tiene una extensión superficial de 783,43 km², limita al norte con el municipio de Camagüey, al sur con Najasa, al este con Sibanicú, y al oeste con Vertientes. Ubicada a los 21° 14' 32" Norte y 77 ° 49' 35" Oeste. Una elevación de 113 ms.n.m. El clima es tropical subhúmedo de llanura interior, con una lámina anual de precipitaciones de aproximadamente 1 240,2 mm, donde alrededor del 79 % de las lluvias ocurren en el período mayo-octubre ⁶. Al cierre del 2020 el municipio contaba con un rebaño de 7 180 caprinos (2 262 machos y 4 918 hembras). ⁷

En el presente trabajo, la toma de información correspondió a las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) "Santiago Zamora" y "Calixto García" de la Empresa Agropecuaria Jimaguayú, de la provincia de Camagüey, Cuba. En ambas Cooperativas predominan suelos categoría agroproductiva III, que se clasifican como pardo típico, sin carbonatos y grisáceo, según información del Departamento de Agrotecnia de la Empresa, de acuerdo a la clasificación de suelos de Cuba de 2015. ⁸

Procedimiento experimental y muestreo

Se trabajó en 20 fincas de pequeños productores, las fincas como promedio, poseen un área total de 152,78 ha, de ellas destinaban a la ganadería caprina 60,31 ha (38 %) y estaban ocupadas por aguadas y con malezas Marabú -*Dichrostachys cinérea* (Lin) Wight y Arn ⁹ y Caguazo -*Papalum virgatum* (Lin) 38,5 y 25,91 ha, respectivamente. En todas predominaban los pastos naturalizados -*Dichantium caricosun* (Lin), *Botrichloa pertusa* (Lin), *Paspalum notatum* Flühgge y las áreas de forraje estaban constituidas por King grass - *Pennisetum purpureum* (CT-115) y caña de azúcar -*Sacharum officinarum* Lin. La cobertura vegetal de la región es muy heterogénea, pues se encuentran zonas marginales, plantas nativas y pastos mejorados. El ordeño de las cabras es de forma manual.

Se aplicó encuesta a los productores para la caracterización de los sistemas de producción caprinos.

Características socioproductivas de los sistemas**1. Caracterización de los caprinocultores de la región**

Se identifican los productores por: sexo (hombres y mujeres); edad: menores de 30 años., de 31 a 40 años, de 41 a 50, de 51 a 60 años y los mayores de 60 años. En relación al nivel escolar, se agrupan en nivel primario, secundario, 12 grado y técnico medio. Por años en la actividad: los que llevan hasta 5 años, de 6 a 10 años, de 11 hasta 20 años, 21 hasta 25 años, 26 a 30 años y los que llevan más de 30 años. Según actividad productiva, se clasifican: como principal, con otras actividades agrícolas y con otras actividades pecuarias. Los que se auxilian: por los hijos, esposa o por otro familiar.

2. Información referente a los recursos humanos vinculados a la crianza del caprino

Se especifica la conformación de los núcleos familiares en esposos / esposas e hijos; fuerza de trabajo empleada y si reciben financiamiento externo; rentabilidad económica: depende si está contemplado en algún proyecto de financiamiento nacional o foráneo y se definen en: Buena, Regular o Mala.

3. Principales aspectos del manejo caprino

Comprende las siguientes variables: Longevidad media en años (menores de 5, entre 5 a 10 años y los que no saben). Vida útil en años (menores de 5, entre 5 a 10 años); Si se lleva o no registro individual por animal; Si existe o no identificación; si se realiza o no el movimiento de los rebaños, si hay o no intercambio de animales y si se separan o no por categorías; Calidad de las instalaciones, se tienen en cuenta el estado constructivo de las mismas, ya que en todos los casos son rusticas de techo de guano o planchas de zinc. paredes de tabla de palma real, madera o ladrillos., son clasificadas como (Buena, Regular o Mal) y el objetivo de la producción en Ventas a la Empresa de Productos Lácteos (EMPLAC) u otros, así como para autoconsumo familiar.

4. 4.Actividad reproductiva del caprino

Sistema de Inseminación o monta natural; Periodo de cubrición (todo el año, o periodo marzo a mayo; Periodo de partos (todo el año o agosto a septiembre), Tipo de parto (simple, doble o triple), Edad al destete (mayor de 120 días).

5. Sistema de alimentación del caprino

Comprende todo lo relacionado con el área total de pastoreo (ha); tiempo de pastoreo del rebaño (horas); Si reciben o no suplementación como: subproductos agrícolas, pastos, forrajes o no se suplementan. En el abasto de agua, sus principales fuentes: Pozo, Ríos o Presas.

6. Salud y atención veterinaria al caprino

Principales enfermedades (Parasitarias, infecciosas, lesiones pódalas); uso o no de antiparasitarios; si se vacunan o no los animales; uso de medicamentos (sintéticos, plantas medicinales o no disponen); atención veterinaria, es la frecuencia de atención trimestral a los rebaños por parte del técnico veterinario de la zona, se definen en Baja o Media.

Cada una de las 20 fincas en estudio, se muestreó, mediante ejecución de encuesta.

Creación de la matriz de datos

La información obtenida, se tabuló en matrices de datos organizadas en hojas de cálculo Excel, donde se situaron en las filas las fincas visitadas y, en las columnas, las variables objeto de estudio. El procesamiento estadístico utilizado en estos indicadores fue por comparación de proporciones.

Resultados y discusión

Caracterización de los sistemas de producción del caprino

La figura 1a presenta los resultados de las características generales del sistema de producción caprino (SPC), mostraron que el 60 % de los propietarios son del sexo masculino y 40 % femenino. Resultado similar fue notificado en Cuba ³⁻¹⁰ y en Mozambique ⁴⁻¹¹ donde encontraron que, de los propietarios analizados, el dueño de la finca era predominantemente del sexo masculino. augurio

Con relación a la edad, la figura 1b muestra que los criadores superan los 40 años, solo el 10 % tienen menos de 30 años, entre 31 y 40 está el 3 %, de 41 a 50 años el 7 %; entre 51 a 60 años el 60 % y el 20 % los mayores de 60 años. Este aspecto muestra la baja integración de las nuevas generaciones a la crianza de caprinos, lo que puede influir negativamente en la conservación de este recurso genético para el uso de las futuras generaciones. Al respecto ⁴⁻¹¹⁻¹², plantean que algunas dificultades del sector caprino y ovino están relacionadas con la falta de relevo generacional, envejecimiento y abandono de la actividad. Una de las razones detectadas es la emigración de jóvenes para las ciudades o países vecinos en busca de nuevas opciones de trabajo. Se deberían diseñar políticas de incentivos adecuados para estimular la producción y potenciar ecosistemas estratégicos, que generen ingresos adicionales y motiven la permanencia de las nuevas generaciones en las comunidades rurales.

La figura 1c refleja el nivel escolar: el 10 % de los productores tienen nivel primario, el 10 % el nivel secundario, el 45 % el 12 grado y 35 % técnicos medios. Este comportamiento evidencia el impacto del sistema educacional del país, aspecto que se debe considerar en la estrategia nacional de desarrollo agropecuario y, en particular, de la caprinocultura. El nivel de escolaridad en este estudio es una fortaleza ya que puede influir en la percepción de tecnologías para continuar mejorando los sistemas de producción y para la conservación del caprino. Resultados diferentes fueron notificados ¹³, quienes informaron que los caprinocultores de la montaña de guerrero en México son de edad madura (46 a

54 años) y no terminaron sus estudios de primaria y, en Mozambique ⁴⁻¹¹, también referenciaron que el 34,84 % de los criadores de caprinos tienen nivel primario, 10,75 % básico y 55,7 % son analfabetos.

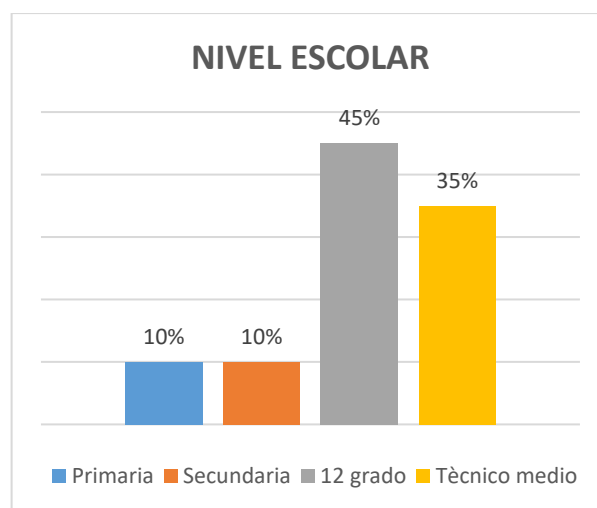
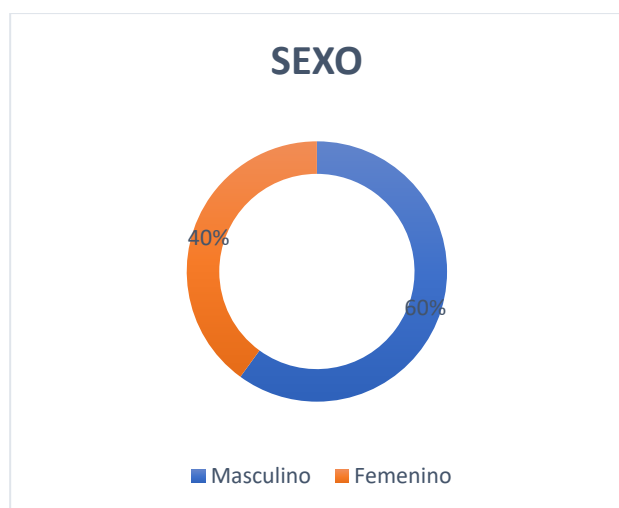
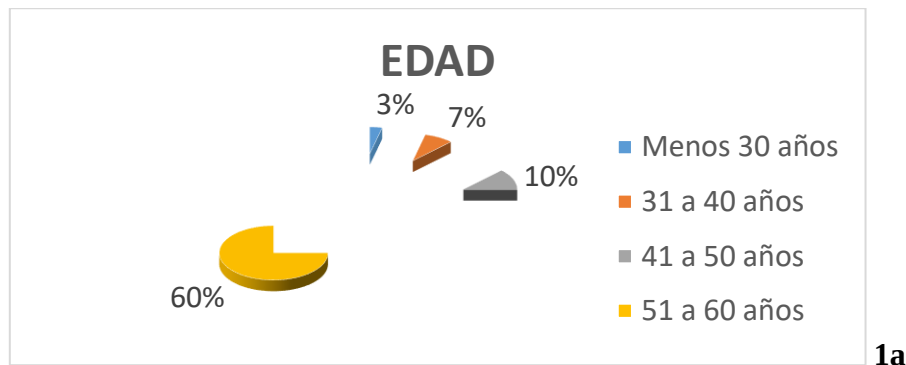


Figura 1. Composición de la muestra de encuestados por sexos (a), edad (b) y nivel escolar (c)

Fuente: elaboración propia

En este estudio, el 90 % de los productores poseen una vasta experiencia en el manejo de la especie, se presenta en la Figura 2. No obstante, esta experiencia es basada en prácticas de manejo tradicionales con poco conocimiento, para la mayoría, de las normas técnicas, por lo que resulta necesario continuar con la capacitación de los criadores.

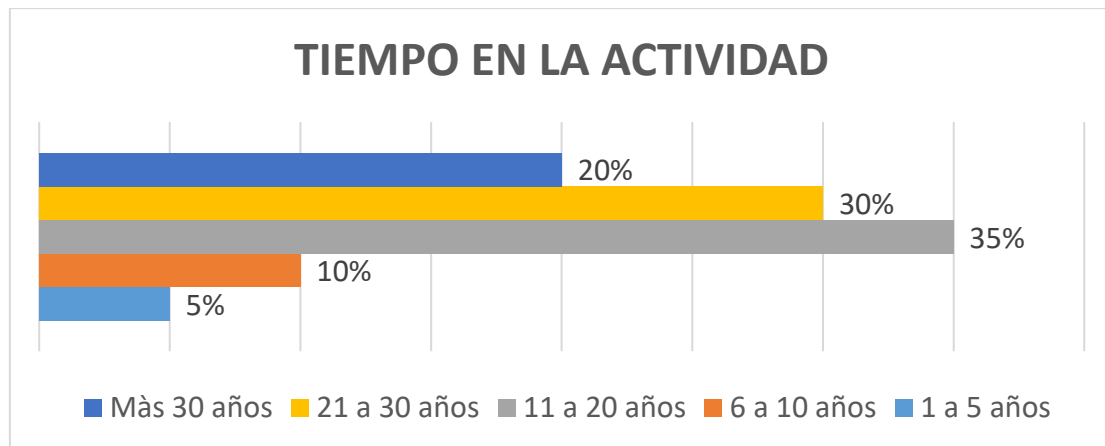


Figura 2 Tiempo que llevan en la actividad caprina los productores de la muestra

Fuente: elaboración propia

El 100 % de los encuestados, consideraron el caprino como un animal ideal para las difíciles condiciones rurales ya que es un animal de fácil crianza, no compite con alimento humano, además aprovechan los forrajes altos en fibra que otros rumiantes no pueden aprovechar y es altamente eficiente en el uso del agua.

La figura 3 presenta los resultados de los encuestados con respecto a su actividad laboral, un 35 % tiene la cría caprina como actividad principal, el 25 % los que crían otras especies como bovinos, ovinos, porcinos y aves, un 15 % los que alternan la crianza caprina con la agricultura y tan solo el 10 % son los que tienen fincas diversificadas sobre bases agroecológicas.

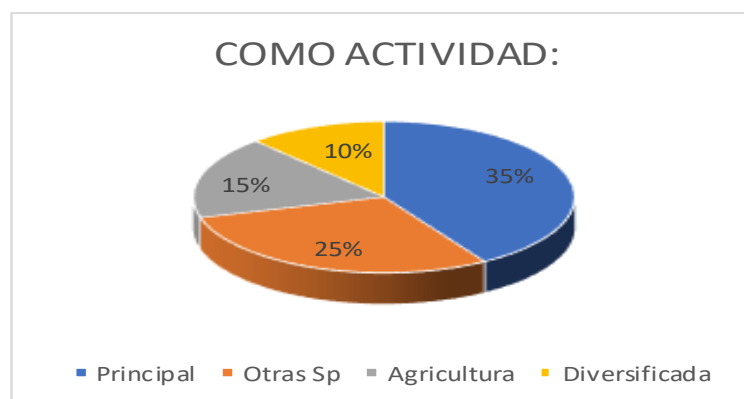


Figura 3 Distribución de actividades que realizan los productores.

Fuente: elaboración propia

Este estudio puede contribuir a la implementación de programas de conservación y mejora de la raza. La figura 4 muestra que el 40 % de los criadores plantearon que se auxilian por otros miembros de la familia y un 10 % (muy bajo) no cuentan con nadie que los pueda ayudar en la actividad. Este

indicador muestra la importancia de la actividad caprina en la sostenibilidad económica de la familia y herencia familiar. Resultados similares fueron relatados ⁴⁻¹²⁻¹⁵, que encontraron continuidad de la crianza a través de sus esposas e hijos.

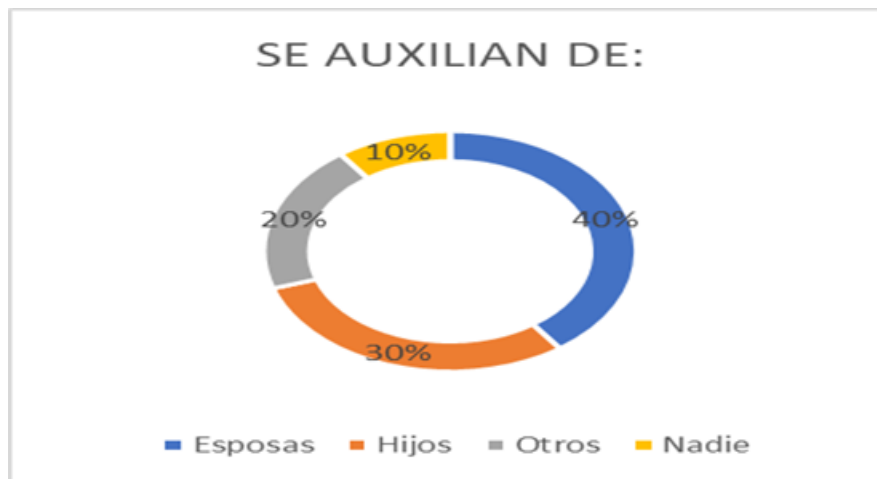


Figura 4. Recursos humanos para la crianza caprina.

Fuente: elaboración propia

El 100 % están integrados a la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) y un 80 % son miembros de la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA) y la Asociación de Técnicos Agropecuarios y Forestal (ACTAF) lo que les facilitará mejorar su gestión económica y desarrollo organizativo, que les permita acceder a proyectos, tales como: Proyecto de Cabra (CAPROCA) que sirven de fuentes de financiamiento, así como créditos bancarios y asesoría científica– técnica, a través de extensión rural. La red de extensión rural tiene un papel muy importante para la transferencia de tecnologías de manejo y la capacitación. Se coincide ⁴⁻¹⁵ pues todos los criadores mostraron su interés de organizarse mejor.

La diversificación de la crianza es importante, en este estudio, los resultados señalaron que los campesinos diversifican sus producciones y se dedican a la crianza de otras especies de animales para la seguridad alimentaria, entre las que se destacan los bovinos, ovino, porcinos y aves. Esta práctica es importante pues permite la obtención de proteína animal, lo que disminuye la dependencia por la proteína vegetal. Precisamente, el déficit de recursos financieros y la diversificación de la dieta son de las razones por las que los productores se ven obligados a diversificar sus producciones ¹⁶ reportó resultado similar de diversificación con las mismas especies en los productores de la región del Bajío, México.

Las fincas caprinas se ubican entre cuatro a diez kilómetros de la cabecera municipal. Se constató que el estado de las vías para el acceso a estas se encuentra entre regular (55%) y mal estado (45 %). Este puede ser un factor que dificulta el desarrollo del sector rural y el acceso al mercado.

La información referente a los recursos humanos vinculados a la crianza del caprino se expresa en la tabla 1. Las Fincas funcionan para la subsistencia familiar, el núcleo familiar es constituido de 4 personas como promedio, donde se observa la existencia de tres hijos promedio, los que constituyen cerca del 40 % de la fuerza de trabajo familiar. La mayoría de los propietarios un 80 %, no contratan fuerza de trabajo para cuidar los animales, solo en algunos casos pueden disponer de mano de obra eventual el 20 %. El 80 %, considera que es por falta de condiciones financieras. El total de los encuestados declararon no recibir financiamiento alguno para desarrollar esta actividad, lo cual constituye otro factor limitante para la conservación de la especie. El acceso al financiamiento es uno de los puntos críticos del sistema de producción caprina. Existen dificultades inherentes al proceso de financiamiento con las entidades públicas, gubernamentales y privadas. Resultados similares fueron observados¹⁰ que informaron el 100% de los productores sin financiamiento en Ciego de Ávila, Cuba.

Tabla 1. Recursos humanos vinculados a la crianza caprina

Variables	%
Fuerza de trabajo empleada	
Eventuales	20,0
Ninguno	80,0
Por qué no tiene empleados	
No necesita	20,00
Financiamiento insuficiente	80,00
Reciben financiamiento	
No	100,00
Rentabilidad económica	
Regular	20,00
Mala	80,00

Fuente: elaboración propia

El 20 % de los criadores comunicaron que la rentabilidad económica es regular, como consecuencia de prácticas inadecuadas de manejo y alimentación, lo que limita el tamaño y productividad de los rebaños. Por otro lado, refieren que sus animales se usan para consumo familiar y en situaciones de extrema necesidad, venden la leche o sus animales vivos o sacrificados en el mercado. El promedio del precio de la leche a 230,00 (pesos cubanos) CUP/L (\$ 1,85 USD/ L) y la carne es de 1200,00

CUP/kg (\$ 9,90 USD/kg). En México el litro de leche de cabra está a 50, 00 pesos mexicanos (\$ 2,50 USD). Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) en España, ofrecido con el Portal lechero.com, el litro de leche de cabra se comporta a \$1,40 € y el promedio para los países de la Unión Europea está a \$ 0,37 €. Para el caso de la carne se comporta a \$ 90,35 pesos mexicanos (\$ 4,52 USD), en España en el caso del cabrito lechal el kg se cotiza a \$ 27,20 €. En Estados Unidos el kilo de carne de caprino está entre los \$ 4,63 a \$ 12,20 USD, mientras que en China el valor es de \$ 85,53 CNY (Yuan) unos \$ 12,20 USD según el sitio digital de precios: Selina Wamucill.com.

En la tabla 2 se exponen los principales aspectos de manejo del caprino. Generalmente, el caprino se somete a un sistema de crianza, donde los animales pastan durante parte del día con un promedio de 8 horas dependiendo de la época de lluvia (6 a 8 horas,) o seca (8 a 12 horas) y se encierran en la noche. El manejo es tradicional y de bajo costo, clasificados por la FAO como de bajo insumos externos, basado en recursos naturales disponibles,¹⁷ encontraron resultados diferentes de 21,7 % de práctica de trashumancia durante la época seca y 63,2 % sedentarios en la región Laghouat en Argelia.

En cuanto a la longevidad del caprino, resulta que la mayor parte de los productores (61,0 %), transmitieron que la vida productiva, está entre 5 y 10 años, menos de 5 años el 14 %, mientras que el 25 %, no sabe. Este resultado concuerda¹⁸, que los machos tienen una longevidad de 8 años y las hembras 7 años. De acuerdo con otros estudios este elemento es de especial interés para los propietarios del caprino, debido a que su productividad descende con la edad^{3- 10-12}.

Los propietarios deben conocer la edad productiva de sus cabras e identificar el intervalo de edad más adecuado entre dos y cuatro años, lo que puede mejorar la rentabilidad de su crianza. Sin embargo, un 68 % de los productores, mencionan entre 5 a 10 años la vida útil de los caprinos, lo que puede influir negativamente en la reproducción de las manadas, por los años de vida productiva, el mantenimiento en el rebaño de reproductores que ya pasaron la vida bioproductiva²⁰ informaron 7.8 meses de vida reproductiva, de acuerdo con la raza Oromo en Etiopia. Según²¹⁻²², es mejor mantener un rebaño hasta los 4 años o 4 partos, aunque pueden mantenerse animales con más de 4 años cuando lo justifique su comportamiento.

Los encuestados mostraron serias deficiencias en el control técnico de los animales, el 45 %, no identifican, ni registran sus animales y argumentan que no lo consideran necesario porque conocen sus animales. Este resultado denota la falta de conocimiento de la importancia de esas técnicas para la organización de los rebaños para el manejo alimentario, sanitario y reproductivo; este último, puede influir sobre el riesgo de cruzamientos consanguíneos o no deseables por la falta de registros genealógicos, lo que puede poner en peligro la conservación y mejora de la raza²³⁻²⁴⁻²⁵ divulgaron

que en una comunidad de Colombia la identificación de los caprinos se realiza tradicionalmente a través de cortes en la oreja, por medio del cual se marca la señal del clan, o mediante perforación de orejas, cuando tienen material para ello, sin embargo, la mayoría no se encuentra identificado.

Los productores no seleccionan los animales para la reproducción, con riesgo de mantener animales poco productivos en el rebaño. En la selección, el principal atributo es el potencial genético reproductivo de la hembra, que generalmente no se toma en cuenta como criterio de selección. Se publicó que la selección de sementales y hembras de reemplazo en los productores del municipio de Lara, en Venezuela²⁷, no utilizan criterios técnicos adecuados, habitualmente se realiza considerando aspectos morfológicos, como tamaño, conformación, color y apariencia física en ambos sexos.

Se recomienda que en la selección de hembras para la reproducción se debe tener en cuenta el ancho de las caderas, las ubres bien implantadas, la verticalidad de la vulva respecto al cuerpo, el buen desarrollo o condición corporal (2,5-3,5 en una escala de 5) y las que no cumplan con estos estándares, y tengan defectos en los aplomos y con más de dos pezones, como criterio, son eliminadas (venta o sacrificio).¹⁹

Raras veces, el 12 %, realizan intercambio de animales; eso ocurre cuando un productor tiene muchos machos, lo intercambia por hembras y, en algunas situaciones de crisis de alimentos humanos, intercambian caprinos por productos agrícolas. El intercambio de caprinos puede disminuir los problemas de consanguinidad. Resultados diferentes fueron encontrados en Argentina donde un mayor por ciento (43 %) de productores intercambia reproductores.²⁶

De igual forma, prácticamente no hacen movimiento de animales de un lugar para otro el 35 %, por el sistema extensivo, como ha sido referido, sin embargo, en este estudio, el 30 % de los criadores (6), al no poseer tierras, trashuman por bordes de caminos, cunetas y potreros de Unidades Básicas de Producción Agropecuaria (UBPC) colindantes a sus asentamientos; se desplazan a diario más de 20 km, existe un 12 % de movimiento de caprinos de un lugar para otro por la compra venta. Notificaron⁴ la práctica de movimiento de caprinos por trashumancia en la región en estudio de Mozambique para la raza Landim.

Del total de encuestados manifiestan separar los animales por categorías en sus rebaños (85 %). La media calculada de efectivos por propietario fue de 10 caprinos; de este número, apenas un 8 % son sementales (19). Resultado cercano, indicaron resultado diferente en las unidades de producción familiar (UPF) en Argentina, que tuvieron en promedio $124,5 \pm 102$ caprinos (sin contar cabritos); el 79,7% eran reproductoras²⁷. encontraron que el 85 % de los productores de la subregión Colima poseen un rebaño completo, es decir, con machos, hembras y cabritos.

Muchas limitaciones del estado de salud responden a inadecuadas prácticas de manejo o violaciones de las exigencias técnicas que deben reunir las instalaciones caprinas. En este estudio, se observó que la mayor parte de las instalaciones, aunque rústicas fueron evaluadas de buena calidad (65 %) mientras que de mala calidad (15%). Generalmente, estas últimas estaban sin techo, como las fincas 9 y 15, lo que predispone a los animales a agresiones ambientales, como lluvias y radiaciones solares directas y a la invasión por depredadores.

Actualmente, en Camagüey, existen proyectos de divulgación del uso de tarimas para el ordeño, por lo que el 50 % de los propietarios la utilizan. Mientras en Brasil se reporta un 90 % con instalaciones mejoradas de tipo tarimas¹⁹, así como estudios en áreas semiáridas donde también se destaca el uso de este tipo de instalaciones.²⁸⁻³⁴

Según divulgaron¹⁸⁻²⁵⁻³³ los caprinos son animales muy sensibles a la humedad, a problemas de ventilación y a gases irritantes, como el amoníaco, por lo que se deben seleccionar lugares secos, sin encharcamientos y ubicar las instalaciones de acuerdo con el recorrido del sol y el régimen de los vientos, para asegurar, además, una buena ventilación. También, las características de las instalaciones son aspectos de gran importancia a la hora de definir el establecimiento de un rebaño caprino.³⁵

Los propietarios, en su mayoría, son personas que se dedican a esta actividad para entregar al EMPLAC o ventas (65 %) y consumo familiar (35 %). Por su parte en Mozambique⁴, generalmente la producción caprina no se utiliza para el consumo de leche por hábitos alimentarios y falta de conocimiento de propiedades cualitativas de la leche de caprina. Resultado similar fue referenciado en Cuba¹⁰⁻³⁰, al notificar que los campesinos prácticamente utilizan el caprino criollo cubano para producción de carne.

La tabla 3 presenta aspectos relacionados con la actividad reproductiva del caprino. El total de los encuestados refieren que manejan sus animales como rebaño único y para la reproducción se utiliza Monta libre (100%). Sistemas similares se utilizan en otras latitudes, como lo indican los reportes en Argentina.³¹

Tabla 2. Principales aspectos de manejo del caprino

Variables	Posible respuesta	%
Longevidad media (años)	< 5	14,00
	5—10	61,00
	No sabe	25,00
Vida útil (años)	< 5	32,00
	5—10	68,00

Registro individual	No	80,00
	Si	20,00
Identificación caprinos	Si	55,00
	No	45,00
Movimiento caprinos	Sí	35,00
	No	65,00
Intercambio caprinos	Si	12,00
	No	88,00
Separación categorías	Si	85,00
	No	15,00
Calidad instalaciones	Buenas	65,00
	Regular	20,00
	Malas	15,00
Objetivo de producción	Venta	
	EMPLAC	65,00
	Autoconsumo	35,00

Fuente: elaboración propia

Es de extraordinaria importancia conocer los principales eventos que definen el comportamiento reproductivo del rebaño. Se encuentra la pubertad, los factores que determinan el ciclo estral, el parto y el reinicio de la actividad ovárica post parto. El apareamiento debe ser al año, cuando la hembra alcanza la pubertad, cumpliendo como requisito peso y condición corporal, por eso se debe tomar el peso como punto de referencia. La cabra joven debe tener un 75 % del promedio del peso adulto y una condición corporal de 3 (en la escala 1 a 5). Los signos para saber que entran en celo: balan, disminuyen la producción y apetito, movimiento lateral de la cola y aumento de la micción, montan otras hembras, vulva enrojecida con secreciones de mucus cervical. Entran en celo entre los 18 a 22 días y la duración está entre las 18 a 48 horas siendo la óptima entre las 24 a 36 horas. Los caprinos son polimétricos estacionales, sin embargo, un 15 % de los criadores informaron que las reproductoras presentan celo en cualquier época, lo que significa que pueden parir en todo el año. Aunque algunos, el 82 %, fueron más precisos al comunicar que los partos acontecen con mayor incidencia entre los meses de agosto a octubre, lo que significa que las cubriciones se inician a finales de marzo, comprende abril y mayo, siendo junio donde se incrementan gradualmente las cubriciones, hasta alcanzar el pico de actividad sexual con 85 %, es la época en Cuba donde inician las lluvias, hay abundancia de pasto. Las mestizas manifiestan el celo durante todo el año, si se les mantiene un régimen alimentario estable, disminuyendo durante el mes de febrero. El conocimiento del manejo reproductivo es importante para poder plantearse estrategias alimentarias que respondan a las

potencialidades y realidades de cada rebaño que permitan incrementos de la fertilidad y un mayor número de nacimientos ³² referenciaron que en el 36 % de las unidades de producción familiar el servicio es de tipo estacional, mientras que en el resto es continuo; la parición promedio se concentró en tres períodos: abril-junio (46 %), julio-agosto (31,5%) y septiembre-octubre (13,7%). Otro indicador reproductivo de importancia es el número de crías por partos, el mayor número de productores (61,5 %) informó partos dobles. La presencia de mayor porcentaje de partos doble puede ser indicador del buen potencial reproductivo del caprino, criado en condiciones de manejo difíciles. Mientras que en caprinos lecheros de Brasil se reporta que el 64 % de los partos son simples. ¹⁹⁻³⁴

El destete de los animales es natural, lo que ocurre después de 4 meses; eso hace prolongar el intervalo entre partos (IIP). El período entre el primer y segundo parto del caprino es prolongado, alcanza un valor promedio de más de 12 meses. Tal comportamiento muestra la imposibilidad de obtener tres partos en dos años, aspiración de los caprinocultores a nivel internacional. Con la capacitación de los caprinocultores sobre la importancia de reducir el período de destete, no siempre se puede reducir el IIP, para ello hay que tener en cuenta la mejora de la alimentación, pues de no cumplirse puede ocasionar mortalidad de las crías; de esta forma, se puede incrementar la productividad y la rentabilidad económica de la crianza. El IIP es un indicador clave para la productividad del rebaño caprino, aunque también depende, entre otros factores, de la condición corporal de la cabra, factores ambientales, tipo y calidad del alimento, la estacionalidad, genético y tipo de destete. En las cabras criollas cubanas el tiempo que transcurre entre un parto y otro, demora poco más de nueve meses, mientras en cabras criollas colombianas dura 396 días. ²⁹⁻³³

En la tabla 4 se encuentran los resultados relacionados con el sistema de alimentación del caprino. La mayoría de los encuestados conocen las áreas de pastoreo, y las que son de las UBPC colindantes. La falta de conocimiento de este indicador puede afectar la capacidad de carga. Este indicador se relaciona con el nivel de alimentación, debido a que son tierras dedicadas, en lo fundamental, al cultivo agrícola, solo se destinan a pastoreo las áreas marginales.

Estas áreas de pastoreo natural dependen de la estacionalidad de las lluvias, se caracterizan por erosión de suelos y destrucción de plantas naturales. Aunque esta especie son las denominadas dispensadoras de semillas, aportando carbono a los ecosistemas, sin embargo, lo que se apreció es que los animales no cubren sus requerimientos nutritivos diarios y pueden tener altos gastos energéticos por las largas caminatas en búsqueda de pastos. Las características mencionadas influyen en la baja productividad de los rebaños, lo que afecta la sostenibilidad de este sistema extensivo de crianza. Sería importante para todos los productores tener tierra, lo que permitiría el manejo de los

pastos y el aumento de la sostenibilidad del sistema de producción, resultado similar fue documentado. ⁴

Tabla 3. Actividad reproductiva del caprino

Variables	%
Monta Libre	100,00
Periodo de cubrición : todo el año	15,00
Abril- junio	85,00
Periodo de partos : todo el año	18,00
Agosto- octubre	82,00
Tipos de partos : Simple	35,00
Doble	61,50
Triple	3, 50
Edad al destete (días) (> 120)	100,00

Fuente: elaboración propia

Información diferente comunicaron en el municipio de Boavita, México ³⁵, donde encontraron propiedades con tierra propia que varían entre 1 y 11 hectáreas. La mayor parte de los propietarios no utilizan suplementación (70 %), muy necesaria principalmente en la época de seca debido a la escasez de los alimentos, su bajo uso se debe a faltas de recursos por limitaciones económicas. Los pocos productores que suplementan (30 %), utilizan subproductos agrícolas y forraje. En Uganda y Burundi ¹⁵⁻²¹, notificaron resultados diferentes, de un mayor porcentaje de propietarios que utilizan suplementación (72,6 %), en base a forraje y subproductos agrícolas. De la misma manera, se reportó (93 %) en Senegal. ³⁶

El tiempo de pastoreo del caprino es aproximadamente 8 horas diarias, los animales salen por la mañana y regresan por la tarde, el tiempo de estancia en el pastoreo es variable y depende del productor, no todos conocen los requerimientos nutritivos de los caprinos, aspecto que determina en mayor medida la productividad de estos sistemas. En este sentido para alcanzar los requerimientos nutricionales, varios autores refieren que el tiempo de pastoreo en caprinos es de 8 hasta 12 horas en período seco y de 6 hasta 8 horas durante el periodo lluvioso. ¹⁷⁻²³⁻³⁵

Otro aspecto de suma importancia consiste en el suministro agua a los animales por los propietarios, de presa (25 %), de río (15 %) y de pozo en casa (60 %). El déficit en el consumo de agua, en la mayoría de los casos, se subestima, aspecto que debe ser priorizado por sus efectos nocivos sobre la salud y la producción, o sea el crecimiento y con ello la reproducción de los animales. Se plantea que las cabras pueden beber hasta el 40 % de su peso en agua, sin presentar problemas fisiológicos ni

metabólicos, por lo tanto, el requerimiento diario en adultos es de 0,2-0,3 litros/kg de peso vivo. Los caprinocultores manifiestan que en épocas de seca el suministro hídrico a los animales se ve afectado ya que tan sólo el 65 % tienen redes hidráulicas, el resto tienen que suministrar con tanques o cubetas. Resultado similar se reportan en Brasil, donde los criadores utilizan agua de arroyo, río y pozo.¹⁴

La figura 5 muestra la composición del rebaño por categorías, expresada en %, de un total de 359 cabezas. Mientras que las enfermedades de mayor importancia que los propietarios informaron se presentan en la figura 6. Las infecciosas alcanzan altas cifras (57 %), particularmente las enfermedades transmitidas por garrapatas, zoonóticas (como *ricketsiosis*), lo que puede deberse a insuficiencia de baños garrapaticidas, como medida de control en los rebaños. También en época de lluvia los animales se ven afectados de lesiones pódalas, principalmente en lugares de zonas bajas, por lo que esta especie es muy susceptible a padecer de esta patología.

Tabla 4. Sistema de alimentación del caprino

Variables	%
Área total de pastoreo (ha) Conoce	85,00
Tiempo de pastoreo (horas) Parte del día según época	100,00
Suplementación alimentaria Subproductos agrícolas	50,00
Forrajes	50,00
Pastos	100,00
Sin suplementar	20,00
Abasto de agua Presa	25,00
Río	15,00
Pozo	60,00

Fuente: elaboración propia

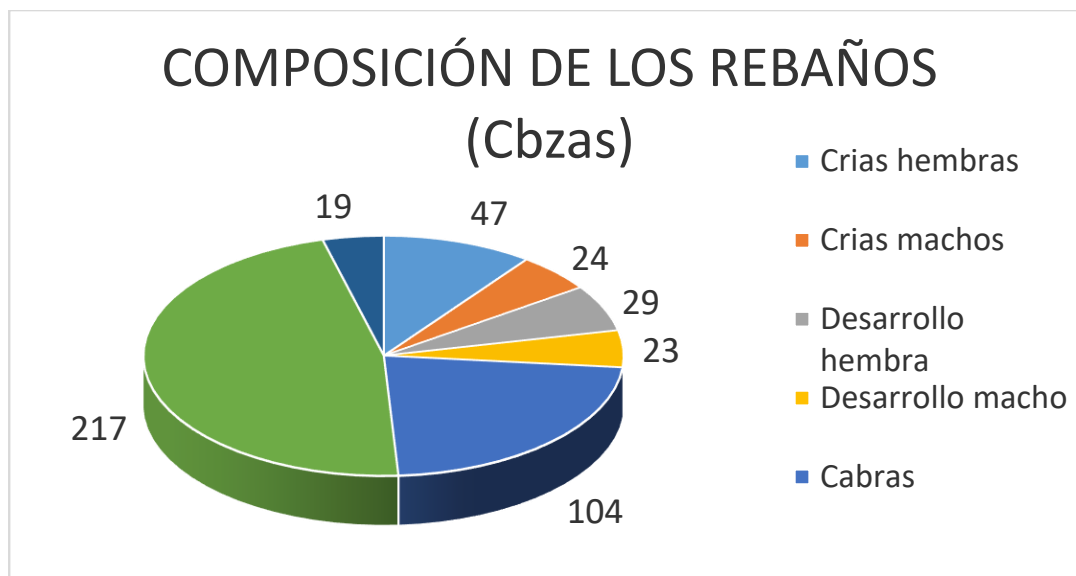


Figura 5. Composición de los rebaños caprinos

Fuente: elaboración propia

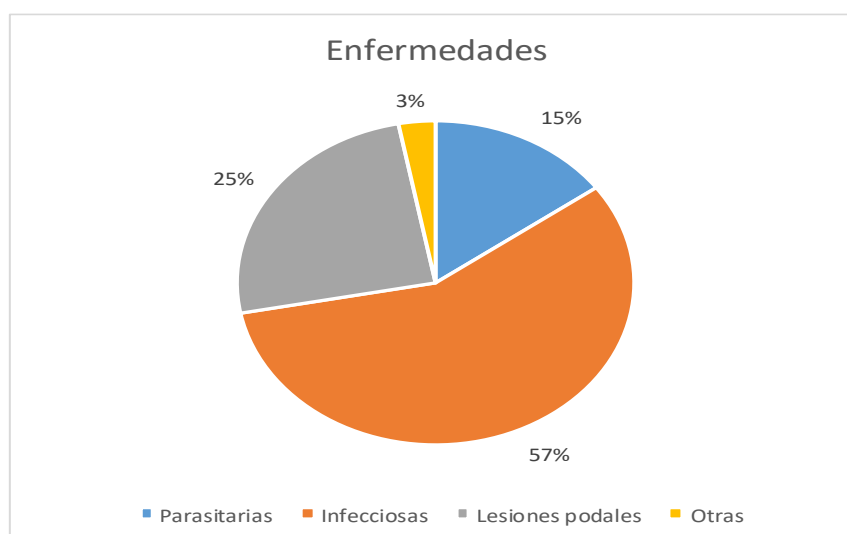


Figura 6. Principales enfermedades que afectan los rebaños

Fuente: elaboración propia

La tabla 5 muestra que la mayor parte notificó enfermedades parasitarias gastrointestinales (60 %), con predominio en la época lluviosa y la presencia de garrapatas (68 %) en época seca. Los helmintos más frecuentes son de la familia *Strongyloidae*, generalmente del género *Trichostrongylus*, *Moniézia spp.* y *Eimeria spp.*¹³⁻²¹. Estas infestaciones parasitarias muestran deficiencias por la limpieza de las instalaciones y provocan acumulación de humedad; también hay deficiencias en otras medidas estratégicas de control, como la desparasitación.

Tabla 5. Salud y atención veterinaria al caprino

Variables	%
Uso de antiparasitarios	
Sí	25,00
No	75,00
Vacunas	
No	100,00
Medicamentos	
Sintéticos	10 ,00
Plantas Medicinales	85,00
No disponible	5,00
Visitas del veterinario	
Baja	75,00
Media	25,00

Fuente: elaboración
El 75 % de los
que reciben poca
consecuencia, tratan
recursos locales,
(85 %). Por carecer
la compra de
36 referente a la
uso veterinarios en
los propietarios
a sus animales.

propia
productores comunicaron
atención veterinaria. Como
a sus animales con los
como plantas medicinales
de recursos financieros para
medicamentos sintéticos 21-
compra de medicamentos de
Etiopia³⁶, solo el (17%) de
administran antihelmínticos
Cuando se preguntó por la

vacunación a los productores de la muestra en estudio, todos los productores reportaron que no reciben vacunas para los caprinos. Situación diferente fue reportada en Brasil ³⁴, donde la vacunación de caprinos es obligatoria.

Conclusiones

Se concluye que, en la región en estudio, predominan los hombres como propietarios, sin embargo, existe un avance en la incorporación de la mujer a esta actividad pecuaria (40%). La edad promedio de los criadores fue 56 años y predominan los niveles educacionales de 12 grado y técnico medio, constituyendo una fortaleza para asimilar un proceso de capacitación sobre la especie caprina. Un 30 % lleva de 21 a 30 años de labor ininterrumpida en la actividad caprina. La caracterización permitió identificar una insuficiente atención hacia los productores vinculados a la crianza caprina, bajo sistemas de pastoreo extensivo sobre coberturas naturales y bajo uso de otras fuentes de alimentación alternativas; así como deficiencias técnico constructivas de las instalaciones del tipo rústicas. En el manejo hay insuficiencias que repercuten en los indicadores bioproductivos, y en la atención veterinaria de los rebaños existe escaso tratamiento sanitario. También se destaca que existe un 30 % de los productores aún sin tierras. Se evidencia la necesidad de reorganizar la producción caprina y establecer un sistema que permita mejorar los rendimientos (leche y carne), para así contribuir de forma sostenible al desarrollo de la seguridad alimentaria y mejorar la calidad de vida de los productores.

Contribuciones de los autores: "Conceptualización, EV; metodología, EV, LC; software, EV, FV; validación, EV; análisis formal, EV, LC, FV, LCZ; investigación, EV, FV; curación de datos, EV;

redacción: original preparación de borradores, EV, FV; Redacción y edición: EV, LCZ; supervisión, LC.

Financiamiento: no

Conflictos de intereses: Los autores declaramos no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos: a los productores de las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) “Santiago Zamora” y “Calixto García” de la Empresa Agropecuaria Jimaguayú, de la provincia de Camagüey por todo el apoyo brindado y facilitar la información.

Referencias

1. FAO. "Panorama de la Seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe". Roma, Italia, **2021**, 92. ISBN 978-92-5-133665-6. <https://doi.org/10.4060/cb2242es>
2. Burrows, J., Lewis, V. E., Förster, R. A., Carrasco, J. G.; Pedraza, D.B., Perspectivas de producción de Leche de caprino. *ODEPA Chile*, **2017**, 2-5.
3. Gispert Muñoz, Augusto C, Pedraza Olivera, Redimio M, Montes de Oca, Roberto Vázquez, Bidot Fernández, Adela I., Características generales de sistemas familiares de producción caprina del municipio Camagüey, Cuba. *Revista de Producción Animal*, **2019**, 31(3), 88-94.
<https://scielo.sls.cu/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2224792020190003000088&lng=es&tlng>
4. Cavele, A. Caracterización morfológica, diversidad genética y sistemas de producción del caprino Landim de Mozambique. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad de Granma. Bayamo. **2023**
5. Torres, C.; Salcedo, J. Proyecto de fortalecimiento técnico para la producción y comercialización de carne caprina en el municipio de Soatá-Boyacá. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, **2017**, 121.
6. CMC. Datos Meteorológicos del municipio Jimaguayú. Corrida año 2022. Centro Meteorológico de Camagüey, **2023**.
7. ONEI Oficina Nacional de Estadística e Información. La Habana. **2022**
8. Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., Speck, N. C. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, **2019**, 40(1). ISSN:1819-4087
https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258593620100015&lng=es&nrm=iso
9. Acuña, J. Plantas indeseables en los cultivos cubanos, INIFAT, Academia de Ciencias de Cuba, *Consejo Editorial de la ACC*, La Habana **1974**

10. Delgado Fernández, R. Caracterización de los sistemas de producción caprina en la provincia Ciego de Ávila. *Pastos y Forrajes*, **2016**, 39(1), 64-71.
<https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciarttext&S086403942016000100009&Ing=es&tlng>
11. Cavele, A. Identificação e Determinação da Prevalencia de Parasitas Gastrointestinais de Ruminantes nas Condições Agroecológicas do Sector Familiar nas Províncias de Tete e Manica”. MCT-FNI, Maputo- Moçambique, **2016**, 9, 7-8.
12. Cavele, Alfeu, Pérez-Pineda, Eliecer, Fonseca-Fuentes, Norge, Barba-Capote, Cecilio José, Grizelj, Juraj. Algunos indicadores del comportamiento del caprino Landim mozambicano en el planalto de Angónia. *Pastos y Forrajes*, **2022**, 45(14).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864
13. García-Bonilla, D. V., Vargas-López, S., Bustamante-González, A., Torres-Hernández, G., Calderón-Sánchez, F.; Olvera- Hernández, J.I. La producción de caprinos para carne en la montaña de Guerrero. México., **2018**, 15, 1–17.
14. Alves, A.R., Vilela, M.S., Andrade, M., Pinto, L.S., Lima, D.B.; Lima, L.L. Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região sul do Estado do Maranhão, Brasil, *Vet. e Zootec. Set.*, **2017**, 24(3), 515-524.
15. Kaumbata, W., Nakimbugwe, H., Nandolo, W., Banda, L. J., Mészáros, G., Gondwe, T., Woodward-Greene, M. J., Rosen, B., Van-Tassel, C. P., Sölkner, J.; Wurzinger, M.. Experiences from the implementation of Community-Based goat breeding programs in Malawi and Uganda: A potential approach for conservation and improvement of Indigenous small ruminants in smallholder farms. *Sustainability*, **2021**, 13, 1494. <https://doi.org/10.3390/su13031494>
16. Hernández, G. Caracterización de sistemas de producción caprina de bajos insumos en la región de Bajío, México. Universidad Autónoma, Chapingo, **2018**, 40-48.
17. Laouadi, M., Tennah, S., Kafidi, N., Antoine-Moussiaux, N., & Moula, N. A basic characterization of small-holders’ goat production systems in Laghouat area, Algeria. *Research, Policy and Practice*, **2018**, 8, 24. <https://doi.org/10.1186/s13570-018-0131-7>
18. ACPA (Asociación Cubana De Producción Animal). Manual del caprinocultor. La Habana: *Asociación Cubana de Producción Animal*, **2005**, 4, 31-71.
19. Gonçalves, A. Avaliação de sistemas de produção de caprinos leiteiros de sudoeste de Brasil. UFV, Brasil, **2015**, 44-47.

20. Oumer, S., Kefyalew, A., Aynalem, H. Production systems and breeding practices of Arab and Oromo Goat keepers in North western Ethiopia: implications for communitybased breeding programs. *Trop Anim Health Prod.*, **2019**, 52(14), 67–78.
21. Kimura, B., Marshall, F., Beja-Pereira, A.; Mulligan, C. Donkey domestication. *African Archaeological Review*, **2013**, 1(3), 83-95.
22. Seid, A., Kebede, K.; Effa, K. Morphological characterization of indigenous goats in Western Ethiopia: implication for community-based breeding programmes. *Animal Genetic Resources*, **2016**, 1-10.
23. Lacadena, J. R. Genética. 3ª Edición, A.G.E.S.A, Madrid, **1981**.
24. Romero, A., Miranda, J., Flórez, D., Caracterización del sistema productivo ovino caprino de una comunidad indígena en Colombia y su capacidad de sustentabilidad. *Revista Espacios*, **2020**, 41(38), 61-66. ISSN: 0798-1015. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n32p29>
25. Suárez, V.H., Rosetto, C.B., Gaido, A.B., Salatin, A.O, Bertoni, E.A., Doderio, A.M., Viñabal, A.E., Pinto, G., Brihuega, B., Romera, S.A.; Maidana, S., Prácticas de manejo y presencia de enfermedades en majadas caprinas de la región del chaco salteño. *Vet Argentina* **2015**. Disponible: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/1/paz17008.htm>
26. Suárez, V.H., Martínez G.M., Nievas, J.D.; Quiroga Roger. J. Prácticas de manejo y producción en sistemas familiares de cría caprina en las quebradas áridas de Jujuy y Salta. *RIA*. **2017**, 1-8.
27. Timaure-Jiménez, C., Pozo, J.A., Soto-Ysea, Y; Guerere Morales, A., Sistemas de producción caprina y ovina en la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo. *Tecnología en Marcha*, **2018**, 28(1), 71-90.
28. Vieira, B. C. R., Alfaiate M. B., Moreira, Y. R; Mayk Henrique Souza, M. H. Estudio do perfil fenotípico de caprinos no Sul do Espírito Santo. *Ciencias Biológicas e de Saúde*, **2016**, 14-16.
29. Vargas-Bayona, JE., Serrano-Novoa, CA., Martínez-Bello. DA., Rodríguez-Galván G, Zaragoza-Martínez L; Serrano-Mujica LK., Los sistemas de producción caprina en el municipio de Molagavita, sobre la cuenca del río Chicamocha, Colombia. *Spei Domus*, **2015**, 11(23), 9-16. <http://dx.doi.org/10.16925/sp.v11i23.1362>
30. La O-Arias, L. M. O., Hernández, F.G., Fuentes, N.F., Castro, H. G., Ruiz, P. R., De Coss, A.L., Jonapa, F. J. M., Ruiz, R. R. C., Najera, R. E. R., Moreno, J. A. E., Larramendi, L. A. R., Morphological characterization of the Cuban creole goat: Basis for participatory management of zoogenetic resource. *Research Journal of Biological Sciences*, **2012**, 7 (7), 270-277.

31. INTA. Lecheria caprina: Producción, manejo, sanidad y calidad de la leche. **2018**. <https://Inta.gob.ar>
32. Manallah, I., Caractérisation morphologique des caprins dans la région de Sétif.. Production Animale Option: Amélioration de la Production Animale. (Tesis doctoral, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ferhat Abbas), Setif-Algérie. **2018**, 107.
33. Pineda-Graterol, M. E., Florido-Luis, S., Pineda-Graterol, M., Florido-Luis, E; Pineda Graterol, Y., Caracterización de sistemas de producción de caprinos (*Capra hircus*) en una comunidad rural del municipio Moran, Edo. Lara, Venezuela. *Actas Iberoamericanas en Conservación Animal*, **2016**, 8, 33-38.
34. Santos, N., Sarmiento, J., Filho, E.; Campelo, J., Figueiredo, L., Júnior, S; Rego Neto, A., Ó, A., Aspectos ambientais e genéticos de características reproductivas e productivas em caprinos leiteiros utilizando amonstragem de Gibbs. *Rev. Bras. Saúde Pro. Anim., Salvador*. **2012**, 13(4). 1084 – 1098.
35. Quintana, L. Caracterización caprina en el municipio de boavita departamento de boyacá: un análisis desde su componente socio-económico, técnico y medioambiental. I Congreso Iberoamericano y XXXI Congreso Internacional en Administración de Empresas Agropecuarias, México. **2018**
36. Sow, F., Camara, Y., Traore, E., Cabaraux, J., Missohou., Antoine-Moussiaux, N., Hornick, J., Moula, N. Characterisation of smallholders' goat production systems in the Fatick area, Senegal. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, **2021**, 11, 12 <https://doi.org/10.1186/s13570-021-00195-4>

[**Received:** 6 octubre 2024 **Accepted:** 22 noviembre 2024] **Published:** 15 diciembre 2024] |

Citation: Varona-Rodríguez, E., Curbelo L., Vidal, F., Crespo, Z. Characterization of the goat production systems in the municipality of Jimaguayú. *Bionatura*. 2024 volumen 9, número 4

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

8 Cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales

Cyanobacteria in the bioindication of coral health status

Liliana Gomez Luna ¹, Leira Delgado Pérez ^{2*}

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente/
Santiago de Cuba/ Cuba; lilia-nag@uo.edu.cu. ORCID 0000-0002-1282-3392

² Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO)/ Santiago de Cuba/
Cuba; leiradp@gmail.com. ORCID 0000-0003-4250-1404

* Correspondencia: leiradp99@gmail.com

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.8

Resumen

Los arrecifes de coral son ecosistemas clave que sustentan una gran biodiversidad y proveen importantes servicios ecosistémicos. Sin embargo, el cambio climático y las actividades humanas los han expuesto a múltiples amenazas, como enfermedades y blanqueamiento, que comprometen su salud. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de las cianobacterias como bioindicadoras del estado de salud de los corales en dos biotopos de la costa suroriental de Cuba: plano rocoso y camellones, expuestos a diferentes presiones antrópicas. Durante 2022, se analizaron 17 indicadores de estructura, función y condicionadores de cambio en corales muestreados en períodos climáticos lluvioso y poco lluvioso. El biotopo plano rocoso mostró mejor estado de salud, con mayor diversidad de corales (14 vs. 10 especies) y menor incidencia de enfermedades y blanqueamiento que los camellones, donde las condiciones están más comprometidas por la contaminación y macrobasura. Se identificaron 22 especies de cianobacterias, de las cuales *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula* y *Pseudoscillatoria coralii* se asociaron a corales enfermos y/o muertos, mientras que *Aphanotece clathrata* y *Cyanosarcina* sp. se encontraron en corales sanos. Los resultados indican que las cianobacterias son sensibles a la calidad ambiental, mostrando diferencias espaciales y temporales en los biotopos. Estas evidencias resaltan su potencial como herramientas para monitorear la salud coralina y apoyar la gestión y conservación de estos ecosistemas en el Caribe, especialmente ante los desafíos del cambio climático y las actividades humanas.

Palabras clave cianobacterias; biotopes de arrecife; sistemas arrecifales.

Summary

Coral reefs are key ecosystems that support great biodiversity and provide important ecosystem services. However, climate change and human activities have exposed them to multiple threats, such as diseases and bleaching, that compromise their health. This study aimed to evaluate the potential of cyanobacteria as bioindicators of the health status of corals in two biotopes of the southeastern coast of Cuba: rocky plain and ridges, exposed to different anthropogenic pressures. During 2022, 17 indicators of structure, function and change conditioners were analyzed in corals sampled in rainy and dry climate periods. The flat rocky biotope showed a better state of health, with greater diversity of corals (14 vs. 10 species) and a lower incidence of diseases and bleaching than the ridges, where conditions are more compromised by pollution and macrogarbage, 22 species of cyanobacteria were identified, of which *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula* and *Pseudoscillatoria corallii* were associated with diseased and/or dead corals, while *Aphanotece clathrata* and *Cyanosarcina* sp. were found in healthy corals. The results indicate that cyanobacteria are sensitive to environmental quality, showing spatial and temporal differences in biotopes. This evidence highlights their potential as tools to monitor coral health and support the management and conservation of these ecosystems in the Caribbean, especially in the face of the challenges of climate change and human activities.

Keywords: cyanobacteria; reef biotopes; reef systems

Introducción

Un arrecife de coral saludable es un sistema estrechamente relacionado que destaca por la captura y reciclaje de nutrientes en aguas oligotróficas, respaldando una extraordinaria biodiversidad y productividad.¹ Sustentan alrededor del 25% de las especies marinas conocidas, y proporcionan bienes y servicios a más de 500 millones de seres humanos en diferentes países, fundamentalmente a través de la pesca y el turismo. Se desarrollan en aguas tropicales y subtropicales, presentando gran complejidad estructural y topográfica.² En un ecosistema de arrecifal viven simbióticamente algas, virus, bacterias, arqueas y protistas distribuidos en patrones espacialmente diversos para funcionar como holobiontes, es decir, como un conjunto complejo de organismos multicelulares con todos los microorganismos asociados. Siendo dominantes las zooxantelas.²

En los estudios sobre la microbiota de arrecifes de coral son relevantes aquellos sobre microorganismos fotosintetizadores.³ Se han realizado investigaciones sobre cianobacterias en diferentes regiones tropicales, constituyendo un tema polémico e interesante el aumento de especies tóxicas en los corales como resultado del impacto del cambio climático.^{4, 5} Es importante destacar la sensibilidad de estos microorganismos a los cambios del clima, además de su relevancia para los arrecifes de coral.^{4, 5}

Por otra parte, se ha explicado que cuando los corales presentan estrés, ya sea por factores naturales o antrópicos, las cianobacterias pueden ser patógenas.^{6, 7} Estas se han asociado a enfermedades de diferentes especies de coral, tanto en el Atlántico como en el Pacífico⁸⁻¹⁰ tema que aún se encuentra en la mira de la ciencia. Sin embargo, aún son limitadas las evidencias científicas que relacionan las cianobacterias con el estado de salud de los corales.

A nivel global existen estudios sobre el estado de salud y conservación de los arrecifes de coral,¹¹ siendo unas regiones más privilegiadas que otras. En las costas de Cuba existen antecedentes de investigaciones al respecto;¹²⁻¹⁴ sin embargo, se identifican vacíos del conocimiento en relación con las especies de cianobacterias presentes en diferentes especies de corales y los nexos con su estado de salud. El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial de las cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales y la influencia de las condiciones ambientales sobre la presencia de especies bioindicadoras en biotopos de la costa suroriental de Cuba.

Materiales y Métodos

Se desarrolla una investigación exploratoria, descriptiva y correlacional para evaluar el potencial de las cianobacterias como bioindicador del estado de salud de los corales en la costa suroriental de Cuba. Se establecen dos localidades de muestreo: 1) Aguadores (biotopo plano rocoso) y 2) Playa Siboney (biotopo camellón) (Figura 1), considerando la heterogeneidad de estas en cuanto a los biotopos y las presiones antrópicas.

Para determinar el estado de salud en los biotopos se consideró como referente metodológico la guía de referencia rápida de indicadores de salud del arrecife de McField y Kramer,¹⁵ modificada (Figura 2).



Figura 1. Mapa de las localidades de estudio. Elaboración propia: SAS Planet y QGIS.

La modificación consistió primeramente en seleccionar 10 de los 46 indicadores de función, estructura y condicionadores de cambio; insertando indicadores según intereses de la investigación y modificando los 10 seleccionados en función de su viabilidad. Se incluye la presencia de cianobacterias (microbiota), como parte de los indicadores de función del ecosistema, considerando reportes previos de floraciones de estos microorganismos en la zona costera del suroriente de Cuba, donde se realiza este estudio; ¹⁶⁻¹⁹ se incluye además la presencia de especies tóxicas y diazótrofes. Se sustituye la abundancia de *Diadema*, por su presencia en los indicadores de función, específicamente en herbivoría.

Entre los elementos abióticos se inserta el cálculo del índice trófico a partir de la clorofila *a* en cada localidad según; ²⁰ así como la presencia de macrobasura en el agua entre los indicadores desarrollo turístico y costero, y la diversidad de especies de interés pesquero en el acápite de pesca, sustituyendo las pesquerías certificadas. Se trabaja en total con 17 indicadores. La determinación de la diversidad de corales, peces y erizos se realizó *in situ*, a través del recuento del número de especies de corales, por inspección visual. ^{3, 21-23} La nomenclatura taxonómica de las especies se actualizó a partir de la base WoRMS.

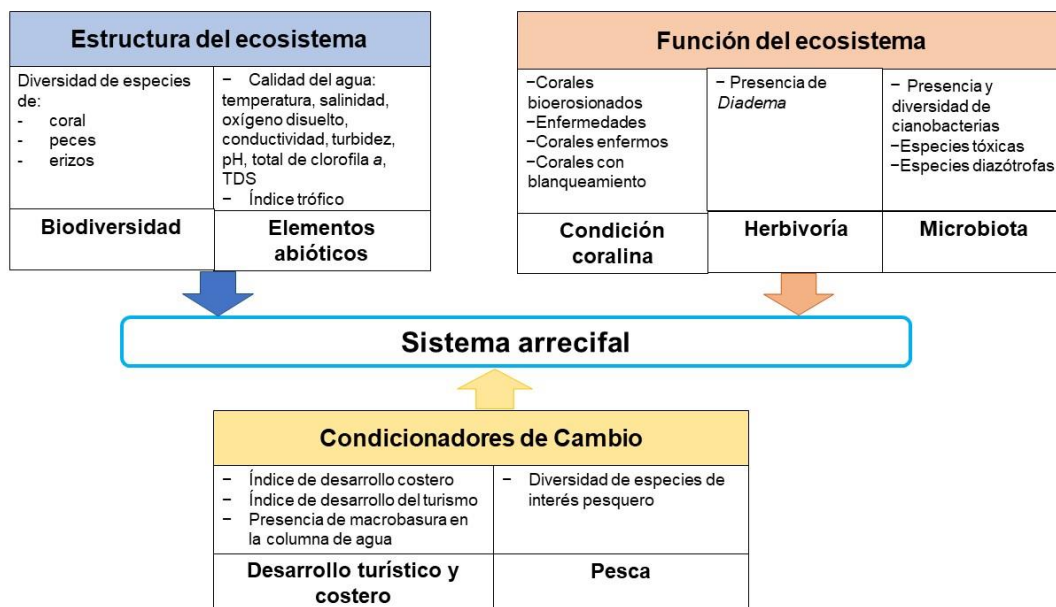


Figura 2. Indicadores de salud del arrecife; basado en de McField y Kramer ¹⁵ modificado.

En el caso de la calidad del agua se miden las siguientes variables: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, pH, y total de sólidos disueltos (TDS) medidos con una sonda multiparamétrica YSI ProDSS. La clorofila *a*, se midió con un fluorómetro AlgaTorch (Holanda), al igual que los cianopigmentos. Se utiliza para obtener los valores de clorofila *a* *in vivo* el factor de

corrección específico equivalente a 6,9.²⁴ En el caso de las muestras de agua, se recolectaron muestras integradas de 50 cm de la columna de agua, en cada biotopo, en zonas cercanas a los corales analizados, utilizando recipientes de polietileno de boca ancha con tapa de rosca (250 mL). Estos fueron transportados al laboratorio en completa oscuridad para la realización de los análisis ambientales y la identificación de cianobacterias en agua.²⁵⁻²⁷ Se tomaron tres muestras por localidad en cada muestreo.

Para determinar los indicadores condicionadores de cambio seleccionados se delimitó previamente la zona costera, considerando los criterios establecidos por el Decreto Ley 2-12, para el ecosistema playa, con un límite hacia tierra (aproximadamente 40 m). En el caso de Siboney (biotopo de camellones) fue considerado el vial como límite físico.²⁸ El índice de desarrollo costero y el de desarrollo del turismo se calcularon mediante el porcentaje de ocupación de la zona y el porcentaje relativo de ocupación de infraestructura para el turismo, respectivamente. Los cálculos se realizaron mediante el uso de la base de datos SAS Planet y el Sistema de Información Geográfica (QGIS).

El grado de contaminación por macrobasuras se determinó en la columna de agua por recuento del número de ítems en volúmenes de 1 m³. Se analizaron y promediaron los resultados de al menos 10 volúmenes, cuidando de colocar al menos el 30% encima de los biotopos analizados. Para la identificación de ítems se siguió la metodología europea, insertando plásticos, vidrio, metal, madera y otros residuos.²⁹ Los muestreos se realizaron en ambos períodos climáticos; durante los meses de enero, marzo (poco lluvioso); junio y octubre (lluvioso) de 2022.³⁰ Debido a la poca profundidad del área de estudio, estos se realizaron mediante buceo autónomo³¹ por raspado y succión con jeringas plásticas, en un área aproximada de 1 cm² por muestra, por triplicado, en al menos dos zonas seleccionadas de cada especie de coral. Las muestras se conservaron en fresco, transfiriéndolas a viales debidamente rotulados. Las anotaciones se efectuaron en tablillas apropiadas para la escritura bajo el agua, seleccionando diferentes especies de coral en cada biotopo, y anotando debidamente las características observadas.

Para la identificación de las especies de cianobacterias se realizan observaciones por microscopía óptica. Se realizó la identificación hasta especie siempre que fue posible, utilizando varios criterios taxonómicos;³²⁻³⁶ clasificándolas en tóxicas y diazótrofes, para lo que se consultaron varios autores.³⁷⁻³⁹ Se realizaron mediciones, con un ocular calibrado y una reglilla micrométrica, utilizando de forma complementaria el programa Imagen J, además de un registro fotográfico de las muestras observadas.

Con el fin de determinar las especies bioindicadoras se realiza un análisis de conglomerado utilizando la similitud de Bray-Curtis que arrojó una matriz de similaridad a partir de la que se construyó un fonograma, considerando la presencia de cianobacterias por especies de coral y su estado de salud. Para el análisis y procesamiento de los datos, se empleó el programa PRIMER V6, visualizando gráficamente las similitudes entre las especies de cianobacterias presentes para cada especie de coral, a partir de lo que se realiza la selección de especies bioindicadoras.

Resultados

Se evaluaron 17 indicadores según la metodología previamente descrita; 5 de estructura del arrecife, 8 correspondientes a la función y 4 a los condicionadores de cambios ¹⁵ (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen comparativo de los indicadores que determinan la salud de los biotopos.

Indicadores de Estructura	Biotopo de Camellones	Biotopo Plano rocoso
Diversidad de corales (No. de especies)	10	14
Diversidad de peces (No. de especies)	10	10
Diversidad de erizos (No. de especies)	1	5
Calidad del agua		
Temperatura (°C)	25,09±2,00	26,01±2,00
Salinidad (psu)	33,00 ±0,09	35,40±0,10
Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)	5,40±0,03	6,54 ±0,02
Conductividad (µScm ⁻¹)	133,00 ±1,00	55,40 ±0,10
Turbidez (FTU)	409,60 ±12,00	417,60±2,00
pH	7,96±0,02	7,86±0,01
Total de clorofila <i>a</i> (µgL ⁻¹)	0,10 ±0,01	0,30 µgL ⁻¹ ±0,02
Cianopigmentos (µgL ⁻¹)	0,001±0,01	0,000±0,00
TDS (mgL ⁻¹)	665,00 ±11,01	27,70 ±5,10
Índice trófico	18,79±1,31	8,01±2,70
Condicionadores de cambio		
Índice de desarrollo costero (% ocupación)	76	39
Índice de desarrollo de turismo (% ocupación)	40	28
Grado de contaminación x macrobasura en la columna de agua (No. ítems.m ⁻³)	8	0
Diversidad de especies de interés pesquero	5	3
Indicadores de Función		
Enfermedades	banda blanca, banda negra	banda blanca
No. de individuos con enfermedades (banda blanca, banda negra)	12	2
No. de individuos con blanqueamiento	16	4
No. de corales bioerosionados	1	1
Cianobacterias (No. especies)	19	13

Se identificaron en total 14 especies de corales, de ellas dos pertenecen a la clase Hydrozoa (*M. cervicornis* y *M. complanata*) y el resto a la clase Anthozoa; dentro de esta última, 9 especies pertenecen a la subclase Hexacoralia y tres a la subclase Octocoralia. De estas especies 10 se observaron en camellones y las 14 en el plano rocoso (Tabla 2). El biotopo de tipo camellón se encuentra perpendicular a la costa, a una profundidad variable de 50 cm a 10 m. en él se identifican los géneros *Agaricia*, *Diploria*, *Favia*, *Millepora*, *Monstraster*, *Porites* y *Pseudodiploria*; mientras que en Aguadores (biotopo plano rocoso), además de los géneros antes mencionados, se observan: *Plexaura* y *Siderastrea*.

Tabla 2. Lista de especies de corales en las localidades de estudio.

Corales		Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso	
Hydrozoa				
	<i>Millepora complanata</i>	x	x	
	<i>Millepora cervicornis</i>	x	x	
Anthozoa				
Respecto a la listado de las presenta en la tabla 3. especies de peces en con 6 especies poblaciones de peces comercial de las Haemulidae, Ostraciidae,	<i>Acropora cervicornis</i>	x	x	ictiofauna, el
	<i>Acropora palmata</i>	x	x	especies se
	<i>Agaricia agaricites</i>	x	x	Se identificaron 10
	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	x	x	cada localidad,
	<i>Gorgonia flavellum</i>	x	x	comunes. Existen
	<i>Montastraea cavernosa</i>		x	de interés
	<i>Montastraea annularis</i>	x	x	
	<i>Plexaura flexuosa</i>		x	familias
	<i>Plexaura homomala</i>		x	
	<i>Porites atreoides</i>	x	x	Gerriidae,
	<i>Porites porites</i>	x	x	
	<i>Siderastrea siderea</i>		x	Scaridae,

Serranidae, que representan el 50% de las especies identificadas, siendo una común para ambas localidades (*Sparisoma viridis*).

Tabla 3. Lista de especies de peces por localidades.

Peces	Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso
<i>Abudefdux saxatilis</i> (Pomacentridae)	x	x
<i>Abudefdux taurux</i> (Pomacentridae)		x
<i>Acanthurus bahianus</i> (Acanthuridae)	x	
<i>Acanthurus coeruleus</i> (Acanthuridae)	x	
<i>Chromis cynea</i> (Pomacentridae)	x	
<i>Epinephelus guttatus</i> (Serranidae)*	x	
<i>Gerres cinereus</i> (Gerrenidae)*		x
<i>Haemulon flavolinatum</i> (Haemulidae)*		x

<i>Laptophrys trigonus</i> (Ostraciidae)*		x
<i>Pomacanthus arcuatus</i> (Pomacanthidae)	x	x
<i>Pomacanthus paru</i> (Pomacentridae)	x	x
<i>Sparisoma viridis</i> (Scaridae)*	x	x
<i>Stegastes partitus</i> (Pomacentridae)	x	x
<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Labridae)	x	x

(*) Peces de interés comercial.

En relación con los equinodermos se hace énfasis en los erizos, debido a su papel en la herbivoría, como controladores biológicos. El listado de las especies de erizos se presenta en la tabla 4. En biotopo plano rocoso se observó, además, de la presencia *E. lucunter*, *E. viridis*, *Arbacia punctulata*, *Eucidaris tribuloides*, y *D. antillarum*,

Tabla 4. Lista de especies de erizos por localidades de muestreo.

Erizos	Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso
<i>Diadema antillarum</i>	x	x
<i>Echinometra lucunter</i>		x
<i>Echinometra viridis</i>		x
<i>Arbacia punctulata</i>		x
<i>Eucidaris tribuloides</i>		x

Respecto a los análisis de calidad del agua la temperatura promedio fue de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, sin que existieran variaciones significativas para este parámetro entre las localidades ($p < 0,05$). La salinidad en el plano rocoso fue superior a la de camellones ($35,40 \pm 0,10$ vs $33,00 \pm 0,09$ psu). Sin embargo, los valores de conductividad fueron mayores en el camellón respecto al plano rocoso ($133 \pm 1,00$ vs $55,40 \pm 0,10$ μScm^{-1}). El oxígeno disuelto varió de $5,40 \pm 0,03$ mgL^{-1} en la localidad de camellones a $6,54 \pm 0,02$ mgL^{-1} en el plano rocoso. En cuanto a la turbidez se obtuvieron valores discretamente mayores en el plano rocoso ($417,60 \pm 2,00$ FTU) respecto al camellón ($409,60 \pm 12,00$ FTU). El pH fue de $7,96 \pm 0,002$ en los camellones, mientras que en el plano rocoso fue de $7,86 \pm 0,001$, valores prácticamente similares. Por último, se determinaron los valores de sólidos totales disueltos (TSD, por sus siglas en inglés) con valores de $665,00 \pm 11,01$ mgL^{-1} para el biotopo de camellón y $27,70 \pm 5,10$ mgL^{-1} para el plano rocoso. El índice trófico en el plano rocoso fue de $8,01 \pm 2,70$, mientras que en el camellón fue 2,25 veces mayor ($18,79 \pm 1,31$).

Es importante considerar que la zona donde se ubica el biotopo de camellón tiene un 76% de desarrollo costero, con una importante presión de uso. En el plano rocoso este porcentaje es 1,95 veces menor (39%) que, en el camellón. En cuanto al índice de desarrollo del turismo este fue de 40% y 28% para el camellón y el plano rocoso, respectivamente. Respecto al grado de contaminación por macrobasura, en el biotopo de camellón se contaron en promedio 8 ítems por cuadrante muestreado;

con presencia mayoritaria (90%) de plásticos (bolsas de plásticos, fragmentos, recipientes varios); además de madera, tela, envases metálicos, fibras y vidrio (10%).

Por último, se analizan los indicadores de función. En ambas localidades se identifican enfermedades de los corales. En el camellón la banda blanca (12 individuos) y la banda negra (1 individuo) y en el plano rocoso solo la banda blanca (2 individuos). La condición coralina; por tanto, está más afectada en el biotopo de camelones, donde, además, se identifica mortalidad reciente en *P. astreoides*. El número de individuos enfermos fue mayor en el camellón respecto al plano rocoso (12 vs 2) así como aquellos con blanqueamiento (16 vs 4). La bioerosión se comportó de igual manera; solo se encontró un individuo en cada biotopo.

Se muestrearon en total 39 corales; 19 en el camellón (49%) (10 en periodo poco lluvioso y 9 en periodo lluvioso) y 20 en el plano rocoso (51%) (10 en cada periodo). Del total, 24 corales estaban sanos (62%); muestreándose 12 en cada biotopo (50%, respectivamente). La banda blanca se encontró en 4 de los corales muestreados (10%); muestreándose 2 en cada localidad. Los corales bioerosionados representaron en 5% (2) muestreándose 1 en cada localidad. El 20% corresponde a corales con blanqueamiento (8), muestreándose 4 en cada localidad. Sólo se muestrea 1 coral muerto (3%) que corresponde al biotopo camellón, al no identificarse corales muertos en el plano rocoso.

De los corales muestreados se observó la banda blanca (BB) sobre *D. labyrinthiformis* y *P. astreoides* en el camellón, mientras que en el plano rocoso esta enfermedad se encontró en *A. palmata* y *S. siderea*. La banda negra (BN) fue identificada solamente en el camellón sobre *D. labyrinthiformis*, que al encontrarse en la base de este no se consideró entre los corales muestreados. Las enfermedades emergentes como la BN y BB han sido frecuentes en corales del género *Acropora*, *Diploria* y *Millepora* lo que se asocia fundamentalmente al estrés ambiental.

En el caso del blanqueamiento, en el camellón se detectó en *A. agaricites*, *D. labyrinthiformis* y *M. annularis*. En el plano rocoso se observó en *D. labyrinthiformis*, *Millepora complanata* y *Montastraea annularis*. Por otra parte, los corales bioerosionados fueron *A. complanata* y *D. labyrinthiformis*, en el biotopo plano rocoso y en el de camellón, respectivamente.

Para el análisis de cianobacterias, en el camellón se muestrearon 19 individuos de las especies *A. agaricites*, *A. cervicornis*, *A. palmata*, *D. labyrinthiformis*, *Montastraea annularis*, *Millepora complanata*, *P. astreoides* y *P. porites*. En el plano rocoso, se muestrearon 20 individuos de estas especies, incluidas, además, *Montastraea cavernosa* y *S. siderea*. En total se identificaron sobre estas especies de coral en ambos periodos climáticos y en ambos biotopos 22 especies de cianobacterias

perteneciente a 19 géneros (Tabla 5); de ellas 15 tóxicas y 10 diazótrofes; solo 8 (36%) tienen ambas condiciones.

En el camellón se identifican 19 especies (86%) de cianobacterias, pertenecientes a 17 géneros, 14 de ellas tóxicas y 9 diazótrofes; 7 (37%) con ambas condiciones. En el plano rocoso se identifican 13 especies (59%), pertenecientes a 12 géneros; de ellas 7 tóxicas y 2 diazótrofes, siendo todas las diazótrofes tóxicas (15%). La mayor diversidad de cianobacterias se encontró en los géneros de *Diploria*, *Montrastrea* y *Porites*, siendo la especie *D. labyrinthiformis* la que permitió identificar la mayor cantidad de cianobacterias.

Tabla 5. Especies de cianobacterias identificadas en los diferentes géneros de corales muestreados.

Cianobacterias	<i>Acropora</i>	<i>Agaricia</i>	<i>Diploria</i>	<i>Millepora</i>	<i>Porites</i>	<i>Montastraea</i>	<i>Siderastrea</i>
	Biotopo de camellones						
	n= 3	n= 1	n= 4	n= 3	n= 5	n= 3	
	Biotopo plano rocoso						
	n= 4	n= 2	n= 3	n= 4	n= 1	n= 4	n= 2
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}					x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t		x				x	x
<i>Aphanotace clathrata</i> ^t			x				
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x		x	x		x	x
<i>Chroococcus limneticus</i> ^t			x	x	x	x	
<i>Cyanosarcina</i> sp.			x	x	x	x	
<i>Diplococcus</i> sp.		x				x	X
<i>Hormogonium</i> sp.			x				
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}						x	
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}			x		x		
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}		x					
<i>Microcystis</i> sp. ^t							X
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}			x		x		
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}					x		
<i>Pseudoscillatoria corallii</i> ^{t,d}	x				x	x	
<i>Phormidium</i> sp. ^t		x					
<i>Radiocystis</i> sp. ^t	x		x				
<i>Romeria simplex</i>				x			
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}	x						
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x	x	x		x	X
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x	x	x	x	x	X
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d					x		
Total de cianobacterias	6	6	10	6	9	9	6

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

El listado de especies por localidades y periodos climáticos se muestra en la tabla 6. La presencia de las especies de cianobacterias *A. minutissima*, *Chroococcus* sp., *Synechococcus* sp. y *Synechocystis* sp. fue estable espacial y temporalmente, con un 100% de frecuencia.

Aphanocapsa sp. y *Diplococcus* sp. se encontraron en ambos bioropos en el periodo lluvioso, y *Cyanosarcina* sp. en el periodo poco lluvioso. Se encontraron solo en el camellón *A. torulosa*, *A. clarthrata*, *Leptolyngbya* sp., *O. limosa*, *Pseudoscillatoria coralli*, *Radiocystis* sp. y *R. reptotaenium*, mientras que *Microcystis* sp. aparece solo en el plano rocoso.

Tabla 6. Especies de cianobacterias por localidades y periodo lluvioso.

Cianobacterias	Biotopos			
	Camellones Corales n=19		Plano rocoso Corales n= 20	
	Lluvioso n=10	Poco Lluvioso n=9	Lluvioso n=10	Poco Lluvioso n=10
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}		x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t	x		x	
<i>Aphanotece clarthrata</i> ^t	x			
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x	x	x	x
<i>Chroococcus limneticus</i> ^t	x	x	x	x
<i>Cyanosarcina</i> sp.		x		x
<i>Diplococcus</i> sp.	x		x	
<i>Hormogonium</i> sp.	x			
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}		x		
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}				x
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}	x		x	x
<i>Microcystis</i> sp. ^t				x
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}	x	x		
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}		x	x	
<i>Pseudoscillatoria coralli</i> ^{t,d}		x		
<i>Phormidium</i> sp. ^t	x		x	x
<i>Radiocystis</i> sp. ^t				x
<i>Romeria simplex</i>	x			
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}		x		
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x	x	x
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x	x	x
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d	x			
Total de cianobacterias	13	11	9	10

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

En la tabla 7 se muestran las especies de cianobacterias según la condición de salud de los corales. La mayor diversidad de cianobacterias se encontró en corales blanqueados (11) y sanos (10) mientras que los corales muertos (6) y bioerosionados (6) se encontró la menor cantidad de especies.

En especies de corales sanos se encontraron *A. clarthrata*, *Cyanosarcina* sp., *Radiocystis* sp., *R. reptotaenium* y *Tolypothrix* sp.; especies que no se encuentran en corales enfermos ni muertos. En los corales muertos se encontraron las especies *Pseudoscillatoria coralii* y *A. torulosa*; mientras que en corales blanqueados están presente *Leptolyngbya* sp. y *R. simplex*, y en los bioerosionados *L. majuscula*; especies que no están presentes en corales con otras patologías. En corales muertos o enfermos es frecuente encontrar *O. limosa*, *Oscillatoria agardhii* y *Phormidium* sp. *Aphanotece minutissima* no parece ser específica para una condición de salud puesto que se identifica tanto en corales sanos como enfermos, bioerosionados, o con blanqueamiento. *Synechococcus* sp. se identificó solamente en corales sanos y bioerosionados.

Tabla 7. Distribución de las especies de cianobacteria de acuerdo con la condición de los corales.

Cianobacterias	Estado de los corales				
	Sanos n=24	BB n=4	Muertos n=2	Bioerosionados n=2	Blanqueamiento n=8
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}			x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t		x			X
<i>Aphanotece clarthrata</i> ^t	x				
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x	x	x	x	X
<i>Chroococcus limneticus</i> ^t	x	x		x	X
<i>Cyanosarcina</i> sp.	x				
<i>Diplococcus</i> sp.	x	x			X
<i>Hormogonium</i> sp.		x			
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}					X
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}				x	
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}				x	X
<i>Microcystis</i> sp. ^t		x			
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}			x	x	
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}			x		X
<i>Pseudoscillatoria coralii</i> ^{t,d}			x		
<i>Phormidium</i> sp. ^t			x		X
<i>Radiocystis</i> sp. ^t	x				
<i>Romeria simplex</i>					X
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}	x				
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x		x	X
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x			X
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d	x				
Total	10	8	6	6	11

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

En corales muertos se encuentra *Phormidium* sp. también presente en algunos bioerosionados, resultando esta una especie con potencial para la bioindicación de la condición de muerte en estos organismos. En especímenes sanos del coral *Porites atreoides* se encontró *Cyanosarcina* sp.; mientras

que en los enfermos o muertos se identifican los géneros de cianobacterias filamentosas *Anabaena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Pseudoscillatoria* y *Phormidium*.

En los especímenes sanos de *A. agaricites*, se identifican *L. majuscula*, *Radiocystis* sp. y *Synechococcus* sp. En uno de estos especímenes sanos no se encontraron cianobacterias; lo que también sucedió en uno de los especímenes de *A. palmata* mientras que en el otro se identificó la presencia de *R. reptotaenium*. En *D. labyrinthiformis* con blanqueamiento aparece solo *Aphanothece minutissima*. En los corales enfermos con banda blanca se suman los géneros *Chroococcus* y *Cyanosarcina*.

Se realizó un análisis de conglomerado para determinar el grado de asociación de las cianobacterias basado en la similitud Bray Curtis, con el propósito de confirmar la presencia de especies bioindicadoras (Figura 3). Este grupo se asocia con un 80 % de similitud al formado por *R. simplex* y *Leptolyngbya* sp. especies presentes en corales blanqueados. Sobresale un primer clado con cianobacterias estacionalmente estables, con un 100% de similitud (*Cyanosarcina* sp., *A. clathrata*, *Tolipothrix* sp., *R. reptotaenium* y *Radiocystis* sp.). Estas especies se presentan en corales tanto enfermos como sanos, por lo que no se consideran indicadores biológicos del estado de la condición coralina.

Existe otro grupo con más del 50 % de similitud: *A. torulosa*, *Hormogonium* sp., *Leptolyngbya* sp., *Lyngbya* sp., *L. majuscula*, *Microcystis* sp., *Phormidium* sp., *O. limosa*, *Oscillatoria agardhii*, *Pseudoscillatoria coralii* y *R. simplex*; estas destacan como especies bioindicadoras de corales enfermos. Excepto *R. simplex*, el resto son consideradas tóxicas. Respecto a la fijación del nitrógeno excepto *Microcystis* sp., *Phormidium* sp., y *R. simplex*, el resto son diazótrofes. En el caso de *A. torulosa* y *Pseudoscillatoria coralii* existe un 100% de similitud, estas especies parecen ser indicadoras de corales muertos.

Otro grupo estuvo formado por *Oscillatoria agardhii* y *Phormidium* sp. (100% de similitud) especies presentes en corales enfermos. Al respecto existen antecedentes que demuestran la presencia *Phormidium corallyticum* en consorcios microbianos asociados a la BB en el Caribe; ⁴⁰ explicándose que la enfermedad podría provocar el posterior blanqueamiento por pérdida de zooxantellas, y la muerte. El 51% de las especies de cianobacterias identificadas tienen potencial para la bioindicación, siendo las bioindicadoras de especies enfermas las que presentan mayor diversidad. Las cianobacterias presentes en corales bioerosionados, blanqueados y muerto representan el 41%. El patrón de cianobacterias es diferente para cada localidad y período climático, si bien algunas especies son espacial o estacionalmente estables (Tabla 8).

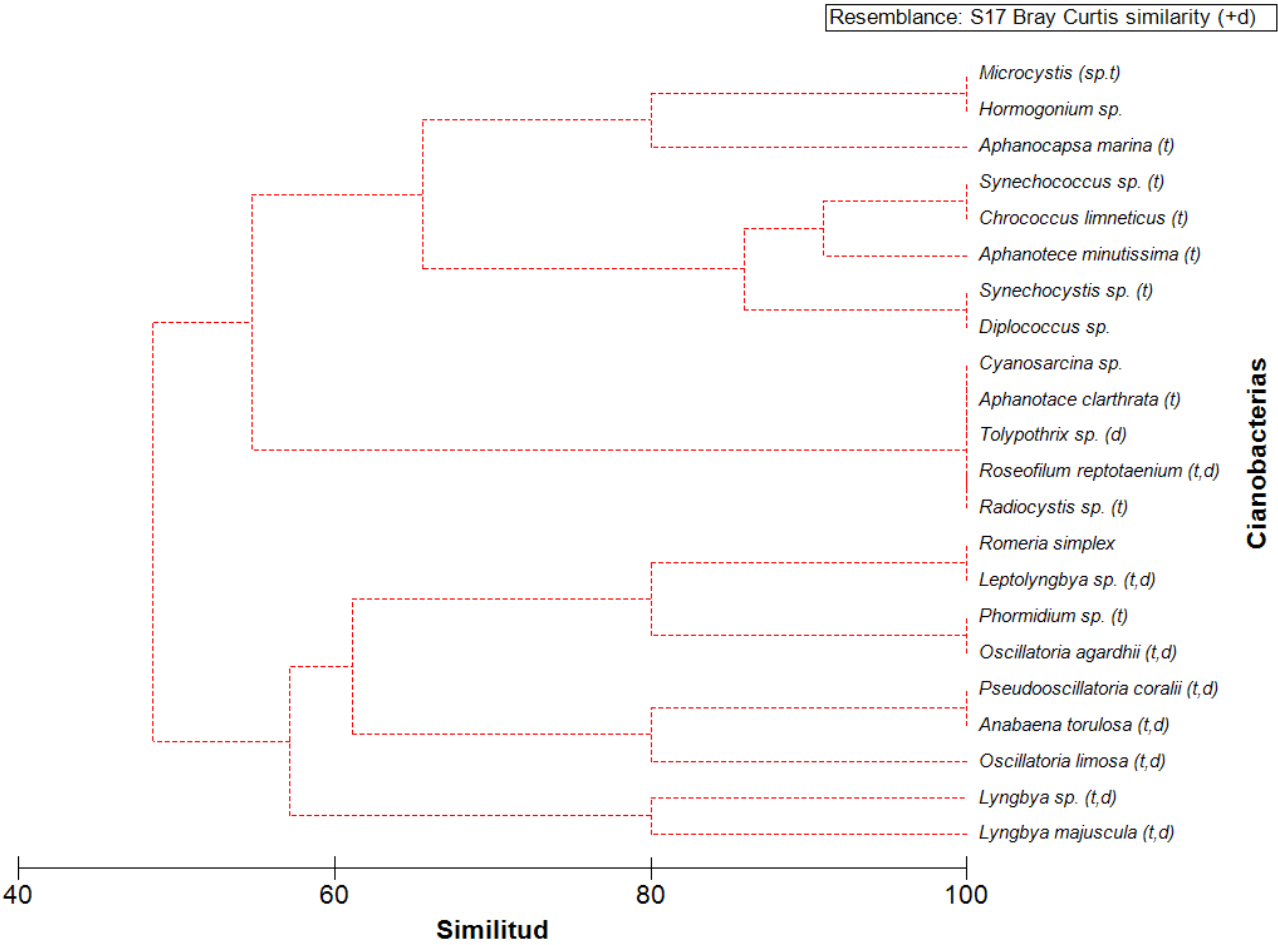


Figura 3. Análisis de conglomerado basado en la similitud de Bray Curtis de las especies de cianobacterias presentes, en relación con la condición coralina.

Tabla 8. Especies de cianobacterias bioindicadoras de enfermedades y/o muerte por período climático y localidad y cianobacterias bioindicadoras de corales sanos.

Cianobacterias	Biotopos			
	camellones		plano-rocoso	
	Lluvioso	Poco Lluvioso	Lluvioso	Poco Lluvioso
Anabaena torulosa		x		
Leptolyngbya sp.		x		
Lyngbya majuscula				x
Lyngbya sp.	x		x	x
Oscillatoria limosa	x	x		
Oscillatoria agardhii		x	x	
Pseudoscillatoria coralii		x		
Phormidium sp.	x		x	x

<i>Romeria simplex</i>	x			
Total	4	5	3	3
Tóxicas	3	5	3	3
Diazótrofas	2	5	2	3
Total	8	4		
Biotopos				
Cianobacterias	camellones		camellones	
	Lluvioso	Poco Lluvioso	Lluvioso	Poco Lluvioso
<i>Aphanotace clathrata</i>	x			
<i>Cyanosarcina</i> sp.		x		x
<i>Radiocystis</i> sp.				x
<i>Tolypothrix</i> sp.	x			
Total	2	1	0	2
Tóxicas	1	0	0	0
Diazótrofas	1	0	0	1

Discusión

Los resultados demuestran la heterogeneidad de los biotopos seleccionados, siendo mayor la diversidad de corales en el plano rocoso. Existen diferencias en la diversidad de especies identificadas para ambos periodos climáticos en los dos biotopos, siendo mayor la diversidad en el periodo lluvioso en el camellón, y en el poco lluvioso para el plano rocoso. Es importante considerar que en los océanos de todo el mundo prevalece *Synechococcus* sp. y se estima que tiene una abundancia máxima de 40 000 células mL⁻¹ en el Océano Pacífico. La expansión de esta especie durante la última década se ha atribuido a su importante variación genética, siendo notorio que no se identifique en corales blanqueados o enfermos por lo que parece ser un bioindicador de corales sanos que puede estar presente también en corales bioerosionados.

Phormidium sp. resultó una especie con potencial para la bioindicación de la condición de muerte en estos organismos. Esta cianobacteria produce formidolida, compuesto que tiene actividad inhibidora de proteínas ⁴¹. *Anabaena* es considerada un bioindicador; se ha encontrado en especies muertas o enfermas de corales en el Pacífico Sur. Por otra parte, la presencia de *L. majuscula* puede ser un indicador enfermedad o muerte; las floraciones de esta cianobacterias pueden crear tapetes que cubren el sustrato donde crecen, creando un efecto de cobertura dañino que incluso puede crear condiciones

anóxicas,⁴² de lo que se infiere que el coral donde esta especie está presente podría estar en riesgo de enfermarse.

La especie *R. reptotaenium* ha sido asociada en el Caribe a especies enfermas con banda negra.³⁶ Cabe destacar que cercano al área de muestreo en Siboney (biotopo de camellones) se visualizaron especies de coral con banda negra, lo que pudiera ser un indicador de que el individuo de *A. palmata*, en el cual se encontró la cianobacteria, podría estar transitando hacia esta enfermedad. Las evidencias indican que las cianobacterias filamentosas podrían ser bioindicadores potenciales para estimar la salud de los corales. Las evidencias indican que la mayoría de las especies bioindicadoras de una condición de salud coralina comprometida son tóxicas y/o diazótrofes.

Los resultados obtenidos con *A. torulosa* y *Pseudoscillatoria coralii* coinciden con resultados previos que asocian el género *Anabaena* con la propagación de enfermedades en *Millepora* considerándolo un patógeno para estas especies.⁴³ Por otra parte, se ha asociado el género *Anabaena* a especies con blanqueamiento de *Montastraea* y *Acropora* en el Caribe;⁴⁴ patogenicidad que puede estar relacionada con valores relativamente bajos de pH (pH = 7,3), estrés térmico y a la presencia de algas coralinas incrustantes.⁴⁵

El comportamiento en las diferentes localidades que puede estar relacionado con las presiones antrópicas y la calidad ambiental. La diversidad de cianobacterias puede estar relacionada con la contaminación. Estudios realizados con antelación por otros autores han revelado que la conductividad se correlacionó positivamente con taxones productores de microcistina, como *Microcystis aeruginosa*. La conductividad se considera una de las variables más influyentes en la composición de las especies de cianobacterias; algunos factores solo se vuelven relevantes a baja temperatura del agua y alta conductividad, lo que sugiere la importancia de este parámetro en los análisis de la concentración de cianobacterias, y la producción de cianotoxinas. Algunos estudios han demostrado influencia de este parámetro, combinado con menor precipitación y mayor temperatura del agua, en el crecimiento y composición de cianobacterias, principalmente *Microcystis* sp.⁴⁶

Las cianobacterias están entre los microorganismos más utilizados en la bioindicación, debido a su amplia distribución y por ser responsables de gran parte de la biomasa, productividad y ciclo de nutrientes en los sistemas acuáticos. Estas tienen la capacidad de responder fácilmente a cualquier tipo de perturbación ambiental, así como a cambios físicos, químicos y bióticos que puedan presentarse.⁴⁷ Sus poblaciones presentan cualidades propias de un indicador biológico y pueden no solo ser empleadas en la bioindicación de la calidad del agua, sino también de ciertas características

tales como estratificación, turbulencia, presencia de determinados iones, entre otros, factores fácilmente detectados a través del uso de especies adaptadas a tales condiciones.⁴⁸

Algunos géneros de cianobacterias están mejor distribuidos que otros. *Lyngbya*, *Microcystis* y *Synechococcus* son algunos géneros de cianobacterias que colonizan ambientes con mayor facilidad, por su fácil dispersión. Especies como *L. majuscula* y *L. wollei* son cada vez más reportadas como colonizadores agresivos de nuevos entornos.^{49, 50} Recientemente se ha reportado una expansión geográfica global de la cianobacteria tóxica *Microcystis* sp., con floraciones en más de 108 países.⁵¹ Deben considerarse entonces aspectos relacionados con el monitoreo y la vigilancia de estos microorganismos⁵² en los ecosistemas acuáticos.

Microcystis al igual que *Anabaena*, *Synechococcus* y *Leptolyngbya* son géneros de cianobacterias transportados comúnmente a través del aire, animales, aguas de lastre, balsas de macrobasura y desechos plásticos. Por otra parte, su crecimiento se favorece por el aumento de las temperaturas al igual que su propagación y colonización. Por lo tanto, resulta crucial comprender las posibles rutas de dispersión de las cianobacterias a través del mar, el aire o la tierra para mitigar su propagación;⁵³ así como los impactos de su presencia en diferentes ecosistemas y biotopos.

La descripción de muchas enfermedades de los corales a menudo se confunde por la falta de criterios de diagnóstico claros, por lo que pueden surgir signos de enfermedades similares en múltiples especies; mientras que un patógeno putativo solo se ha verificado para una o un subconjunto de especies.⁵³ El hecho de tener especies bioindicadoras para determinadas condiciones de salud coralina puede devenir en métodos confirmativos complementarios cuando se evalúa la salud de estos ecosistemas. Las diferencias en la calidad ambiental de los biotopos ubicados en las dos localidades de estudio son evidentes. Aguadores (biotopo plano-rocoso) presenta mejores condiciones ambientales, lo que se infiere a partir de los resultados de los condicionadores de cambio y de estructura. Siboney (biotopo de camellones) presenta una calidad ambiental comprometida, debido a las presiones antrópicas que recibe, lo que se hace evidente en los indicadores de estructura y condicionadores de cambio, repercutiendo en los de función.

La calidad ambiental de las localidades influye en la presencia de especies cianobacterias, siendo Siboney la localidad donde se identifican mayor presencia de cianobacterias, así como de especies tóxicas y diazótrofes. Entre estas especies pueden mencionarse *A. torulosa*, *Leptolyngbya* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria agardhii*, *O. limosa*, *Pseudoscillatoria coralii*, y *Rosefilum reptotaenium*, las que tienen doble condición; identificadas todas, mientras que en Aguadores solo se identifican dos: *Lyngbya* sp. y *L. majuscula*. La contaminación parece tener un papel relevante en la presencia de

cianobacterias bentónicas asociadas a corales en los diferentes biotopos estudiados; si bien la influencia de las actividades antropogénicas está en discusión, es indiscutible su distribución y transporte vía tráfico marítimo o por las balsas de plástico;⁵² por lo que la presencia de macrobasura plástica en Siboney puede tener relación con su mayor presencia en esta localidad.

Los géneros de cianobacterias bentónicas se asientan fácilmente en las superficies plásticas, lo que hace que estos desechos marinos sean un modo efectivo para su transporte,^{55, 56} y puede contribuir a la diversidad de especies. La presencia de microplásticos puede asociarse incluso al aumento de las especies tóxicas.⁵⁷ Si bien el aumento de especies tóxicas de cianobacterias en los arrecifes se ha asociado al cambio climático,⁴ también existe una relación con la calidad ambiental de las localidades y biotopos, a lo que sumaría el análisis de la presencia de cianobacterias nitro fijadoras.⁵ Las futuras líneas de investigación se centrarán en nuevos muestreos, principalmente en los corales afectados, para confirmar la presencia de estas cianobacterias.

Conclusiones

- El uso de cianobacterias como bioindicadoras del estado de salud de los corales demuestra ser una herramienta eficaz para evaluar la calidad ambiental y los impactos antrópicos en ecosistemas arrecifales.
- En los biotopos estudiados, se observaron diferencias significativas en la salud coralina: el biotopo plano rocoso presentó mejores condiciones ambientales y mayor diversidad coralina, mientras que el biotopo de camellones mostró mayor deterioro asociado a presiones antrópicas como contaminación por macrobasura y desarrollo costero.
- Las especies *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula*, *Oscillatoria agardhii* y *Pseudoscillatoria coralii* se identificaron como bioindicadoras de corales enfermos y/o muertos, mientras que *Aphanotece clathrata*, *Cyanosarcina* sp. y *Synechococcus* sp. se asociaron a corales sanos, lo que resalta su sensibilidad a los cambios ambientales.
- Las cianobacterias tóxicas y diazótrofes predominaron en el biotopo de camellones, evidenciando la relación entre presiones antrópicas y proliferación de estas especies.
- La inclusión de cianobacterias como indicadores en los programas de monitoreo de arrecifes puede aportar información clave para la conservación de estos ecosistemas en contextos de cambio climático y actividades humanas.

Contribución de los autores: "Conceptualización, L.G.L y L.D.P.; metodología, L.G.L y L.D.P.; uso de software, L.G.L y L.D.P.; análisis formal, L.G.L y L.D.P.; investigación, L.G.L y L.D.P.;

muestreos L.D.P.; recursos, L.G.L y L.D.P.; escritura original, L.G.L y L.D.P.; revisión y edición, L.G.L.; visualización, L.G.L y L.D.P.; supervisión, L.G.L.; administración de proyecto, L.G.L.; adquisición de fondos, L.G.L. Todos los autores del presente trabajo han leído el documento y están de acuerdo con la publicación de este.

Financiamiento: esta investigación ha sido desarrollada como parte del Proyecto “Potencial productivo, para la bioindicación, y toxicidad de especies cepas de microalgas y cianobacterias: efecto del CM y desarrollo de tecnologías con impacto ambiental” financiado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Oriente.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados

Referencias

1. Garren, M.; Azam, F. New directions in coral reef microbial ecology. *Environ Microbiol* **2012**,14(4),833-44. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02597.x>
2. Bourne, D.G.; Morrow, K.M.; Webster, N.S. Insights into the coral microbiome: underpinning the health and resilience of reef ecosystems. *Annu Rev Microbiol* **2016**,70, 317-40. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-102215-095440>
3. González-Ferrer, S. Corales pétreos: Jardines sumergidos de Cuba. 1ra ed.; Publ.: Editorial Academia: La Habana, Cuba, **2004**; 326 pp.
4. Paerl, H.W.; Paul, V.J. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Res* **2012**, 46(5), 1349-63. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>
5. Santos, H.F.; Carmo, F.L.; Duarte, G.; Dini-Andreote, F.; Castro, C.B.; Rosado, A.S.; et al. Climate change affects key nitrogen-fixing bacterial populations on coral reefs. *ISME J* **2014**, 8(11), 2272-9. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.70>
6. Gantar, M.; Kaczmarzsky, L.T.; Stanić, D.; Miller, A.W.; Richardson, L.L. Antibacterial activity of marine and black band disease cyanobacteria against coral-associated bacteria. *Mar Drugs* **2011**, 9(10) 2089-105. <https://doi.org/10.3390/md9102089>
7. Richardson, L.L.; Stanić, D.; May, A.; Brownell, A.; Gantar, M.; Campagna, S.R. Ecology and physiology of the pathogenic cyanobacterium *Roseofilum reptotaenium*. *Life* **2014**, 4(4), 968-87. <https://doi.org/10.3390/life4040968>

8. Pollock, F.J.; Morris, P.J.; Willis, B.L.; Bourne, D.G. The urgent need for robust coral disease diagnostics. *Plos Pathog* **2011**, 7(10), e1002183. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002183>
9. Richardson, L.L.; Miller, A.W.; Blackwelder, P.L.; Al-Sayegh, H. Cyanobacterial-associated colored-band diseases of the Atlantic/Caribbean. In: *Diseases of coral*; Cheryl, M.; Woodley, C.A.D.; Andrew, W.; Bruckner, J.; Porter, W.; Galloway, S.B. eds. Publisher: John Wiley & Sons Inc: John Wiley & Sons, USA, 2015; pp. 345-53.
10. Gantar, M.; Sekar, R.; Richardson, L.L. Cyanotoxins from black band disease of corals and from other coral reef environments. *Microb Ecol* **2009**, 58(4), 856-64. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9540-x>
11. Dioneda, Jr R.A.; Dioneda, Sr R.R. Status of coral reef on Malabungot protected landscape and seascape. *Kuroshio Sci* **2019**, 13(1), 49-52.
12. González-Díaz, P. Efecto acumulativo de agentes estresantes múltiples sobre los corales hermatípicos de la región noroccidental de Cuba. 1ra ed.; Publ.: Universidad de La Habana, La Habana Cuba, **2010**; 23-52 pp.
13. González-Díaz, P.; de la Guardia, E.; González-Sansón, G. Efecto de efluentes terrestres sobre las comunidades bentónicas de arrecifes coralinos de Ciudad de La Habana, Cuba. *Rev Invest Mar* **2003**, 24(3) 193-204.
14. Alcolado, P.M.; Caballero-Aragón, H.; Lara, A.; Rey-Villiers, N.; Arriaza, L.; Lugioyo, G.M.; *et al.* Resiliencia en crestas de arrecifes coralinos del este del golfo de Batabanó, Cuba, y factores determinantes probables. *Ser Oceanol* **2013**, 13, 49-75.
15. McField, M.; Kramer, P. Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region. M. Gorrez and M McPherson ed. Publ.: Healthy Reefs for Healthy People Initiative; Miami, FL., 2007; 57-69 pp.
16. Jover Capote, A.; Reyes de Armas, M.; Gómez Luna, L.M.; Suarez, A.M. Variación espacial y temporal de las macroalgas del mesolitoral rocoso en aguadores-Baconao. Cuba I: Composición. *Rev Inv Mar* **2012**, 32(1), 38-49.
17. Gomez-Luna, L. Primer reporte de *Oxyrrhis marina* Dujardin 1841 en la bahía de Guantánamo, Cuba. *Rev Inv Mar* **2014**, 34(1), 1-8.
18. Gomez-Luna, L. Primer reporte de *Prorocentrum micans* Ehrenberg 1833 asociado a un bloom mixto de *Ceratium lineatum* y *C. fusus*, en aguas de la bahía de Santiago de Cuba. *Rev Inv Mar* **2007**, 28(2), 177-9.

19. Gomez, L.; Díaz, U.; Fernández, A.; Licea, Y.; Álvarez, I. Floraciones algales nocivas en la bahía de Santiago de Cuba. IV Taller Internacional Contaminación y Protección del Medio Ambiente, CONYMA, Ciudad de La Habana, 2006.
20. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnol Oceanogr* **1977**, 22(2), 361-9. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
21. Mumby, P.J.; Hastings, A.; Edwards, H.J. Thresholds and the resilience of Caribbean coral reefs. *Nature* **2007**, 450, 7166, 98-101. <https://doi.org/10.1038/nature06252>
22. Zlatarski, V.; Martínez-Estalella, N. Los escleractinios de Cuba con datos sobre sus organismos asociados. Harte Res. Inst. for Gulf of Mexico Studies at Texas, A&M University Corpus Christi, **2018**, 471, 1.
23. Hendler, G.; Miller, J.; Pawson, D.; Kier, P. Sea stars, sea Urchins and allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean, Smithsonian Institutions Press, Washington DC, 1995.
24. Rodríguez-Tito, J.C.; Gómez-Luna, L.M. Estado trófico de 24 embalses de agua en el oriente de Cuba. *Rev Cub Quím* **2020**, 32(1), 136-53.
25. Gomez, L.; Álamo, B.; Rodríguez-Tito, J.C. Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba. *Medisan* **2010**, 14(2).
26. Gomez, L.; Álvarez, I.; Rodríguez-Tito, J.C. CUBA: Toxic cyanobacteria risk assessment, research and management. In: Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries, 2nd Edition, Chorus, I. ed. Publisher: Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, Germany) 2012. p. 40-48.
27. Gomez, L.; Asín, C.O.; Ortega, Y. Primer reporte de *Oxyrrhis marina* Dujardin 1841 en la bahía de Guantánamo, Cuba. *Rev Inv Mar* **2014**, 35(1).
28. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Decreto Ley 1-12 Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. MINJUS, La Habana; 2000, 65 pp.
29. Sánchez-García, N.; Sanz-Lázaro, C. Guía explicativa de etiquetas para la gestión de residuos, Dir: Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, España, rua.ua.es, <https://doi.org/10.1419/>, 2019; 18 pp.
30. Ortiz, B.P. Índices climáticos para la determinación y simulación de las señales de la variabilidad climática en diferentes escalas espacio temporales. *Rev Cub Meteorol* **2004**, 11(1), 41-52.

31. Paul, V.J.; Thacker, R.W.; Banks, K.; Golubic, S. Benthic cyanobacterial bloom impacts the reefs of South Florida (Broward County, USA). *Coral Reefs* **2005**, 24(4), 693-7. <https://doi.org/10.1007/s00338-005-0061-x>
32. Cronberg, G.; Annadotter, H. editors. Manual on aquatic cyanobacteria. A Photo guide and a synopsis of their toxicology. Publisher: IOC-UNESCO. ISSHA, Copenhagen, Denmark; 2006, 106 pp.
33. Zhu, M.L, Yu, G.L.; Li, X.C.; Tan, W.H.; Li, R.H. Taxonomic and phylogenetic evaluation of *Limnothrix* strains (Oscillatoriales, Cyanobacteria) by adding *Limnothrix planktonica* strains isolated from central China. *Hydrobiol* **2012**, 698(1), 367-74. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1127-8>
34. Suda, S.; Watanabe, M.M.; Otsuka, S.; Mahakahant, A.; Yongmanitchai, W.; Nopartnaraporn, N. *et al.* Taxonomic revision of water-bloom-forming species of oscillatoriid cyanobacteria. *Int J Syst Evol Micr* **2002**, 52, 1577-95. <https://doi.org/10.1099/00207713-52-5-1577>
35. Moreno, J.L.; Licea, S.Y.; Santoyo, H. editors. Diatomeas del Golfo de California: Ed. Universidad Autónoma de Baja California, USA. SEP-FOMES, 1996; 108 pp.
36. Casamatta, D.; Stanić, D.; Gantar, M.; Richardson, L.L. Characterization of *Roseofilum reptotaenium* (Oscillatoriales, Cyanobacteria) isolated from Caribbean black band disease. *Phycol* **2012**, 51(5), 489-99. <https://doi.org/10.2216/11-10.1>
37. AlgaeBase. Available online: www.algaebase.org (accessed on 17 04 2023).
38. Komárek, J. *Quo vadis*, taxonomy of cyanobacteria. *Fottea*. **2020**, 20(1), 104-10. <https://doi.org/10.5507/fot.2019.020>
39. Chorus, I. Introduction: Cyanotoxins-Research for Environmental Safety and Human Health. In: Cyanotoxins: occurrence, causes, consequences. Chorus I, editor. Publisher: Springer Science & Business Media, Berlín, Alemania, 2012; p 12-35.
40. Carlton, R.G.; Richardson, L.L. Oxygen and sulfide dynamics in a horizontally migrating cyanobacterial mat: black band disease of corals. *FEMS Microbiol Ecol* **1995**, 18(2), 155-62. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1995.tb00173.x>
41. Santos, H.F.; Duarte, G.; Dini-Andreote, F.; Castro, C.B.; Rosado, A.S. *et al.* Climate change affects key nitrogen-fixing bacterial populations on coral reefs. *ISME J* **2014**, 8(11), 2272-9. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.70>

42. Albert, S.; O'Neil, J.M.; Udy, J.W.; Ahern, K.S.; O'Sullivan, C.M.; Dennison, W.C. Blooms of the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* in coastal Queensland, Australia: disparate sites, common factors. *Mar Pollut Bull* **2005**, 51(1-4), 428-37. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.016>
43. Santos, H.F.; Carmo, F.L.; Martinez, N.; Duarte, G.A.; Calderon, E.N.; Castro, C.B.; *et al.* Cyanobacterial and microeukaryotic profiles of healthy, diseased, and dead *Millepora alcicornis* from the South Atlantic. *Dis Aquat Organ* **2016**, 119(2), 163-72. <https://doi.org/10.3354/dao02972>
44. Sunagawa, S.; DeSantis TZ, Piceno YM, Brodie EL, DeSalvo MK, Voolstra CR, *et al.* Bacterial diversity and White Plague Disease-associated community changes in the Caribbean coral *Montastraea faveolata*. *ISME J* **2009**, 3(5), 512-21. <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.131>
45. Ainsworth, T.; Fine, M.; Roff, G.; Hoegh-Guldberg, O. Bacteria are not the primary cause of bleaching in the Mediterranean coral *Oculina patagonica*. *ISME J* **2008**, 2(1), 67-73. <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.88>
46. Barros, M.U.G. Environmental factors associated with toxic cyanobacterial blooms across 20 drinking water reservoirs in a semi-arid region of Brazil. *Harmful Algae* **2019**, 86, 128-37. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.05.006>
47. Paerl, H.W.; Valdes, L.M.; Pinckney, J.L.; Piehler, M.F.; Dyble, J.; Moisander, P.H. Phytoplankton photopigments as indicators of estuarine and coastal eutrophication. *BioSci* **2003**, 53(10), 953-64. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0953:PPAIOE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0953:PPAIOE]2.0.CO;2)
48. Sarmiento-Morales, M.L. Microalgas como indicadores biológicos del estado trófico de las ciénagas de Malambo y Santo Tomás, Departamento del Atlántico. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/3137>, 2017.
49. Paerl, H.W.; Huisman, J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Env Microbiol Rep* **2009**, 1(1), 27-37. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x>
50. Paerl, H.; Fulton, R. Ecology of harmful cyanobacteria. In: Ecology Harmful Algae; Publisher: Springer, 2006; 95-109 pp.
51. Gobler, C.J.; Burkholder, J.M.; Davis, T.W.; Harke, M.J.; Johengen, T.; Stow, C.A., *et al.* The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms. *Harmful Algae*. **2016**, 54, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.010>

52. Ojaveer, H.; Galil, B.S.; Carlton, J.T.; Alleway, H.; Goulletquer, P.; Lehtiniemi, M. et al. Historical baselines in marine bioinvasions: Implications for policy and management. *PLoS one* **2018**, 13(8), e0202383. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202383>
53. Curren, E.; Leong, S.C.Y. Natural and anthropogenic dispersal of cyanobacteria: a review. *Hydrobiol.* **2020**, 847(13), 2801-22. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04286-y>
54. Richardson, L.L.; Goldberg, W.M.; Kuta, K.G.; Aronson, R.B.; Smith, G.W.; Ritchie, K.B.; et al. Florida's mystery coral-killer identified. *Nature* **1998**, 392(6676), 557-8. <https://doi.org/10.1038/33302>
55. Palińska, K.A.; Abed, R.M.; Wendt, K.; Charpy, L.; Łotocka, M.; Golubic, S. Opportunistic cyanobacteria in benthic microbial mats of a tropical lagoon, Tikehau Atoll, Tuamotu Archipelago: minor in natural populations, major in cultures. *Fottea* **2012**, 12(1), 127-40. <https://doi.org/10.5507/fot.2012.010>
56. Winkler, K.E. Exploring algaecide effectiveness in the benthic cyanobacteria community. Master Thesis, University of Akron; 2018. <http://orcid.org/0000-0002-4489-4312>
57. Galloway, T.S.; Lewis, C.N. Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2016**, 113(9), 2331-3. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600715113>

Received: 8 octubre 2024 **Accepted:** 20 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citación: Gomez-Luna, L.; Delgado-Pérez, L. Cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales. *Revista Bionatura* 2024; Vol 9. No. 4

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

9 Comparación de tres tratamientos (aerobio, anaerobio y combinado) para la descomposición de la materia orgánica con el fin de obtener biogás y biofertilizante

Comparison of three treatments (aerobic, anaerobic and combined) for the decomposition of organic matter to obtain biogas and biofertilizer

Enrique Salazar ^{1*}, Alexander Barragán ², Daniel Arias-Toro ³, Fernando Cobos ⁴

¹(Technical University of Babahoyo/ Babahoyo / Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos); ejsalazar@utb.edu.ec. ORCID (0000-0002-1699-042X)

²alexander.barragan.1896@gmail.com (Technical University of Babahoyo/ Babahoyo / Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos). ORCID (0009-0003-2469-8925)

³dariast@utb.edu.ec. (Technical University of Babahoyo/ Babahoyo / Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos). ORCID (0000-0002-8167-2196)

⁴fcobos@utb.edu.ec. (Technical University of Babahoyo/ Babahoyo / Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos). ORCID (0000-0001-8462-9022)

*Correspondence: ejsalazar@utb.edu.ec ; Tel.: (0987128999)

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.9

Abstract

This study evaluated the efficiency of different types of decomposition (aerobic, anaerobic and combined) for the production of biogas and biofertilizers from agri-food, livestock, gardening and agricultural wastes. The results indicate that agri-food and livestock wastes are particularly suitable for anaerobic digestion, obtaining biogas and biofertilizers with a high content of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium and calcium, which significantly improves soil fertility.

The anaerobic process includes phases such as hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis, where macromolecules are broken down into biogas and digestate. Anaerobic co-digestion is the most efficient in biogas production, achieving 0,00128 m³ per ton of feedstock daily, reaching 0,008 m³ in 15 days.

On the other hand, aerobic decomposition includes glycolysis and the Krebs cycle, producing CO₂, water, ATP and biofertilizers with high nutrient content. In terms of biofertilizer production, aerobic digestion generates between 0,026 m³ and 0,030 m³ per ton of feedstock, surpassing anaerobic co-digestion in efficiency.

Keywords: decomposition 1; digestion 2; organic matter 3

Introduction

Germany is one of the leaders in the production of biogas in Europe. The country has developed a robust infrastructure for the generation of biogas from head of cattle. Germany has more of 10.000 plants of biogas, that they generate approximately 1,5 TWh of electricity a year, in 2022 he produced around 1.6 million tons of biogas.⁽¹⁾

Holland has been advancing in the production of biogas from organic residues, mainly in the agricultural sector and of step of residues. The country counts with over 50 plants of biogas that generate electricity and heat from organic residues. In 2022, the production of biogas in Holland belonged to approximately 0,5 TWh.⁽²⁾

Today, throughout Ecuador, approximately 5 million tons of garbage are generated, which gives an idea of the latent problem, putting on the table the large amount of waste generated in our country, about 14,000 ton generated per day. More specifically, 56,2 % of all this waste corresponds to the organic fraction, which immediately implies a series of questions related to the proper management of the waste itself, with the clear need to implement strategies that openly and practically allow its subsequent treatment and, if necessary, even its valorization.⁽³⁾

In Ecuador, an average urban resident produces about 0,9 kg of solid waste per day. Of the total solid waste produced in urban areas and classified by the Autonomous Decentralized Municipal Governments (GADM), 55 % is organic waste and 45 % is inorganic.⁽⁴⁾

In Pichincha, Ecuador, high population density and urban development generate the greatest amount of organic waste. Food, gardening, and kitchen waste represent between 40 % and 60 % of this waste in urban areas. Yard waste, such as leaves and branches, varies between 20 % and 30 % depending on the season and agricultural activity, while forestry waste makes up between 10 % and 20 % of the total.⁽⁵⁾

Under the executive direction of Santiago Andrade, the General Manager of the Metropolitan Public Company for Integral Solid Waste Management (EMGIRS-EP) said that Quito produces approximately 2,000 tons of waste daily, of which about 1,000 ton are organic. Thanks to this plant, biogas is produced, which is composed of methane gas (CH₄), which is 50 times more polluting than CO₂. The operation of the waste treatment plant has mitigated the release of 26 million cubic meters of biogas into the environment, which is equivalent to avoiding the emission of 250,000 tons of carbon dioxide (CO₂).⁽⁶⁾

Moreover, the decomposition of organic matter in landfills without oxygen produces methane and other gases that contribute to the greenhouse effect, which in turn causes global warming and climate

change.⁽⁷⁾ Poorly managed organic waste attracts disease vectors, pests and pathogenic microorganisms, increasing the likelihood of disease transmission, as well as respiratory difficulties due to inhalation of toxic gases. ⁽⁸⁾ Subsequently, for the management and disposal of these organic wastes, biogas and biofertilizer can be obtained, thus contributing to the reduction of these wastes in the environment.

Organic wastes are biological materials easily decomposed by microorganisms and include kitchen waste (food scraps, husks), agricultural waste (crop residues), garden waste (leaves, grass, branches), livestock waste (manure), forestry waste (fallen leaves, trunks), food processing waste (husks, bagasse) and wastewater treatment waste (sewage sludge). ⁽⁹⁾

Anaerobic decomposition is a process in which organic materials are degraded by the action of microorganisms in the absence of oxygen, using various metabolic mechanisms. ⁽¹⁰⁾ Among the microorganisms involved are fermentative anaerobic bacteria such as *Clostridium acetobutylicum* and *Bacteroides thetaiotaomicron*; methanogenic bacteria such as *Methanobacterium formicicum*; acetogenic bacteria such as *Acetobacterium woodii*; and others such as desulfurizing, sulfate-reducing, propionogenic and butyric bacteria. ⁽¹¹⁾

Aerobic decomposition occurs in the presence of oxygen, where nutrients decompose producing carbon dioxide and water, although in certain cases heavy metals and additional compounds may be generated, as in landfills with waste in plastic bags. ⁽¹²⁾ The microorganisms involved include aerobic bacteria such as *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*; fungi such as *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum*; and actinobacteria such as *Streptomyces coelicolor* and *Mycobacterium tuberculosis*. ⁽¹³⁾

Combined anaerobic and aerobic decomposition refers to a process of organic matter degradation involving both anaerobic and aerobic organisms in different stages or zones of the system. ⁽¹⁴⁾

The combined decomposition process starts with aerobic biological degradation, where microorganisms break down complex organic compounds into CO₂, H₂O and heat, facilitating anaerobic biodegradation in deeper layers. ⁽¹⁵⁾ The heat generated raises the temperature, creating thermophilic conditions that favor microbial activity. In the deep layers, the lack of oxygen causes an anaerobic environment, continuing the degradation into volatile fatty acids, gases and alcohols. In the anaerobic phase, methanogens transform these compounds into methane and carbon dioxide, completing the decomposition and production of biogas in digesters. **(1)**

Bioreactors control parameters such as temperature, pH and agitation to optimize the decomposition of organic matter through biological, physical or chemical processes. ⁽¹⁶⁾ Fermenter tanks, both

aerobic and anaerobic, combine both processes to maximize the mineralization of matter, producing biogas and biofertilizers; first, through an aerobic phase with microorganisms such as *Bacillus subtilis*, and then anaerobic, with *Clostridium acetobutylicum* and methanogenic archaea. ⁽¹⁷⁾ Biodigesters are closed systems that allow the anaerobic decomposition of waste such as crop residues or animal excrement, generating biogas and biofertilizer as final products. ⁽¹⁸⁾

Biogas is a renewable energy source produced by the anaerobic fermentation of organic waste such as agricultural waste, manure, sewage sludge and municipal waste, composed mainly of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), and used to generate electricity, heat or as a vehicle fuel. ⁽¹⁹⁾ Its composition includes between 50 % -75 % methane and 25 % - 50 % CO_2 , in addition to small amounts of water vapor, H_2S , ammonia, hydrogen, oxygen and nitrogen, varying according to the substrate and operating conditions. ⁽²⁰⁾

Biofertilizer is produced by controlled decomposition of organic matter, including plant debris, manure and sludge, and contains essential nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium, as well as beneficial microorganisms to improve soil quality and reduce the use of chemical fertilizers. ⁽²¹⁾ Their composition includes macroelements (N, P, K), microelements (Ca, Mg, S), organic matter and humic acids that improve soil structure and water retention. The composition varies according to the type of substrate used, such as manure, vegetable or agro-industrial residues, and the conditions of the digestion process. ⁽²²⁾

The anaerobic co-digestion is a method of extraction that is based on the common digestion of two or more substratums of different origins and different compositions, what enriches the contribution of nutrients balancing, therefore, the physicochemical characteristics of the substratum it allows optimizing the stabilization of the system and the performance of the biogas be major. ⁽²³⁾

The aerobic digestion is a waste management organic that is characterized for the destruction of these materials for action of present microorganisms on the air (principally bacteria) in the absence of oxygen. It supposes an oxidation of the same on behalf of these microorganisms, that they have an ample capacity of degradation, and that they turn the organic matter into more simple compounds, what results in a decrease of the contaminating potential of the residues (because the organic residues are turned into CO_2 and Hydrogen Monoxide principally), and in an increase of the volume of the live mass. ⁽²⁴⁾

Materials and methods

Design

A systematic review of documents from scientific organizations dedicated to agricultural, food and forestry research at national and international level, as well as literature reviews and scientific studies was carried out.

Google Scholar was used to search for documentation on the comparison of aerobic, anaerobic and combined treatments for the decomposition of organic matter and obtaining biogas and biofertilizers. The publications reflected relevant information from various authors in Ecuador and internationally. The search was conducted in English, Portuguese and Spanish. In addition, a systematic search in English was used in SpringerLink with the equation: “Aerobic, anaerobic, and combined treatments in organic matter decomposition”. Databases of indexed journals such as Scielo, Scopus, Latindex and Web of Science were also consulted. Zotero was used as a reference manager to organize scientific articles, theses, journals, books and web documents selected for the development of the work.

Inclusion and Exclusion Criteria

The selection criteria included original scientific articles published in indexed journals in English, Portuguese and Spanish during a period of fifteen years. The focus was on research on the efficiency of aerobic, anaerobic and combined treatments in the production of biogas and biofertilizer. The selected papers had to meet ethical and methodological quality criteria, include detailed statistical analyses, laboratory or field experimental studies, and a comprehensive discussion of the results obtained.

Data Analysis

A comprehensive analysis was conducted to assess the impact of the three treatments on organic matter decomposition and biogas and biofertilizer production. Key variables included the type of treatment, feedstock composition, and what is obtained from these wastes. The results of different studies were compared in terms of biogas production (m³/ton), nutrient content in the biofertilizer (N, P, K), days and tons of each treatment. A matrix with author, year and bibliographic source data was used to facilitate comparison and determine how different treatment conditions affect decomposition efficiency and biogas and biofertilizer production.

Results

Table 1” shows that agri-food and livestock wastes are suitable for producing biogas through anaerobic digestion, a renewable energy source. Garden and agricultural wastes are the most suitable for obtaining biofertilizer, improving soil fertility. The biofertilizer resulting from the anaerobic digestion of agro-industrial and livestock waste contains essential nutrients, promoting sustainable and efficient agriculture.

Table 1. Types of residues.

Types of residues	Method of decay	Obtaining	Referencias
9.1.1 Residues of Cocina (like foods, peelings remains of fruits and vegetables, coffee grounds and eggshells).	Anaerobic	Biogás and biofertilizer	(25)
Cattle residues (like manure of animals).	Anaerobic	Biogás	(26)
Stover (like remains of cultivations, such like sheets, stems of trees; Rests of harvests and of pruning of trees).	Aerobe and anaerobic	Biofertilizer	(27)
Residues of Jardinería (like sheets, lawn).	Aerobe	Biofertilizer	(28)

In the “table 2” shows up that the anaerobic digestion and the aerobic process are efficient methods to extract biogas and biofertilizer. In the anaerobic digestion, degrade macromolecules in successive phases, producing biogas. In the aerobic process, they catabolize substratums through the glycolysis and the cycle of Krebs, generating CO₂, water and ATP. Both processes offer benefits like the reduction of contamination and the obtaining of nutrient-rich essential biofertilizer.

Table 2. Methods of decay for the obtaining of biogas and biofertilizer.

Methods of decay	Description	Worked out factors	References

Anaerobic digestion (Hydrolysis)	The extra-cell enzymes turn polymeric matter into soluble compounds.	Influenced for pH, biochemical composition and temperature.	(29)
Anaerobic digestion (Acetogenesis)	The bacteria turn fatty acids and ethanol into acetate and hydrogen.	Production of acetate and hydrogen. 70 % of methane comes from decarboxilation.	(30)
Anaerobic digestion (Methanogenesis)	Final transformation in methane from acetate and acetic acid.	Reduction of the contaminating potential.	(31)
Anaerobic digestion	The microorganisms rust organic residues.		(24)

In the “table 3” shows that method of extraction is more favorable as to the performance for the obtaining of biogas and fertilizer. The pal anaerobic digestion has the major performance in biogas, producing 0,008 m for ton in 15 days. For biofertilizer, the pal anaerobic digestion generates 0,018 m for ton in 9 days. However, the aerobic digestion proves better than the pal digestion in the total output of biofertilizer, with performances of 0,026 and 0,030 m for ton for the two analyzed processes.

Table 3. Performance of biogas and biofertilizer according to the method of extraction.

Methods of decay	Obtaining	Production of biogas (m ³)	Days	Tons	References
Anaerobic co-digestion	Biogas	0,00128	15	0,008	(27)
Anaerobic digestion (Acetogénesis)	Biogas	0,000300	13	0,008	(27)
Anaerobic co-digestion	Biogas	0,000274	11	0,008	(27)
Anaerobic digestion	Digestato (biofertilizer)	0,05	9	0,018	(25)
Aerobic Digestion	Biofertilizer	0,074	13	0,026	(32)
Aerobic Digestion	Biofertilizer	0.1	10	0,035	(33)

Discussion

Anaerobic co-digestion generates 0,00128 m³ of biogas per ton of feedstock per day for 15 days. In comparison, a study by Díaz (2022) ⁽³⁴⁾ indicates that animal waste, such as manure, can produce between 0,02 m³ and 0,04 m³ of biogas per kg of volatile organic matter (VOM) under optimal

conditions. This indicates that your production is relatively low, which could be due to factors such as feedstock composition, organic load, or operating conditions (temperature, pH, etc.).

Aerobic digestion produces 0,028 m³ of biofertilizer per ton in 12 days, while anaerobic digestion generates 0,015 m³ of digestate in 7 days. A study by Castro et al. (2022)⁽³⁵⁾ shows that biofertilizer production is highly dependent on the type of substrate and process. They report yields of up to 0.035 m³ of biofertilizer per ton with fruit and vegetable waste in a 10-day aerobic process. This suggests that your aerobic process is efficient, but the anaerobic process could be improved to increase digestate and thus biofertilizer production.

The hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, acetogenesis and methanogenesis phases coincide with the literature. Osorio et al. (2009)⁽³⁶⁾ explain that hydrolysis is the limiting step in anaerobic digestion, especially when dealing with lignocellulosic wastes.

Conclusions

The results indicate that both anaerobic digestion and the aerobic process are effective methods for the production of biogas and biofertilizers, although each has specific advantages depending on the type of waste and the desired product. Agri-food and livestock wastes are ideal for anaerobic digestion, which produces biogas and biofertilizers with high efficiency. In contrast, agricultural and garden wastes are more suitable for aerobic digestion, excelling in the production of biofertilizers that improve soil fertility.

Anaerobic co-digestion has shown the highest performance in biogas production, with a generation of 0,008 m³ per ton in 15 days, while, for biofertilizers, aerobic digestion is superior, reaching up to 0,035 m³ per ton in 10 days. These findings underline the effectiveness of anaerobic co-digestion for biogas and aerobic digestion for biofertilizers, highlighting the importance of selecting the appropriate method based on the type of waste and the production target. Both processes contribute significantly to the reduction of pollution and the development of sustainable agricultural practices, thus improving waste management and soil quality.

Proper implementation of these methods can optimize the production of biogas and biofertilizers, fostering a more integrated and efficient approach to the valorization of organic wastes in various agricultural and energy applications.

Author Contributions: Conceptualization, Alexander Barragan; methodology, Enrique Salazar; software, Fernando Cobos; validation, Daniel Toro; formal analysis, Enrique Salazar; research, Daniel Toro; resources, Daniel Toro, Alexander Barragan and Fernando Cobos; formal analysis,

Enrique Salazar; research, Alexander Barragan; resources, Daniel Toro; data curation, Fernando Cobos; original drafting, Fernando Cobos; writing, revising and editing, Enrique Salazar; visualization, Daniel Toro; supervision, Enrique Salazar; project administration, Fernando Cobos; obtaining funding; Institutional.

Conflicts of Interest: no conflict of interest.

Acknowledgments: my thanks to the Technical University of Babahoyo for promoting research in the area of food security.

References

1. Martínez-Hernández CM, García-López Y, Oechsner H, Martínez-Hernández CM, García-López Y, Oechsner H. Biogas Plants in Germany: Revision and Analysis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [Internet]. diciembre de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];30(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542021000400009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
2. Manager C. Planta de Biogás de 250kW en Biddinghuizen Holanda [Internet]. INDEREN (Ingeniería y desarrollos renovables, S.L.). 2019 [citado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://inderen.es/es/planta-de-biogas-de-250kw-en-biddinghuizen-holanda/>
3. Castallena J. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. 2020 [citado 12 de junio de 2024]. Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/>
4. INEC. Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2021 [Internet]. 2021. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solidos_2021/Presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20\(Rcv%20%20CGTPE\)%20\(Rcv.%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solidos_2021/Presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20(Rcv%20%20CGTPE)%20(Rcv.%20Dicos).pdf)
5. Ministerio del Ambiente. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. 2020 [citado 22 de junio de 2024]. Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/>
6. EMGIRS. Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP). 2020 [citado 12 de junio de 2024]. Quito se destaca en el Ecuador al producir energía

eléctrica de la basura. Disponible en: <https://emgirs.gob.ec/index.php/julio/45-travels-3/398-quito-se-destaca-en-el-ecuador-al-producir-energia-electrica-de-la-basura>

7. German SJS, Torres JDA, Garcés AR, Oviedo MED. Evaluación energética de la formación de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario mediante el modelo LandGEM. Investigación e Innovación en Ingenierías. 31 de julio de 2023;11(2):16-27.
8. Lema S, Vega K. “SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MERCADOS DEL CANTÓN SAQUISILÍ PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2023” [Internet] [Tesis de pregrado (Título de Ingenieras Ambientales)]. [LATACUNGA-ECUADOR]: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI; 2023. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/jspui/bitstream/27000/11657/1/PC-003100.pdf>
9. Xu P, Shu L, Li Y, Zhou S, Zhang G, Wu Y, et al. Pretreatment and composting technology of agricultural organic waste for sustainable agricultural development. Heliyon. 2023;9(5):undefined-undefined.
10. Indran S, Divya D, Rangappa SM, Siengchin S, Christy PM, Gopinath LR. Perspectives of anaerobic decomposition of biomass for sustainable biogas production: A Review. E3S Web of Conferences. 2021;302:undefined-undefined.
11. Corrales LC, Antolinez Romero DM, Bohórquez Macías JA, Corredor Vargas AM. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Nova. julio de 2015;13(24):55-81.
12. Carrillo-Sancen G, Cuautle-Marin MA, Martínez-Valdez FJ, Saucedo-Castañeda G, Komilis D, Carrillo-Sancen G, et al. Tasa de aireación de la degradación aerobia en la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Revista mexicana de ciencias agrícolas. noviembre de 2021;12(7):1149-59.
13. Castillo J. Microorganismos y nutrientes en el suelo [Internet]. Innovatione. 2019 [citado 23 de junio de 2024]. Disponible en: <https://innovatione.eu/2019/11/26/microorganismos-del-suelo-2/>
14. Martinez M, Ortega R. Microorganismos degradadores de materia orgánica y sus efectos sobre la calidad del suelo - Mundoagro [Internet]. 2021 [citado 30 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://mundoagro.cl/microorganismos-degradadores-de-materia-organica-y-sus-efectos-sobre-la-calidad-del-suelo/>
15. Álvarez-Sánchez AR, Llerena-Ramos LT, Reyes-Pérez JJ, Álvarez-Sánchez AR, Llerena-Ramos LT, Reyes-Pérez JJ. Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. Terra Latinoamericana [Internet]. diciembre de 2021 [citado 23 de junio de 2024];39. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792021000100131&lng=es&nrm=iso&tlng=es

16. Vargas B. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN BIORREACTOR TIPO BATCH PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERLILIZANTES A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS (URBANOS Y AGRICOLAS) [Internet] [Tesis de pregrado (Ingeniero Químico)]. [Pamplona, Colombia]: Universidad de Pamplona; 2019. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5130/1/Vargas_2019_TG.pdf
17. Acura G. Grupo Acura. 2023 [citado 23 de junio de 2024]. Biorreactores o fermentadores industriales: Tipos y características. Disponible en: <https://grupoacura.com/es/blog/biorreactores/>
18. Reascos GMER, Alvarez WFG, Villarruel ÉJC, Coyago RFS. Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto - Ecuador. Esferas. 2022;3:134-53.
19. Kabeyi MJB, Olanrewaju OA. Technologies for biogas to electricity conversion. Energy Reports. 2022;8:774-86.
20. Venegas Venegas JA, Raj Aryal D, Pinto Ruíz R, Venegas Venegas JA, Raj Aryal D, Pinto Ruíz R. Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas. Análisis económico. abril de 2019;34(85):169-87.
21. Chew KW, Chia SR, Yen HW, Nomanbhay S, Ho YC, Show PL. Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. Sustainability (Switzerland). 2019;11(8):undefined-undefined.
22. Ramírez LAG, Cabrera FAL, Escobedo MKL, Vásquez CBB, Torres CAL. Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. Revista Alfa. 20 de mayo de 2023;7(20):336-45.
23. Benítez Fonseca M, Abafos Rodríguez A, Rodríguez Pérez S, Ramírez Vives F, Benítez Fonseca M, Abafos Rodríguez A, et al. Co-digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y su lixiviado. Revista Colombiana de Biotecnología. diciembre de 2020;22(2):70-81.
24. Sánchez-Llevat IL, Fuerte-Góngora L, Ravelo-Ortega R, Ávila-García O. Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. Ingeniería Agrícola [Internet]. diciembre de 2022 [citado 12 de junio de 2024];12(4). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586272874007/>
25. Luna BEB, Lahura N, Borda S. Generación de Biogás a partir de residuos orgánicos mediante la aplicación del NBS gas home organic reactor, en el anexo 14, distrito de San Ramón Junín, Perú. Revista Científica Pakamuros. 27 de diciembre de 2023;11(4):121-39.

26. Tonato Sangucho JJ. Generación de energía eléctrica a través del biogás para la avícola de la universidad técnica de Cotopaxi campus Salache [Internet] [bachelorThesis]. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).; 2019 [citado 12 de junio de 2024]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/5352>
27. Viteri L. PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FRUTAS Y HORTALIZAS GENERADOS EN EL MERCADO GÓMEZ RENDÓN. [Internet] [Pregrado (INGENIERÍA AMBIENTAL)]. [GUAYAQUIL – ECUADOR]: UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR; 2020. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VITERI%20VEGA%20LADY%20LIBETH.pdf>
28. Castillo C. Clasificación de los residuos – Planética [Internet]. 2021 [citado 12 de junio de 2024]. Disponible en: <https://planetica.org/clasificacion-de-los-residuos/>
29. Suárez-Chernov VD, López-Díaz I, Álvarez-González M, Suárez-Chernov VD, López-Díaz I, Álvarez-González M. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE PROCESOS. Centro Azúcar. marzo de 2019;46(1):73-85.
30. Ignatowicz K, Filipczak G, Dybek B, Wałowski G. Biogas Production Depending on the Substrate Used: A Review and Evaluation Study—European Examples. *Energies*. 2023;16(2):undefined-undefined.
31. Atelge MR, Senol H, Mohammed D, Hansu TA, Krisa D, Atabani A, et al. A critical overview of the state-of-the-art methods for biogas purification and utilization processes. *Sustainability* (Switzerland). 2021;13(20):undefined-undefined.
32. Arguelles CW, Pintor DCA, Mesinas CM, Márquez HL, Becerra EV. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 21 de febrero de 2023;7(1):5241-58.
33. Rodríguez Morgado B. Producción de un biofertilizante / bioestimulante mediante un proceso biológico / enzimático a partir de subproductos orgánicos: valorización agronómica y ambiental de lodos de depuradora y plumas de matadero [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universidad de Sevilla; 2019 [citado 12 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=218262>
34. Díaz-Arias AA. Biogás: una fuente de energía para las generaciones futuras en la era post-petrolera. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*. 27 de noviembre de 2022;2(19):104-22.
35. Castro Morales IG, Rodríguez Gámez M, Castro Morales IG, Rodríguez Gámez M. Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí. *Ingeniería Energética*. diciembre de 2022;43(3):62-70.

36. Osorio WAH, Carrera PJV, Bonilla JIC, Salazar FSA. Obtención de biogás y biol como fuente de energía renovable de biodigestores experimentales en el en la UTC extensión La Maná. Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación. 4 de abril de 2023;8(2):23-44.

| **Received:** 15 octubre 2024 | **Accepted:** 8 diciembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Salazar, E., Barragán, A., Arias-Toro, D., Cobos, F. Comparison of three treatments (aerobic, anaerobic and combined) for the decomposition of organic matter to obtain biogas and biofertilizer. *Bionatura*. 2024; Volume 9. No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

10 Propuesta de acciones desde las ciencias básicas biomédicas para el enfoque “Una Salud”

Proposal of actions from basic biomedical sciences for the “One Health” approach

Sara Elena Panizo Bruzón^{1*}, Farah de la Caridad Ramírez Pupo², Clara Dorkis Tejeda Ruíz³,
Livia Lozano Lezcano⁴

¹Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas. Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica. Las Tunas. Cuba. Correo electrónico: sarapan@ltu.sld.cu ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4803-0343>

²Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas. Las Tunas. Cuba. Correo electrónico: facarapu80@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8862-4824>

³Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas. FCM “Dr. Zoilo Enrique Marinello Vidaurreta”. Las Tunas. Cuba. Correo electrónico: claradorkiscuba@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4424-9628>

⁴ Hospital Provincial General Docente “Dr. Antonio Luaces Iraola”. Ciego de Ávila. Cuba. Correo electrónico: livia.ali@infomed.sld.cu ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0160-2834>

* **Autor para correspondencia:** sarapan@ltu.sld.cu

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.10

Resumen

Las ciencias básicas biomédicas aportan un sistema de conocimientos que sustentan el desempeño del futuro egresado de las ciencias médicas. Se realizó una investigación de desarrollo, esencialmente cualitativa, en el proceso formativo de las carreras de las ciencias médicas en la Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas, Cuba, en el período comprendido del 3 de mayo al 11 de octubre del 2024, con el objetivo de proponer acciones desde las ciencias básicas biomédicas para dar tratamiento al enfoque “Una Salud” en la institución antes mencionada. La misma se ejecutó en dos etapas que a continuación se describen: la primera, revisar aspectos teóricos sobre el enfoque “Una Salud” y el currículo base de las carreras de las ciencias médicas, y la segunda elaborar las acciones correspondientes. Se diseñó un sistema de acciones desde las ciencias básicas biomédicas para dar tratamiento al enfoque “Una Salud”. El sistema quedó estructurado por un objetivo general y 29 acciones específicas desde los componentes académico, investigativo y extensionista. Todas fundamentadas en diez características generales. La propuesta de acciones

tributa al tratamiento del enfoque “Una Salud” desde la formación inicial en las ciencias médicas y promueve la formación integral de los estudiantes.

Palabras clave: enfoque una salud; ciencias básicas biomédicas; profesores.

Abstract

The basic biomedical sciences provide a system of knowledge that supports the performance of the future graduate of medical sciences. A development research, essentially qualitative, was carried out in the training process of medical science careers at the University of Medical Sciences of Las Tunas, Cuba, in the period from May 3 to October 11, 2024, with the objective of propose actions from basic biomedical sciences to treat the “One Health” approach in the aforementioned institution. It was carried out in two stages that are described below: the first, reviewing theoretical aspects of the “One Health” approach and the base curriculum of medical science careers, and the second, developing the corresponding actions. A system of actions was designed from basic biomedical sciences to treat the “One Health” approach. The system was structured by a general objective and 29 specific actions from the academic, research and extension components. All based on ten general characteristics. The proposal of actions tax that the treatment of the “One Health” approach in the initial training of medical sciences promotes the comprehensive training of students.

Keywords: One health approach; Basic biomedical sciences; Teachers.

Introducción

En la actualidad tanto el desarrollo sostenible como el enfoque “Una Salud” constituyen aspectos importantes al momento de desarrollar la educación superior en un país. En el caso de las universidades de ciencias médicas, que se encargan de la formación integral de los profesionales de la salud, resulta acertada la flexibilidad curricular para una formación educativa multimodal, inclusiva y tecnológica para responder a las demandas crecientes del momento histórico concreto.⁽¹⁾ La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la salud como el “estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”, por otra parte define “Una Salud”, como un enfoque unificador dirigido a equilibrar la salud de las personas, los animales y los ecosistemas.⁽²⁾

La educación cuenta con su propio objetivo específico, el Objetivo Desarrollo Sostenible 4, que se ha propuesto “garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos”. El Marco de Acción de Educación 2030 ofrece orientación para la aplicación de este ambicioso objetivo y sus compromisos.⁽³⁾

En el contexto de la educación médica, tanto en el pregrado como en el posgrado, este tema reviste especial importancia dada la necesidad de contemplar en los planes de estudio, una visión integral de salud que incluya los componentes de la salud humana, animal y los ecosistemas que interactúan.⁽⁴⁾

Investigaciones en las ciencias básicas biomédicas (CBB) abogan por un modelo de integración básico-clínica para la enseñanza aprendizaje de las mismas, fundamentada en el método clínico; los modos de actuación del médico y el desempeño cognitivo del estudiante; la integración de contenidos en el proceso enseñanza aprendizaje de la Morfofisiología y la utilización de los problemas de salud como una alternativa viable que favorece la integración básico-clínica durante su aprendizaje.⁽⁵⁻⁷⁾

Las experiencias como profesoras de las CBB e investigadoras y el interactuar con profesores, nos permitieron identificar limitaciones en cuanto al tratamiento desde las asignaturas que conforman las disciplinas de las CBB al enfoque “Una Salud”, así como, en asumir con prontitud la implementación de esta temática.

Constituye un reto para la educación médica superior el tratamiento al enfoque “Una Salud”, lo que ha sido motivo para que las autoras de la presente investigación formulen como objetivo proponer acciones desde las CBB para dar tratamiento al enfoque “Una Salud” en la Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas, Cuba.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de desarrollo, esencialmente cualitativa, en las carreras de las Ciencias Médicas de la Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas, desde el 3 de mayo al 11 de octubre de 2024. La investigación tiene lugar en el proceso formativo de las carreras de las ciencias médicas.

Para el desarrollo se emplearon diferentes métodos teóricos: histórico-lógico, para el estudio de aspectos conceptuales de la temática; análisis-síntesis, para la revisión de la bibliografía encontrada; inducción-deducción, para la valoración de la literatura revisada. Se utilizó el estudio documental como método empírico.

En la revisión bibliográfica se emplearon los recursos disponibles en la red Infomed (<https://www.sld.cu>), específicamente: PubMed, SciELO y Ebsco, a través de las bases de datos: Medline, Academic Search Premier, MedicLatina, Cumed, Lilacs y Scopus. Las búsquedas se realizaron en español e inglés, utilizando descriptores como: resistencia antimicrobiana, enfoque “Una Salud”, ciencias básicas biomédicas, educación médica superior, zoonosis, enfermedades infecciosas.

De manera que, se desarrollaron dos etapas en la investigación: en la primera se realizó la revisión de aspectos teóricos sobre el enfoque “Una Salud”, el análisis del plan de estudio E en las carreras Medicina, Estomatología, Licenciatura en Enfermería y Tecnologías de la Salud y los documentos rectores que lo componen (modelo del profesional, plan del proceso docente, indicaciones metodológicas y de organización de las carreras, programas de las disciplinas Bases Biológicas de la Medicina y Bases Biológicas de la Estomatología, Sistemas Biológicos Humanos y Ciencias Básicas Biomédicas); además, la revisión de resoluciones e indicaciones ministeriales. Luego se elaboró el sistema de acciones formativas, para dar tratamiento al enfoque “Una Salud” desde las CBB, teniendo en cuenta los componentes académico, investigativo y extensionista. Los resultados de la investigación pueden ser aplicados en las carreras Medicina, Estomatología, Licenciatura en Enfermería y Tecnologías de la Salud.

Resultados

Se diseñan acciones para dar tratamiento al enfoque “Una Salud” desde las CBB. Las mismas quedaron estructuradas con un objetivo general, diez características generales, 29 acciones específicas a realizar por los profesores desde los componentes académico, investigativo y extensionista.

A continuación se exponen elementos del sistema de acciones formativas elaborado:

Objetivo general: diseñar acciones para dar tratamiento al enfoque “Una Salud” desde las CBB en la Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas, Cuba.

Características generales

- Responden al enfoque “Una Salud” para un desarrollo sostenible.
- Corresponden con las exigencias sociales de los modelos del profesional de las ciencias médicas que se pretende formar.
- Tienen enfoque integral, teniendo en cuenta los componentes académico, investigativo y extensionista.
- Propician el proceso docente educativo con una visión formativa, que el profesor debe tener en cuenta en la elaboración de los objetivos.
- Se propone la utilización de los contenidos básicos de las CBB, así como la utilización del currículo optativo.
- Propician la utilización de diferentes modalidades de enseñanza mediante el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).
- Vinculan la teoría con la práctica.
- Fortalecen el sistema de valores compartidos (dignidad, patriotismo, humanismo, ética, solidaridad, responsabilidad, laboriosidad, honestidad, justicia y colaboración) en los estudiantes.

-Planificación de las acciones a partir del diagnóstico bio-psicosocial y pedagógico integral realizado a cada estudiante y al grupo.

-Las acciones propuestas requieren de una preparación constante de profesores y estudiantes.

Acciones específicas a realizar por los profesores desde las CBB (currículo base) con enfoque “Una Salud” que responden al componente académico

-Realizar autopreparación en aspectos teóricos referidos a “Una Salud” y desarrollo sostenible.

-Diseñar y recibir cursos de superación acerca de las temáticas siguientes: resistencia antimicrobiana, zoonosis, inocuidad y seguridad alimentaria así como vigilancia epidemiológica de enfermedades infecciosas y acciones de promoción y prevención de salud relacionadas con estas afecciones.

-Tener presente a partir del sistema de conocimientos de las CBB los siguientes nodos cognitivos: gametogénesis, determinantes del desarrollo, agentes teratógenos, principios de la teratología en interrelación con resistencia antimicrobiana, zoonosis, inocuidad y seguridad alimentaria así como vigilancia epidemiológica de enfermedades infecciosas.

-Desarrollar talleres científicos metodológicos para profundizar en la temática “Una Salud” y su tratamiento en el proceso docente educativo.

-Confeccionar una biblioteca digital con la bibliografía actualizada recopilada.

-Modificar metodologías (métodos, medios, procedimientos, técnicas, fuentes y formas) tradicionales para impartir los temas antes mencionados.

-Usar la modalidad de clase virtuales (audiovisuales, software) con la finalidad de motivar a los estudiantes.

-Fomentar en el estudiante la creatividad, innovación, autogestión del conocimiento.

-Utilizar en la clase la autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación.

-Prestar atención y ayuda a los estudiantes desde el punto de vista cognitivo, afectivo y motivacional.

-Aprovechar la interdisciplinariedad con la diversidad de conocimientos a enseñar.

-Fomentar el aprendizaje basado en los métodos productivos (problémico).

-Potenciar el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

-Elaborar preguntas sobre este contenido que propicien la utilización del pensamiento crítico y reflexivo.

-Diseñar cursos optativos con los contenidos del enfoque “Una Salud”.

Acciones específicas a realizar por los profesores desde las CBB con enfoque “Una Salud” que responden al componente investigativo

- Impulsar la formación investigativa de los estudiantes a través de la indicación de trabajos extraclases sobre este contenido.
- Incorporar desde el primer año a los estudiantes en los proyectos de investigación con tareas que se correspondan con este contenido.
- Proponer un evento sobre ese enfoque para estudiantes del ciclo básico.
- Participar en sesiones científicas donde se presenten los resultados que obtengan los estudiantes de forma sistemática.
- Insistir en la calidad de las investigaciones en aras de que las mejores ponencias sean presentadas en el evento provincial “Una Salud”.
- Estimular a la elaboración de artículos científicos para socializar en revistas científicas estudiantiles.
- Crear grupos de trabajo científico estudiantil sobre la temática.
- Fomentar la tutoría como forma organizativa de trabajo docente.

Acciones específicas a realizar por los profesores desde las CBB con enfoque “Una Salud” que responden al componente extensionista

- Introducir en los colectivos pedagógicos el tema en la promoción de salud a las personas, familias y comunidades durante la educación en el trabajo.
- Involucrar a la familia y a la comunidad como gestores activos del enfoque “Una Salud”.
- Emplear con eficiencia el tiempo y los espacios para promover el enfoque “Una Salud”.
- Utilizar adecuadamente la comunicación para transmitir mensajes claros y precisos y con ello desarrollar habilidades comunicativas.
- Comprometer a la familia y a la comunidad con su autoformación y autopreparación.
- Ponderar el desarrollo del contexto social, favoreciendo la salud comunitaria y la calidad de vida de los individuos y la familia.
- Dar salida a través de actividades dirigidas al enfoque “Una Salud” dentro de los proyectos extensionistas y Cátedras Multidisciplinarias.
- Promover utilizando las redes sociodigitales el enfoque “Una Salud”.

Discusión

El tema de la investigación está a tono con lo publicado acerca de la enseñanza específicamente a partir de las asignaturas, tanto del pregrado como del posgrado en la educación médica superior y tributario a la modificación de sus planes de estudios, para lograr la formación de un profesional en las diferentes ramas de las ciencias que sea capaz de integrar y aplicar las herramientas y los principios de “Una Salud”. ⁽⁸⁾

Es importante destacar que coincidimos con la propuesta de considerar el desafío que representa para nuestras regiones, teóricas protagonistas de las políticas en el marco de “Una Salud”, la aplicación de instrumentos de acción global gestionados fundamentalmente por los gobiernos y las corporaciones de los países. ⁽⁹⁾

Por otra parte se reconocen como acertados los preceptos de la filosofía de Una Sola Salud desde el nivel global hasta el más local para reducir entre otros, los riesgos de pandemias que pueden ocurrir con mayor frecuencia considerando el crecimiento exponencial de la población mundial y la urbanización. ⁽¹⁰⁾

En orden de ideas se tuvo en cuenta tres aspectos fundamentales, el enfoque “Una Salud” en toda su extensión, los componentes académico, investigativo y extensionista que se desarrollan en las ciencias médicas, y aspectos particulares en el sistema de conocimientos de las CBB.

En primer lugar desde el componente académico se significa la necesidad de identificar un contenido relacionados con las CBB, y el enfoque “Una Salud” que favorezcan una interrelación dinámica y flexible.

Este componente es la base para el desarrollo de los otros componentes, donde se concreta el principio filosófico de vinculación teoría-práctica y en el que a su vez se visualiza la necesidad de un desarrollo sostenible. Al establecer las acciones que deben realizar los profesores, propicia en los estudiantes la solución de los problemas que se presentan en la educación en el trabajo.

Los conocimientos seleccionados de las CBB parten de que el crecimiento y desarrollo humano es continuo, se inicia desde el final de la primera semana y físicamente culmina al final de la pubertad al completarse una serie de cambios en el sistema neuroendocrino, pero posterior a esta etapa continúan cambios a nivel de los tejidos que fueron modulados por factores ambientales y genéticos durante la etapa de desarrollo prenatal. ⁽¹¹⁾

La literatura además plantea que, los cambios en crecimiento y desarrollo debe ser un evento continuo con características propias en las diferentes etapas del desarrollo ontogenético en donde se expresan múltiples factores de índole genética pero modulada por la calidad del medio ambiente y que solamente tienen su expresión al momento de la muerte. ⁽¹¹⁾

Se considera importante el tradicional estudio de los nodos cognitivos propuestos en las disciplinas de las CBB, por ejemplo, los factores biológicos como los virus, bacterias y protozoarios, factores químicos, factores físicos así como los factores maternos, (o sea las condiciones que tiene la gestante antes y durante el embarazo), teniendo en cuenta los principios de la teratología.

Sin embargo, se hace pertinente a partir del surgimiento del enfoque “Una Salud”, y teniendo en cuenta la flexibilidad del Plan de Estudios E, una nueva mirada en la formación que, de manera temprana, al unísono con los nodos cognitivos antes mencionados, incluya nodos cognitivos como

por ejemplo, la resistencia antimicrobiana, zoonosis, inocuidad de los alimentos, el agua y seguridad alimentaria así como vigilancia epidemiológica y acciones de promoción y prevención de salud relacionadas con enfermedades posibles a desarrollar.

Es importante que en esta etapa inicial, el estudiante recibe el sistema de conocimientos relacionados con genética e inmunología, lo que facilita la interpretación del organismo como un todo, teniendo en cuenta la interdisciplinariedad.

Los determinantes genéticos y funcionales de los mecanismos de defensa a las infecciones hacen que la mayoría de las personas se recuperen completamente de las infecciones, hay casos en los que una infección puede tener consecuencias graves o incluso mortales. Desde el papel de la inmunidad en la resistencia o susceptibilidad a las infecciones, existen grupos de genes relacionados a este comportamiento defensivo.⁽¹²⁾

Por otro lado, desde el componente investigativo se proponen acciones que comienzan con la indicación de trabajos extraclase, teniendo en cuenta los nodos cognitivos relacionados. En este sentido, es importante formar y desarrollar las habilidades investigativas, mediante las cuales el estudiante autogestiona la información, amplía conocimientos, construye un marco teórico, discrimina entre información fundamentada y falsa, identifica problemas, formula hipótesis, desarrolla la creatividad, innovación y responde preguntas con pensamiento crítico y reflexivo. Desde otra perspectiva, la solución de problemas o situaciones simuladas, en circunstancias normales de trabajo o en situaciones especiales, se concretan las esferas de actuación del futuro profesional de las ciencias médicas y se trasciende hacia el componente extensionista de la formación.

Este componente comprende actividades en las que el estudiante interactúa con otros estudiantes, profesores y con personas de otros sectores y representantes de organizaciones sociocomunitarias. Al mismo tiempo, tiene contacto directo con las familias, por lo que deben ganar respeto a través de un trato amable y cordial.

Producto de esa interacción el estudiante crece como persona y además profesionalmente, al apropiarse de la cultura de los otros y aplicar el enfoque científico a la solución de los problemas que se presentan. Se destacan dentro de estas actividades, las labores de promoción y prevención de enfermedades transmisibles como parte de la campaña de lucha antivectorial y la pesquisa activa hacia la detección y enfrentamiento de las arbovirosis.

Un aspecto clave dentro de las acciones que propicia el componente extensionista, es la formación axiológica mediante el tratamiento a los valores compartidos en los estudiantes de las ciencias médicas, como una necesidad que se impone en el tiempo.

Los estudiantes han dado el paso al frente en el cumplimiento de las funciones especiales, como lo fue la pandemia COVID-19, por lo que defendemos la posición de que en esta etapa existió una muestra de reforzamiento de valores que quedó plasmada en la historia de Cuba.⁽¹³⁾

La ventaja de la comprensión de las acciones, se basa principalmente en el llamado hacia la actualización constante en los profesores, un aprendizaje del tema desde la formación inicial del estudiante que asegura en el egresado modos de actuación conscientes, desde cualquier nivel de atención de salud.

Es necesario resaltar en la actualidad, muchas personas coexisten con animales en el hogar, y se visualizan manifestaciones de extrema aproximación sin tener en cuenta, que los mismos son portadores de virus, bacterias y de una flora que puede modificarse por agentes ambientales. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede considerar que esta coexistencia, al no tener límites establecidos, puede transformarse de placentera en arriesgada, hacia contraer enfermedades.

De igual forma, se coincide en lo significativo que resulta generar, gestionar y analizar la información estadística sobre salud pública que interviene en la sostenibilidad y desarrollo humano^(14, 15) y la necesidad de priorizar y optimizar los procesos de organización, calidad y eficiencia para la sostenibilidad de las prestaciones actuales, por lo que requiere de instituciones de servicios de salud que aporten las evidencias para la dirección científica del sistema de salud y la utilización adecuada de los recursos en el mejoramiento del estado de salud del pueblo.⁽¹⁶⁾

La implementación del enfoque “Una Salud”, representa un desafío en la sociedad y por ende para las autoridades universitarias, profesores y estudiantes, al mismo tiempo puede aportar ventajas si se le da tratamiento desde la formación inicial. Un acercamiento temprano al tema en interrelación con el sistema de conocimientos establecido en el currículo base facilita la sistematización a posteriori.

Se considera por parte de las autoras que al conocer y dominar el enfoque “Una Salud”, al tener en cuenta a los animales, en general al ecosistema, se garantiza una sostenibilidad en el desarrollo, a su vez este último puede condicionar al enfoque “Una Salud”.

Conclusiones

La propuesta de acciones tributa al tratamiento del enfoque “Una Salud” desde la formación inicial en las ciencias médicas y promueve la formación integral de los estudiantes.

Contribución de los autores:

Conceptualización: SEPB

Análisis formal: SEPB, FCRP

Investigación: SEPB, FCRP, CDTR, LLL

Metodología: SEPB, LLL

Administración del proyecto: CDTR

Recursos: SEPB, FCRP, CDTR, LLL

Supervisión: SEPB, CDTR

Validación: SEPB, CDTR

Visualización: SEPB

Redacción-borrador original: SEPB, LLL

Redacción-revisión y edición: SEPB, CDTR

Fondos:

Esta investigación no recibió financiamiento externo

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Referencias

1. Pérez-Buelvas HG, Severiche-Mendoza CA. Tendencias curriculares para afrontar los cambios de la sociedad actual. Acción y Reflexión Educativa. [Internet]. 2023 [citado 20 sep 2024]. 48 Disponible en: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/226/2263743016/html/>
2. Torres-Castro MA, Rivero-Juárez A. Antecedentes, definiciones y desafíos sobre el enfoque “Una Salud” en Medicina Veterinaria. Bioagrobiociencias. [Internet]. 2023 [citado 10/08/2024];16(2). Disponible en: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/5149>
3. Organización de las Naciones Unidas. Objetivo 4 de desarrollo Sostenible. 2015 [citado 25 sep 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>
4. Mena-Miranda VR, Castro-Pacheco BL, Rivero-Morales A. Relación del concepto de Una sola salud y las consecuencias en la salud materno infantil. Rev Cubana Pediatría [Internet]. 2024 [citado 25 sep 2024]; 96. Disponible en: <https://revpediatria.sld.cu/index.php/ped/article/view/5141>
5. Chi A, Hernández Y, Difour J. Modelo de integración básico-clínica para las ciencias básicas biomédicas. Medimay [Internet]. 2018 [citado 20 Jul 2024]; 25(3):[aprox.8p]. Disponible en: <https://revcmhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/1280>
6. Betancourt-Valladares M, García-González MC, Bermejo-Correa R.M, Cadenas-Freixas JL, Betancourt Gamboa K. Estado actual de la integración de contenidos de las ciencias básicas biomédicas en Estomatología. Edumecentro [Internet]. 2021 [citado 14 Oct 2024]; 13 (2). Disponible en: <https://revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/view/1732>
7. Hernández-Guerra Y, Mur-Villar N. Relación de los contenidos de las Ciencias Básicas Biomédicas con los problemas de salud: una necesidad de la Educación Médica. Revista Finlay

- [Internet]. 2022 [citado 2024 Oct 14]; 12(3): [aprox. 4 p.]. Disponible en: <https://revfinlay.sld.cu/index.php/finlay/article/view/1126>
8. Vidal-Ledo MJ, Armenteros-Vera I, Aparicio-Suárez JL, Morales-Suárez I, Portuondo-Sao M. Una Salud. Educación Médica Superior [Internet]. 2021 [citado 1 Oct 2024]; 35 (2). Disponible en: <https://ems.sld.cu/index.php/ems/article/view/2890>
9. Zunino P. Historia y perspectivas del enfoque “Una Salud”. Veterinaria (Montev.) [Internet]. 2018 Nov [citado 2024 sep 17]; 54(210): 46-51. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S168848092018000200046&lng=es
10. Manterola C, Rivadeneira J, Leal P, Rojas-pincheira C, Altamirano A. Una Sola Salud. Un enfoque multisectorial y transdisciplinario. Int. J. Morphol. [Internet]. 2024 [citado 1 Oct 2024]; 42(3):779-786, Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v42n3/0717-9502-ijmorphol-42-03-779.pdf>
11. Colectivo de Autores. Morfofisiología. Tomo I: Editorial Ciencias Médicas, 2015. p. 258-261.
12. Paz-Miño C, Paz-Miño A. Aspectos genéticos y genómicos de la susceptibilidad y resistencia a las infecciones. Bionatura. [Internet]. 2024 [citado 10/09/2024]; Volume (9). No 3. Disponible en: <https://revistabionatura.org/wp-content/uploads/2024/10/0-Bionatura-9324.pdf>
13. Panizo-Bruzón SE, Santos-Velázquez T, Molina-Raad V. Habilidades investigativas y valores en estudiantes de Estomatología en el contexto de la COVID-19. MULTIMED [Internet]. 2021 [citado 18 Mayo 2024]; 25 (2) Disponible en: <https://www.revmultimed.sld.cu/index.php/mtm/article/view/1964>
14. Hermida M, Manté M. Desarrollo Sostenible y “Una Salud”. Un sistema de información estadístico para el monitoreo de la salud pública veterinaria de Ushuaia, Tierra del Fuego Divulgatio. Perfiles académicos de posgrado, [Internet]. 2023 [citado 15/06/2024]; Vol. 8, Número 22, 140-158 <https://doi.org/10.48160/25913530di22.400>. Disponible en: http://revistadivulgatio.web.unq.edu.ar/wpcontent/uploads/sites/65/2016/11/D22_ART4mante_2023.pdf
15. [Angueira-Betancourt Y, García-Reyes O, Gómez-Pozo Y, Pérez-Velázquez JE, Rodríguez-Blanco L, Castro Pérez G. Influencia medioambiental en la salud de los educandos con trastornos de la conducta. Rev Ciencias Médicas \[Internet\]. 2024 \[citado: 17/07/2024\]; 28\(2024\): e6191. Disponible en: <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/6191>](#)
16. [Morales-Ojeda R, Mas-Bermejo P, Castell-Florit Serrate P, Arocha-Mariño C, Valdivia-Onega NC, Druyet-Castillo D, et al. Transformaciones en el sistema de salud en Cuba y estrategias](#)

[actuales para su consolidación y sostenibilidad. Rev Panam Salud Pública. \[Internet\]. 2018 \[citado 10/05/2024\];42:\[aprox. 9 p.\]. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpsp/2018.v42/e25/>](#)

| **Received:** 10 septiembre 2024 | **Accepted:** 15 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Panizo-Bruzón SE, Ramírez-Pupo FC, Tejeda-Ruíz CD, Lozano-Lezcano L. Propuesta de acciones desde las ciencias básicas biomédicas para el enfoque “Una Salud” *Bionatura* 2024; Volume 9. No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.



Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. **Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

11 Maternal transference of phenoloxidase and lysozyme activity in eggs from *Penaeus vannamei*

Transferencia materna de la actividad de fenoloxidasas y lisozima en huevos de *Penaeus vannamei*

¹Luis E. Fabregat Guerra ¹(2) Leonardo D. Martín Ríos ¹(3)Yulaine Corrales Barrios¹, (4) Marbelys González Salotén ¹(5) Alessandra Roncarati², (6) Amilcar Arenal Cruz³

¹[https:// orcid.org/0009-0005-1359-7541](https://orcid.org/0009-0005-1359-7541) Animal Morphophysiology Department, School of Agriculture Sciences, University of Camaguey, Cuba luis.fabregat@reduc.edu.cu

²[https:// orcid.org/0000-0001-9834-6314](https://orcid.org/0000-0001-9834-6314) Animal Morphophysiology Department, School of Agriculture Sciences, University of Camaguey, Cuba

³[https:// orcid.org/0000-0003-4757-1911](https://orcid.org/0000-0003-4757-1911) Animal Morphophysiology Department, School of Agriculture Sciences, University of Camaguey, Cuba yulaine.corrales@reduc.edu.cu

⁴<https://orcid.org/0000-0001-5822-622X> Animal Morphophysiology Department, School of Agriculture Sciences, University of Camaguey, Cuba

⁵School of Biosciences and Veterinary Medicine, University of Camerino, Matelica (MC), 62032 Marche, Italy; alessandra.roncarati@unicam.it

⁶[https://orcid.org/ 0000-0003-2912-9871](https://orcid.org/0000-0003-2912-9871) School of Veterinary Medicine, Saint Nicholas' University, Morne Daniel, Roseau 00152, Dominica amilcar.arenalsun@gmail.com

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.11

Abstract

Shrimp's immune system has been extensively described and associated with environmental conditions. However, there are few reports of immune enzyme activities during ontogenetic development in shrimp larvae, the most vulnerable stage of the shrimp life cycle. Indeed, lysozyme, a crucial enzyme against bacterial pathogens, has never been described before in shrimp larvae. Hence, there are no reports of the effects of acute ammonia stress on shrimp lysozyme activity. This study aims to evaluate the lysozyme activity through all the early ontogenetic stages of *P. vannamei*, using the evaluation of phenoloxidase activity as a parallel indicator of immune status during the evaluated ontogeny time frame. We determined the enzymatic activity of Phenoloxidase and lysozyme during shrimp early ontogeny, from eggs to postlarvae 8. Also, we evaluated the immune response of three shrimp larvae stages after acute ammonia stress with a sublethal dose by

determining phenoloxidase and lysozyme enzymatic activity. The phenoloxidase and lysozyme activity was detected in all shrimp stages, including in eggs, reaching their highest values in protozoa I and zoea III, respectively. Also, the activity of phenoloxidase and lysozyme decreased 12 hours after ammonia exposition in Mysis II. Meanwhile, phenoloxidase activity decreased 6 hours after the treatment in postlarvae 2. Our results constitute the first report of lysozyme activity in shrimp larvae stages and the influence of acute ammonia stress on this activity.

Keywords: Lysozyme activity, Phenoloxidase activity, ontogenetic development, immune system, acute ammonia stress.

1. Introduction

Shrimps present an immune system that can be classified into two main classes: the passive (exoskeleton and peritrophic membrane) and active elements (hemostatic mechanisms, humoral and cellular response). Moreover, the focus on active elements has led to a new kind of immunity in invertebrates: trained immunity (1). However, the humoral response still stands out as the main parameter to evaluate the shrimp's immune status,, mainly based on the activity of immune enzymes. Among the most used enzymes activities assays to test the immune status of shrimps are phenoloxidase (PO), superoxide dismutase (SOD), lysozyme (Lys), and peroxidases (PX) (2,3,4,5). Thus, lower values of PO activity are related to immunodepression in shrimp; therefore, it can be used to describe the general immune status of shrimps (6). Notwithstanding, other enzymes like lysozyme could describe a better and more specific perspective of shrimp's immune capacity against bacterial pathogens.

Moreover, shrimp, like other crustaceans, have a very long and complex ontogenetic development characterized by short metamorphosis changes (7,8). Hence, the ontogenetic development of the shrimp immune system has to be understood as a continuous process instead of separated larvae stages. Indeed, the study of ontogenetic development of the immune system in shrimp has been conducted as a continuity before, reporting the activity of several immune enzymes like PO, SOD, and PX during the early stages of shrimp larvae (9). Also, the expression analysis of several immune genes in shrimps during ontogenetic development has been described (10,11). However, there are no

reports about lysozyme activity in penaeid shrimp larvae or even more during the ontogenetic development of early stages of shrimps. Almost all the studies of shrimp immune response are developed in juvenile and adult stages since the small size of the body precludes direct research.

The most vulnerable stages of shrimp biological development are the larvae stages when early shrimp larvae lack structured defenses against pathogens and face harmful environmental conditions (12). In culture tanks, where larvae are farmed in high densities, the concentrations of nitrogen toxic compounds, such as ammonia, reach higher levels than in natural culture systems (13,14). The effect of ammonia on shrimp physiological and pathophysiological processes such as growth, metamorphosis, osmotic regulation, immunity, reproduction, metabolism, survival, and excretion in shrimp has been extensively reported (15,16,17,18,19,20). However, its effect on immune response, specifically on shrimp larvae is still unclear (21). Hence, the present study aims to describe the immune response of early ontogenetic development stages of *P. vannamei* and the effect of acute stress of ammonia on lysozyme and phenoloxidase response.

2. Materials and methods

2.1 Experimental design

A randomized experimental design was employed to evaluate the effect of a sublethal dose of TAN (Total Ammonium Nitrogen) in three larvae stages (Protozoetas II (ZII), Mysis II (MII), and PostLarvae II (PLII)), all from the same broodstock. For each experiment, water from culture tanks was used instead of filtered water, with culture parameters measured using multiparameter equipment (Hanna Instrument). TAN doses were adjusted at 20 mg/L (2,3 mg/L of ammonium, at a temperature of 30 ± 1 °C), pH ($8,3 \pm 1$), an oxygen concentration of 6.3 mg/L, and a salinity of 32 PSU). The experiments included nine replicates for the TAN treatment and six for the control group (without TAN). Samples were taken at three-time points (0h, 6h, and 12h) after TAN exposure, including those from the control groups. All the experiments were initiated at 8 am every three different days. During

the experiments, shrimps were fed with an equal amount of *Artemia* once at 6 hours after TAN dose administration.

2.2 Samples Collection

Samples were collected from the hatchery Yaguacam, Cienfuegos, Cuba. From each larvae stage, three replicates of ten production tanks were taken from eggs after shrimp females oviposition to post larvae eight stage. Also, samples of each stage were stored in 1.5 mL vials, with ARN later solution to determine the expression profile of each stage. The shrimp response to an ammonium challenge was evaluated using larvae from three stages and cultured in tanks. The samples were stored at -20 °C for posterior analysis.

2.3 Sample processing

Laboratory analyses were performed in Camaguey University Laboratories of Agricultural sciences. Each sample was homogenized in PBS solution and then centrifugated at 8 000 g for 3 minutes in Mini spin plus Eppendorf centrifuge. The supernatant was collected, placed in a new 1.5 mL vial, and stored at -20 °C. The quantification of its protein concentrations was determined through the Bradford assay (22) in a Biotek plate spectrophotometer (ELx 800, 2014).

2.4 Enzymatic assays

Lysozyme activity

The enzymatic activity of lysozyme in shrimp larvae was detected by the turbidimetric method of De-La-Re-Vega et al. (2006). The substrate solution was prepared with 100 mM buffer phosphate (pH = 8) and *M. lysodeikticus* of 1.2 mg/mL. The assay was performed on a 96-well plate scale, adding 20 µL of processed sample and 180 µL of the substrate solution, resulting in a final volume of 200 µL per well. The absorbance was measured at 630 nm of wave length two times (0 and 10 minutes) in a Biotek plate spectrophotometer (ELx 800). A unit of enzymatic activity was defined as a change of 0.001 absorbances per minute. Each replicate was evaluated two times on the plate.

Phenoloxidase activity

PO enzymatic activity was determined according to the protocol of (23) with some changes. The essay was adapted to a 96-well plate scale, adding 20 µL of the samples and 20 µL of trypsin solution (5mg/mL: in PBS solution) and letting it in incubation for 10 minutes, then the substrate solution (L-DOPA, 1.5 mg/mL in PBS solution) was added, measuring the absorbance at 490 nm, two times (0 and 30 minutes) in a Biotek plate spectrophotometer (ELx 800). A unit of enzymatic activity was defined as a change of 0.001 absorbances per minute. Each replicate was evaluated two times on the plate.

2.5 Statistical analysis

Statistical analyses were performed with GraphPad Prism software (version 9.0). Data were initially tested for normality and homoscedasticity of variances, excluding aberrant values. Data are expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD) and subjected to one-way ANOVA. Significant differences ($P < 0.05$) between experimental groups were detected using the post-hoc Student–Newman–Keuls multiple comparisons test.

3. Results

3.1 Lysozyme activity through shrimp ontogeny.

Lysozyme activity was reported through all the ontogeny stages of *P. vannamei* (See Graph #1). However, Lysozyme activity fluctuated depending on the shrimp stage. After Nauplii I, Lysozyme activity followed an increasing trend until 16 hours after the spawning. Then, enzymatic activity with several minimums and maximums through the shrimp ontogeny, reaching the higher value at 92 h, with 1,73 U/mg. In PostLarvae, the enzymatic activity remained steady except for a significant increase at 284 hours, corresponding to the Postlarvae 5 stage.

3.2 Phenoloxidase activity through shrimp ontogeny.

Phenoloxidase activity was reported through all the ontogeny stages of *P. vannamei* (See Graph #2, a). However, Phenoloxidase activity fluctuated depending on the shrimp stage, remaining steady in the eggs and reaching a low in the first stage of nauplii, just 12h after the spawn. After Nauplii I, phenoloxidase activity followed an increasing trend, reaching the maximum value at Protozoa I (44 U/mg). Then, enzymatic activity decreased to a minimum at Mysis I and grew up to Mysis III. Furthermore, the lower values in the study were reached in the Postlarvae stages.

3.3 Ammonium challenge in larvae stages

Ammonium challenges were developed in three larvae stages: Protozoa II, Mysis II, and Postlarvae 2. The immune profile was evaluated by determining the enzymatic activity of lysozyme and phenoloxidase. In Protozoa II, phenoloxidase activity showed no differences after acute ammonium stress in all the study periods compared to control groups. Meanwhile, there was no report of significant lysozyme activity in Protozoa II in both groups, in Mysis II, lysozyme and phenoloxidase activities increased in control groups during the experimental development. However, ammonium-treated groups did not follow the same behavior, decreasing both activities compared to control groups at 12 hours after the ammonium challenge. Furthermore, in Postlarvae 2, phenoloxidase activity increased until 6 hours in control groups. Nevertheless, in treated groups, the phenoloxidase decreased compared to control groups. Notwithstanding, lysozyme activity did not show differences between treated and control groups.

4. Discussion

4.1 Lysozyme activity through shrimp ontogeny.

Lysozymes are included in the family of antibacterial peptides based on their low molecular weight and their non-specific bacteriostatic effect (24). These enzymes exert their function through the hydrolysis of glycosidic bonds that are linked to the bacterial cell wall (25). Lysozymes are specifically synthesized in hemocytes, mainly the granular ones. In addition, they are well

characterized in Penaeid shrimp, where they have lytic activity against several Gram-negative and Gram-positive bacteria, including the pathogenic *Vibrio* spp. (26,27,25,28).

In our experiments, lysozyme activity was detected in all the ontogenetic stages, from the early hours of being eggs to postlarvae 8. Both fertilized and unfertilized eggs showed a steady lysozyme activity that continued invariable until 14 hours after spawn (Nauplii II). During the nauplii stage, lysozyme activity showed a significant increase in eggs, which could be attributed to the proliferation of bacteria associated with non-fertilized eggs and the egg envelope. The egg envelope contains a variety of microorganisms, including pathogenic bacteria that eventually proliferate during incubation, and colonize the nauplius surface (29). The nauplii were disinfected with chlorine to prevent significant losses; however, the recolonization automatically takes place from hatching water, which constitutes a kind of biological reactor for emerging bacteria with several nutrients from non-fertilized eggs and eggs envelopes (30,31). However, the expression of lysozyme has been reported to be extremely low in eggs or not present at all (10,32). Hence, we suggest these levels of lysozyme activity are due exclusively to maternal transference.

After Nauplii II, lysozyme activity fluctuates with its highest value during protozoa III. Quispe and collaborators demonstrated that in protozoa lysozyme expression reached its highest value. Protozoa is the first stage when shrimp larvae are fed with algae and rotifers; the microorganisms ingested together with food may induce excessive immune response or overexpressed for digestion, enhancing the expression of lysozyme and subsequently its activity (11). Also, their activity values fluctuate according to metamorphosis time frames, when shrimp larvae are most susceptible to pathogens. In post-larvae 5, we also reported a significant increase when shrimp larvae change from planktonic to benthic habits. This change could affect its immune and digestion status, and lysozyme activity could significantly prevent bacterial infections.

Phenoloxidase activity through shrimp ontogeny.

The proPO system is a crucial component of shrimp immune response, based on a complex cascade of enzymatic reactions, where phenoloxidase (PO) plays the leading role (33). PO is a Cu-dependent metallo-type protease that catalyzes multiple reactions: the production of quinones, ortho-hydroxylated phenols, L-DOPA, L-DOPA quinone, and melanin. The result of all reactions is the formation of toxic metabolites with antimicrobial activity and the creation of covalent crosslinking of nearby molecules to form melanin in affected sites and around invading organisms (34). The decrease in PO is closely related to a state of immunosuppression; however, under physiological conditions, this enzyme increases in the face of infections caused by viruses and bacteria (6). PO activity is an indicator that is taken as a reference to analyze the immunological status of crustaceans (35).

In our experiments, we reported PO activity in eggs even just after spawn reached a constant level of phenoloxidase activity in eggs. The peak at protozoa I could be due to the exposure of larvae to the external medium after the metamorphosis, where they could be overwhelmed by microorganisms if not for activation of this enzymatic activity. Glas and collaborators demonstrated the vulnerability of eggs in the early stages of crustacean development and highlighted the crucial role of peroxidase activity in hardening the extra-embryonic coat during these periods (36). Hence, PO activity could also be essential to protect eggs against pathogens. Interestingly, the proPO expression does not start in eggs in *P. vannamei*, suggesting that the PO activity we reported is not due to eggs synthesis de novo of PO but due to mother ovum PO activity itself which is kept during the first eight hours after spawn (10,11). However, we demonstrated that this activity does not remain steady, decreasing in Nauplii I, and increasing its level through the following nauplii stages when finally PO expression starts (11).

The highest value of 298.20 U/ μ g was detected in the protozoa stage. This could be a crucial role of PO in protozoa stages, preparing shrimp larvae to metamorphosis following stages where the expression of PO remains steady (11). That could explain the sharp decrease of PO activity from protozoa to the mysis stage and its quick recovery. Then, PO activity decreased during postlarvae

stages, where shrimp larvae were less vulnerable. In these final stages of early ontogenetic development, the surface area-volume ratio of larvae decreases, therefore affording lower interactions with pathogens or opportunistic microorganisms on the epidermis (9,37).

3.4 Ammonium challenge in larvae stages

Our experiments constitute the first report of acute stress ammonia's effect on lysozyme and phenoloxidase activity in larvae stages. However, it is known that the negative effect of ammonia stress on several vital processes in shrimps affects immune enzyme expression (38). Also, high ammonia levels suppress immune parameters (39) such as total hemocyte count (THCs) and expression profile (40), phagocytic activity (Chen et al., 2003), phenoloxidase (PO) (Lingxu et al., 2004) that mediates melanin synthesis (1), and antibacterial activity (42).

In our experiments, ammonia stress has been shown to reduce the immune response of shrimp larvae, specifically on mysis II of aquatic animals by inhibiting PO activity and phagocytosis (35,43), as well as decreasing (up to 60%) proPO gene expression.

Conclusions

P. vannamei ontogenetic development is characterized by sharp morphological and immunological changes. During the early stages of shrimp larvae, the enzymatic activity of several immune enzymes has been reported, but almost all are not expressed in early stages, suggesting their maternal origin. Instead, they are synthesized in *nuovo* by eggs and nauplii. That is the case of lysozyme and phenoloxidase activity, which have been described in all the larvae stages. In addition, the ammonia effect on the shrimp immune system was shown to be associated with shrimp larvae stages.

Our results provide useful information about shrimp's immune response to pathogens under farming conditions and stressful conditions such as acute ammonia exposition. This information may help in designing efficient strategies for disease control at these stages and thereby help ensure the long-term survival of shrimp aquaculture.

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Roy S, Bossier P, Norouzitallab P, Vanrompay D. Trained immunity and perspectives for shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 2020;12(4):2351-70.2. Campa-Córdova A, Hernández-Saavedra N, Ascencio F. Superoxide dismutase as modulator of immune function in American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Comparative biochemistry and physiology part C: Toxicology & pharmacology*. 2002;133(4):557-65.
3. Cardona E, Lorgeoux B, Chim L, Goguenheim J, Le Delliou H, Cahu C. Biofloc contribution to antioxidant defence status, lipid nutrition and reproductive performance of broodstock of the shrimp *Litopenaeus stylirostris*: Consequences for the quality of eggs and larvae. *Aquaculture*. 2016;452:252-62.
4. Ekasari J, Azhar MH, Surawidjaja EH, Nuryati S, De Schryver P, Bossier P. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish & shellfish immunology*. 2014;41(2):332-9.
5. Valdes Vaillant YdlC, Mejias Palmero J, Corrales Barrios Y, Lopez Rodriguez MR, Hernandez Sariago T, Arenal Cruz A, et al. Efecto de prebióticos y probióticos en la expresión y actividad de fenoloxidasa en camarones *Penaeus*: meta-análisis= Effect of prebiotics and probiotics on the expression and activity of phenoloxidase in *Penaeus* shrimp: meta-analysis. *Agrisost*. 2020;26(3).
6. Lamela REL, Silveira Coffigny R, Quintana YC, Martínez M. Phenoloxidase and peroxidase activity in the shrimp *Litopenaeus schmitti*, Pérez-Farfante and Kensley (1997) exposed to low salinity. *Aquaculture Research*. 2005;36(13):1293-7.
7. Bouaricha N, Charmantier-Daures M, Thuet P, Trilles J-P, Charmantier G. Ontogeny of osmoregulatory structures in the shrimp *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda). *The Biological Bulletin*. 1994;186(1):29-40.
8. Lovett DL, Felder DL. Ontogeny of gut morphology in the white shrimp *Penaeus setiferus* (Decapoda, Penaeidae). *Journal of Morphology*. 1989;201(3):253-72.
9. Martín L, Castillo NM, Arenal A, Rodríguez G, Franco R, Santiesteban D, et al. Ontogenetic changes of innate immune parameters from eggs to early postlarvae of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda). *Aquaculture*. 2012;358:234-9.

10. Gollas-Galvan T, Cabanillas-Gámez M, Hernández-López J, Coronado-Molina D, Martínez-Porchas M. Transcriptional expression of immune system genes in *Litopenaeus vannamei* during ontogenetic development. *Aquaculture Research*. 2017;48(3):1110-8.
11. Quispe RL, Justino EB, Vieira FN, Jaramillo ML, Rosa RD, Perazzolo LM. Transcriptional profiling of immune-related genes in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during ontogenesis. *Fish & Shellfish Immunology*. 2016;58:103-7.
12. Hamilton SE, Hamilton SE. Shrimp farming. *Mangroves and Aquaculture: A Five Decade Remote Sensing Analysis of Ecuador's Estuarine Environments*. 2020:41-67.
13. de Lourdes Cobo M, Sonnenholzner S, Wille M, Sorgeloos P. Ammonia tolerance of *Litopenaeus vannamei* (B oone) larvae. *Aquaculture Research*. 2014;45(3):470-5.
14. Xiao J, Li Q-Y, Tu J-P, Chen X-L, Chen X-H, Liu Q-Y, et al. Stress response and tolerance mechanisms of ammonia exposure based on transcriptomics and metabolomics in *Litopenaeus vannamei*. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019;180:491-500.
15. Zhao M, Yao D, Li S, Zhang Y, Aweya JJ. Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2020;12(4):2194-211.
16. Chang Z-W, Chiang P-C, Cheng W, Chang C-C. Impact of ammonia exposure on coagulation in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;118:98-102.
17. Cui Y, Ren X, Li J, Zhai Q, Feng Y, Xu Y, et al. Effects of ammonia-N stress on metabolic and immune function via the neuroendocrine system in *Litopenaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*. 2017;64:270-5.
18. Hong M, Chen L, Sun X, Gu S, Zhang L, Chen Y. Metabolic and immune responses in Chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) juveniles exposed to elevated ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2007;145(3):363-9.
19. Rodríguez-Ramos T, Espinosa G, Hernández-López J, Gollas-Galván T, Marrero J, Borrell Y, et al. Effects of *Echerichia coli* lipopolysaccharides and dissolved ammonia on immune response in southern white shrimp *Litopenaeus schmitti*. *Aquaculture*. 2008;274(1):118-25.
20. Romano N, Zeng C. Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to decapod crustaceans: a review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. *Reviews in Fisheries Science*. 2013;21(1):1-21.
21. Martín Ríos LD, Corrales Barrios Y, González Salotén M, Carrillo Farnés O, Cabrera Alarcón H, Arenal Cruz A. Principales factores que modifican el sistema inmune en camarones peneidos estrategias para un cultivo sostenible. *Revista de Producción Animal*. 2022;34(1):103-26.

22. Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*. 1976;72(1-2):248-54.
23. Hernández-López J, Gollas-Galván T, Vargas-Albores F. Activation of the prophenoloxidase system of the brown shrimp *Penaeus californiensis* Holmes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*. 1996;113(1):61-6.
24. Kaizu A, Fagutao FF, Kondo H, Aoki T, Hirono I. Functional analysis of C-type lysozyme in penaeid shrimp. *Journal of Biological Chemistry*. 2011;286(52):44344-9.
25. Sotelo-Mundo RR, Islas-Osuna MA, De-la-Re-Vega E, Hernández-López J, Vargas-Albores F, Yepiz-Plascencia G. cDNA cloning of the lysozyme of the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*. 2003;15(4):325-31.
26. Hikima S, Hikima J-i, Rojtinnakorn J, Hirono I, Aoki T. Characterization and function of kuruma shrimp lysozyme possessing lytic activity against *Vibrio* species. *Gene*. 2003;316:187-95.
27. Karthik V, Kamalakannan V, Thomas A, Sudheer NS, Singh ISB, Narayanan RB. Functional characterization of a c-type lysozyme from Indian shrimp *Fenneropenaeus indicus*. *Probiotics and antimicrobial proteins*. 2014;6:114-21.
28. De-La-Re-Vega E, García-Galaz A, Díaz-Cinco ME, Sotelo-Mundo RR. White shrimp (*Litopenaeus vannamei*) recombinant lysozyme has antibacterial activity against Gram negative bacteria: *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahemolyticus* and *Vibrio cholerae*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2006;20(3):405-8.
29. Austin B, Allen DA. Microbiology of laboratory-hatched brine shrimp (*Artemia*). *Aquaculture*. 1982;26(3-4):369-83.
30. Douillet PA, Langdon CJ. Use of a probiotic for the culture of larvae of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*. 1994;119(1):25-40.
31. Quiroz-Guzmán E, Balcázar JL, Vázquez-Juárez R, Cruz-Villacorta AA, Martínez-Díaz SF. Proliferation, colonization, and detrimental effects of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi* during brine shrimp hatching. *Aquaculture*. 2013;406:85-90.
32. Liu H-t, Wang J, Mao Y, Liu M, Niu S-f, Qiao Y, et al. Identification and expression analysis of a new invertebrate lysozyme in Kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus*). *Fish & shellfish immunology*. 2016;49:336-43.
33. Amparyup P, Charoensapsri W, Tassanakajon A. Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013;34(4):990-1001.

34. Charoensapsri W, Amparyup P, Hirono I, Aoki T, Tassanakajon A. Gene silencing of a prophenoloxidase activating enzyme in the shrimp, *Penaeus monodon*, increases susceptibility to *Vibrio harveyi* infection. *Developmental & Comparative Immunology*. 2009;33(7):811-20.
 35. Wang R, Lee SY, Cerenius L, Söderhäll K. Properties of the prophenoloxidase activating enzyme of the freshwater crayfish, *Pacifastacus leniusculus*. *European Journal of Biochemistry*. 2001;268(4):895-902.
 36. Glas PS, Green JD, Lynn JW. Oxidase activity associated with the elevation of the penaeoid shrimp hatching envelope. *The Biological Bulletin*. 1995;189(1):13-21.
 37. Smith VJ, Brown JH, Hauton C. Immunostimulation in crustaceans: does it really protect against infection? *Fish & Shellfish Immunology*. 2003;15(1):71-90.
 38. Lu X, Kong J, Luan S, Dai P, Meng X, Cao B, et al. Transcriptome analysis of the hepatopancreas in the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under acute ammonia stress. *PloS one*. 2016;11(10):e0164396.
 39. Zhao M, Yao D, Li S, Zhang Y, Aweya JJ. Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2020;12(4):2194-211.
 40. Liu F, Li S, Yu Y, Sun M, Xiang J, Li F. Effects of ammonia stress on the hemocytes of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Chemosphere*. 2020;239:124759.
 41. Cerenius L, Söderhäll K. The prophenoloxidase-activating system in invertebrates. *Immunological reviews*. 2004;198(1):116-26.
 42. Zhang L, Pan L, Xu L, Si L. Effects of ammonia-N exposure on the concentrations of neurotransmitters, hemocyte intracellular signaling pathways and immune responses in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*. 2018;75:48-57.
 43. Burge EJ, Madigan DJ, Burnett LE, Burnett KG. Lysozyme gene expression by hemocytes of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, after injection with *Vibrio*. *Fish & shellfish immunology*. 2007;22(4):327-39.
-

|Received: 15 octubre 2024 | **Accepted:** 14 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citation: Fabregat-Guerra, L., Martín, L., Corrales, Y., González, M., Roncarati, A., Arenal, A. Maternal transference of phenoloxidase and lysozyme activity in eggs from *Penaeus vannamei*. *Bionatura* 2024; Volume 9 No 4.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)





Contacto

<https://www.facebook.com/BiodiversityEC>

info.biodiversity@gmail.com

Cel.: +593 99 758 9267

Ibarra-Ecuador.



CENTRO ECUATORIANO DE BIOTECNOLOGÍA DEL AMBIENTE-CEBA

"ENTIDAD DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA"

ACREDITACIÓN SENESCYT - ACR-UNIDAD-24-5

17/06/2024

<https://cebaecuador.org/>

inf.ceba@gmail.com

Cel. (+593) 99 579 7813

Ibarra/ Ecuador, 2024

Instrucciones a los autores

Los Trabajos serán Inéditos: Una vez aprobados, no podrán someterse a la consideración de otra revista, con vistas a una publicación múltiple, sin la debida autorización del Comité Editorial de la Revista. La extensión máxima será 8 cuartillas para los trabajos originales, 12 las revisiones y 4 las comunicaciones breves e informes de casos, incluidas las tablas y figuras.

Los artículos se presentarán impresos (dos ejemplares). Todas las páginas se numerarán con arábigos y consecutivamente a partir de la primera. Estos deben acompañarse de una versión digital (correo electrónico o CD) en lenguaje Microsoft Word, sin sangrías, tabuladores o cualquier otro atributo de diseño (títulos centrados, justificaciones, espacios entre párrafos, etc.). Siempre se ha de adjuntar la carta del consejo científico que avala la publicación y una declaración jurada de los autores. Referencias Bibliográficas. Se numerarán según el orden de mención en el texto y deberán identificarse mediante arábigos en forma exponencial. Los trabajos originales no sobrepasarán las 20 citas; las revisiones, de 25 a 50 y las comunicaciones breves e informes de casos. En las Referencias en caso de que las publicaciones revisadas estén online se debe proveer un enlace consistente para su localización en Internet. Actualmente, no todos los documentos tienen DOI, pero si lo tienen se debe incluir como parte de las referencias. Si no tuviese DOI, incluir la URL.

Tablas, modelos y anexos: Se presentarán en hojas aparte (no se intercalarán en el artículo) y en forma vertical numeradas consecutivamente y mencionadas en el texto. Las tablas se ajustarán al formato de la publicación se podrán modificar si presentan dificultades técnicas. Figuras: Las fotografías, gráficos, dibujos, esquemas, mapas, salidas de computadora, otras representaciones gráficas y fórmulas no lineales, se denominarán figuras y tendrán numeración arábiga consecutiva. Se presentarán impresas en el artículo en páginas independientes y en formato digital con una resolución de 300 dpi. Todas se mencionarán en el texto. Los pies de figuras se colocarán en página aparte. El total de las figuras y tablas ascenderá a 5 para los trabajos originales y de revisión y 3 para las comunicaciones breves e informes de casos. Abreviaturas y siglas: Las precederá su nombre completo la primera vez que aparezcan en el texto. No figurarán en títulos ni resúmenes. Se emplearán las de uso internacional. Sistema Internacional de Unidades (SI): Todos los resultados de laboratorio clínico se informarán en unidades del SI o permitidas por este. Si se desea añadir las unidades tradicionales, se escribirán entre paréntesis. Ejemplo: glicemia: 5,55 mmol/L (100 mg/100 mL). Para facilitar la elaboración de los originales, se orienta a los autores consultar los requisitos uniformes antes señalados disponibles en: [http://www.fisterra.com/recursos_web/mbelvancouver.htm#ilustraciones%20\(figura\)](http://www.fisterra.com/recursos_web/mbelvancouver.htm#ilustraciones%20(figura)) Los trabajos que no se ajusten a estas instrucciones, se devolverán a los autores. Los aceptados se procesarán según las normas establecidas por el Comité Editorial. El arbitraje se realizará por pares y a doble ciego en un período no mayor de 60 días. Los autores podrán disponer de no más de 45 días para enviar el artículo con correcciones, se aceptan hasta tres reenvíos. El Consejo de Redacción se reserva el derecho de introducir modificaciones de estilo y /o acotar los textos que lo precisen, comprometiéndose a respetar el contenido original. El Comité Editorial de la Revista se reserva todos los derechos sobre los trabajos originales publicados en esta.



Periférico Sur s/n, San Antonio. Ibarra – Ecuador

<https://bioecologicos.com/>

<https://www.facebook.com/BioecologicosEC/>

Email: bioecologicosec@gmail.com

Cel.: +593 99 5968529

Docencia, investigación,
extensión y proyección
social al servicio del territorio



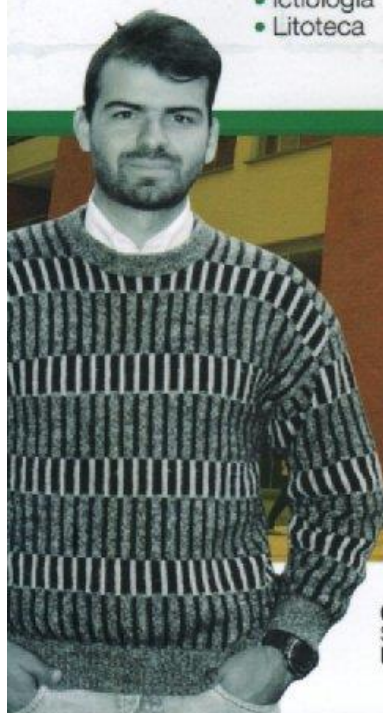
Fortalezas institucionales

- Biotecnología
- Limnología
- Derechos Humanos – Posconflicto
- Internacionalización
- Inclusión Social
 - SER – Servicio Educativo Rural
 - Educación de Alfabetización
- MIES – Instituto de formación para el trabajo y el desarrollo humano
- Formación humanística “Ruta Humanística en el currículo - Cátedra abierta Madre de la Sabiduría”
- Investigación y desarrollo tecnológico
- Comprometida con la calidad
- Centro de Estudios Territoriales
- Biodiversidad
 - Herbario
 - Ictiología
 - Litoteca

Áreas del conocimiento

- Ciencias Agropecuarias
 - Ciencias de la Educación
 - Ciencias de la Salud
 - Ciencias Económicas y Administrativas
 - Ciencias Sociales
 - Derecho
 - Ingenierías
 - Teología y Humanidades
-
- 26 programas de pregrado
 - 16 programas de posgrado
 - 1 doctorado
 - 8 maestrías
 - 7 especializaciones

www.uco.edu.co [universidad.catolicadeoriente](https://www.facebook.com/universidad.catolicadeoriente) [@uconiano](https://twitter.com/uconiano)



“Servicio educativo con calidad en:
Personas, procesos y servicios”

Contacto institucional Universidad Católica de Oriente
Sector 3, Cra. 46 No. 40B 50 - **PBX:** +(57)(4) 569 90 90. Ext. 694
Fax: +(57)(4) 531 39 72 - **Email:** uco@uco.edu.co

