

Bionatura

International Journal of Biotechnology and Life Sciences



https://www.freepik.es/fotos-premium/primer-plano-protesis-dentales-espejo-contra-fondo-blanco_130217191.htm#fromView=image_search_similar&page=1&position=45&uuiid=b0de5f0c-1c36-4c59-a109-54edfa391dd1



<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-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



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

Alejandro Pineda Soto

Director Ejecutivo CEBA/ CEBA Executive Director

Julio Pineda Insuasti, PhD

Director General / Managing Director

Gustavo Reyes Lara, MSc.

Director de 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-](https://portal.issn.org/custom-search/print/1390-9355/public)

[search/print/1390-9355/public](https://portal.issn.org/custom-search/print/1390-9355/public)

BIORREFINERÍA

(BIOREFINERY JOURNAL)

ISSN 2602-8530 soporte online

[https://www.cebaecuador.org/publicacione](https://www.cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/)

[s/revista-biorrefineria/](https://www.cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/)

[https://portal.issn.org/custom-](https://portal.issn.org/custom-search/print/2602-8530/public)

[search/print/2602-8530/public](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.

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

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

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.

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

Dr. Consuelo Macías Abraham. Especialista de II Grado en Inmunología, Investigadora y Profesora Titular, Doctora en Ciencias Médicas y Miembro Titular de la

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. 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.

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

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 / CONTENT

1	Semejanza a fármacos in silico y análisis ADME de isoflavonas fitoestrogénicas para aplicaciones alimentarias.....	9
2	Métodos predictores por imágenes para el diagnóstico de los caninos retenidos en el maxilar.....	21
3	Evaluación del grado de transformación ecohidrológica, una herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas fluviales.....	36
4	La profesionalización de los gestores docentes en la Facultad de Medicina No.1	57
5	Factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica: aprendizaje apoyado en software educativo.....	71
6	Preservation of minimally processed papaya by using chitosan coatings with turmeric hydroalcoholic extract.....	89
7	Impactos del cambio climático en la integridad funcional del Bosque nublado de la Sierra Maestra, Cuba.....	106
8	Caracterización ambiental del ecosistema marino-costero bahía de Guantánamo en Cuba.....	127
9	Escala para documentos científicos de estandarización médica.....	149
10	Hidrólisis enzimática de almidón con α -amilasa en la industria azucarera	165
11	Optimización multiobjetivo con modelos multivariados en la producción de yogur natural batido.....	182
12	Uso de accesorios protésicos en la radioterapia del cáncer de cabeza y cuello.....	201
13	Estudio de la etapa de fermentación en la producción de etanol orgánico.....	109
14	Aspectos genéticos y genómicos de la susceptibilidad y resistencia a las infecciones	223
	Instrucciones para los autores.....	270

1 Semejanza a fármacos in silico y análisis ADME de isoflavonas fitoestrogénicas para aplicaciones alimentarias

In silico druglikeness and ADME analysis of phytoestrogenic isoflavones for food applications

Liyoesmin Salinas-Rojas ^{1*}, Arianna Rubio², Luisa Matos³, Maria Isabel Lantero ⁴, Enrique Molina⁵.

¹Faculty of Applied Sciences (University of Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz / Camagüey / Cuba). ORCID 0000-0001-5405-3237

²Informatics (Center for Genetic Engineering and Biotechnology / Camagüey / Cuba); arianna.rubio@cigb.edu.cu. ORCID 0000-0002-4505-3945

³Faculty of Applied Sciences (University of Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz / Camagüey / Cuba); luisa.matos@reduc.edu.cu. ORCID 0000-0002-2387-163X

⁴Institute of Pharmacy and Food (University of Havana / Havana / Cuba); mailantero@gmail.com.

⁵ Faculty of Applied Sciences (University of Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz / Camagüey / Cuba); enrique.molina@reduc.edu.cu. ORCID 0000-0001-7987-1893

*Correspondence: salinasliyoesmin@gmail.com

DOI:

Abstract

Isoflavones are bioactive compounds found in vegetables, particularly legumes, with potential nutraceutical properties. Their estrogenic activity, attributed to structural similarity to estradiol, allows them to bind and modulate estrogen receptors, conferring beneficial effects such as cancer prevention and treatment, osteoporosis, sarcopenia, and diabetes. However, their bioactivity and nutraceutical potential are limited by bioavailability. This study analyzed the pharmacokinetic properties, druglikeness, and bioavailability of 13 isoflavones using the web tool SwissADME. Results showed that none of the isoflavones fell completely within the optimal physicochemical properties for oral bioavailability, primarily due to their characteristic unsaturation. Puerarin exhibited high polarity and violated several druglikeness criteria, suggesting potential issues with absorption and permeability. The remaining compounds complied satisfactorily with druglikeness rules. Most isoflavones exhibited high intestinal membrane permeability, with neobavaisoflavone, formononetin, and daidzein also able to cross the blood-brain barrier. None acted as substrates for P-glycoprotein, and they generally worked as inhibitors of cytochromes CYP1A2, CYP2D6, and CYP3A4. These findings provide valuable insights into the pharmacokinetic behavior and

druglikeness of isoflavones, aiding in the development of nutraceutical products and guiding further research on their bioavailability and biological effects.

Keywords

Isoflavones; bioavailability; pharmacokinetics; druglikeness; SwissADME; nutraceuticals; estrogenic activity

Introduction

The nutraceutical properties of phytoestrogens are of great interest primarily because of their potential ability to alleviate symptoms associated with menopause. These compounds are widely used as alternatives to hormone-replacement therapies. Among these bioactive compounds, isoflavones are particularly noteworthy (1).

Their estrogenic activity is attributed to their structural similarity to estradiol, the primary endogenous estrogen in mammals. They can bind to and modulate the activity of estrogen receptors alpha and beta, with the latter being recognized for its anticancer activity. Most isoflavones preferentially bind to beta-estrogen receptors (2). Estrogen receptors can regulate biological processes through different mechanisms. In genomics, ligands bind to estrogen receptors in the nucleus and generate conformational changes that dissociate chaperones, enabling dimerization and activation of target gene transcription. Non-classical regulation of gene expression involves protein-protein interactions of the receptor with other transcription factors, such as AP-1, and stimulation proteins (SP-1) with response elements (3). The beneficial effects associated with their consumption include cancer prevention and treatment (4,5), osteoporosis (6), sarcopenia (7), and diabetes (8).

Vegetables, particularly legumes, such as soybeans, beans, and alfalfa, are rich sources of isoflavones. The foods that contribute the most to isoflavone intake include soy-derived products, soybeans, soy flour, soy flakes, soy beverages, and fermented soy products such as miso and tempeh, among others. Some of the most promising compounds within this group are daidzein, genistein, glycitein, biochanin A and formononetin (9). Owing to their beneficial effects, isoflavones are now used in various commercial products such as functional health supplements, cosmetics, and beverages (2).

The bioactivity and nutraceutical potential of these compounds are limited by their bioavailability (10). *In silico* analyses can help predict behavior and reduce cost and time consumption. SwissADME is a web tool that can assist with this regard (11). The objective of this study was to analyze the pharmacokinetic properties, druglikeness, and bioavailability of 13 isoflavones using SwissADME.

Materials and methods

The SMILES (Simplified Molecular Input Line Entry System) strings of the studied isoflavones were obtained from the PubChem database (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>). Table 1 provides detailed information including the compound name, database identifier, and SMILES.

Table 1. Smile codes of the 13 isoflavones evaluated in their bioavailability, druglikeness and pharmacokinetics profile using SwissAdme web platform services.

Compound	Pubchem CID	Canonical SMILES
Genistein	5280961	<chem>C1=CC(=CC=C1C2=COC3=CC(=CC(=C3C2=O)O)O)O</chem>
Daidzein	5281708	<chem>C1=CC(=CC=C1C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3)O)O</chem>
Biochanin A	5280373	<chem>COC1=CC=C(C=C1)C2=COC3=CC(=CC(=C3C2=O)O)O</chem>
Tectorigenin	5281811	<chem>COC1=C(C2=C(C=C1O)OC=C(C2=O)C3=CC=C(C=C3)O)O</chem>
Puerarin	53850774	<chem>C1=CC(=CC=C1C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3C4C(C(C(C(O4)CO)O)O)O)O)O</chem>
3',4',7-Trihydroxyisoflavone	5284648	<chem>C1=CC(=C(C=C1C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3)O)O)O</chem>
Barpisoflavone A	9944143	<chem>COC1=CC(=CC2=C1C(=O)C(=CO2)C3=C(C=C(C=C3)O)O)O</chem>
2'-Hydroxygenistein	5282074	<chem>C1=CC(=C(C=C1O)O)C2=COC3=CC(=CC(=C3C2=O)O)O</chem>
5-O-Methylgenistein	5748551	<chem>COC1=C2C(=O)C(=COC2=CC(O)=C1)C1=CC=C(O)C=C1</chem>
Gerontoisoflavone A	15223506	<chem>COC1=C(O)C=CC(=C1)C1=COC2=CC(O)=CC(OC)=C2C1=O</chem>
Calycosin	5280448	<chem>COC1=C(C=C(C=C1)C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3)O)O</chem>
Formononetin	5280378	<chem>COC1=CC=C(C=C1)C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3)O</chem>
Neobavaisoflavone	5320053	<chem>CC(=CCC1=C(C=CC(=C1)C2=COC3=C(C2=O)C=CC(=C3)O)O)O</chem>

Using SMILES strings, *in silico* analysis was conducted on the freely accessible web platform SwissAdme (<http://www.swissadme.ch/>).

Results

Physicochemical properties and bioavailability

Bioavailability of a bioactive compound is influenced by its chemical and physical properties. Figure 1 shows the chemical structures of the studied isoflavones and the corresponding radar graph of bioavailability is shown below. In these graphs, the shaded pink area indicates the optimal physicochemical properties for optimal oral bioavailability.

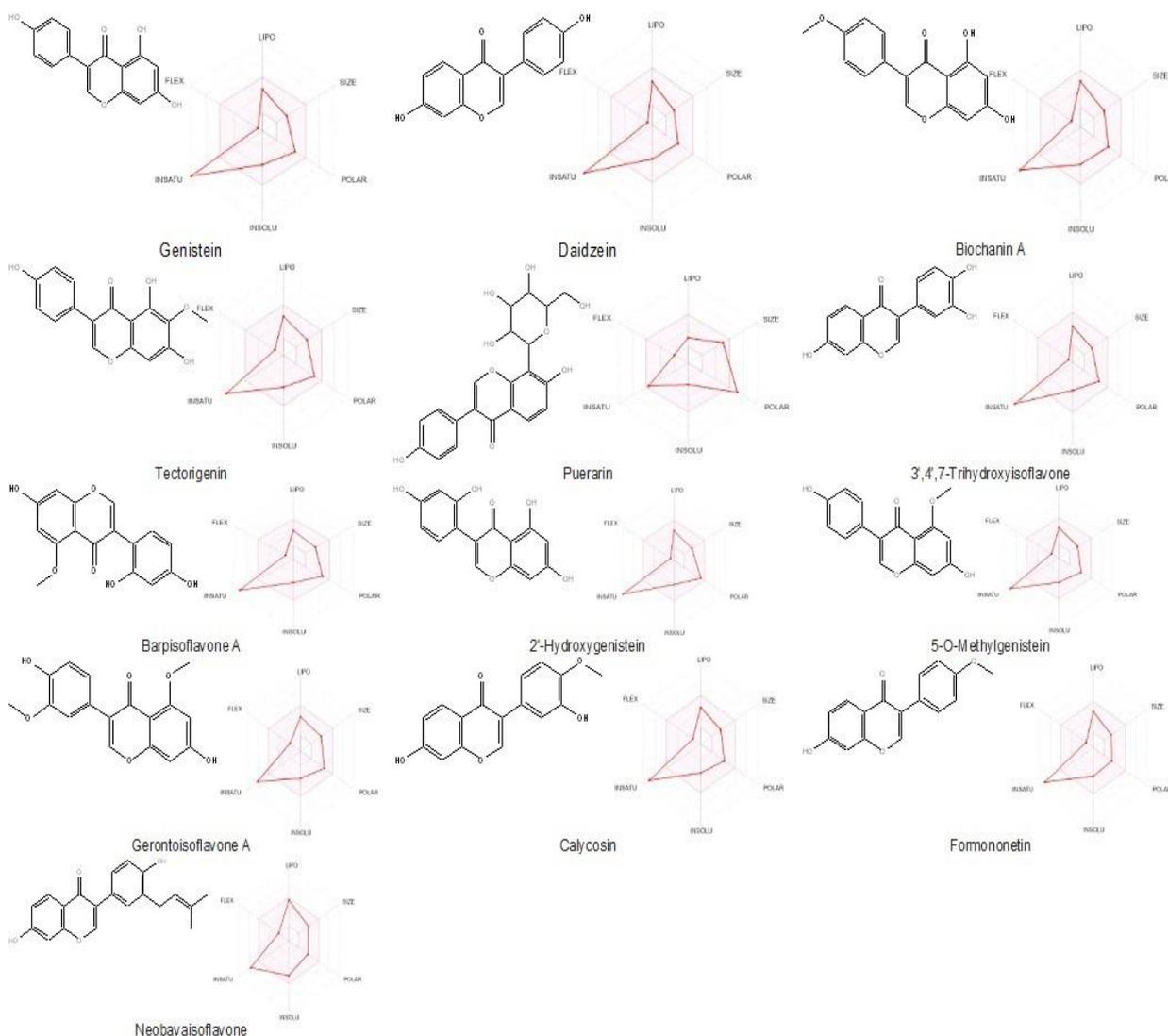


Figure 1. Chemical structures and bioavailability radars of isoflavones (lipophilicity: XLOGP3 between -0.7 and $+5.0$, size: MW between 150 and 500 g/mol, polarity: TPSA between 20 and 130 \AA^2 , solubility: $\log S$ not higher than 6, saturation: fraction of carbons in the sp^3 hybridization not less than 0.25, and flexibility: no more than 9 rotatable bonds). The coordinate values are defined in (11).

Analysis of the graphs shows that none of the isoflavones fall completely within the shaded pink area, which is due to the characteristic unsaturation of their structures. As shown in Table 2, the predicted values of the sp^3 carbon fraction are less than the required 0.25, except for puerarin, whose corresponding value is 0.29. This compound also exhibited high polarity, given by a topological surface area of 160 \AA^2 . Despite these results, a bioavailability score of 0.55 is predicted in all cases.

Table 2. The physicochemical properties of isoflavones were calculated using SwissADME.

Compound	M.W ¹ (g/mol)	nHA ²	nAHA ³	F. Csp ^{3,4}	RB ⁵	nHBA ⁶	nHBD ⁷	MR ⁸	TPSA (Å^2) ⁹
----------	-----------------------------	------------------	-------------------	--------------------------	-----------------	-------------------	-------------------	-----------------	---------------------------------------

Genistein	270.24	20	16	0.00	1	5	3	73.9	90.90
Daidzein	254.24	19	16	0.00	1	4	2	71.97	70.67
Biochanin A	284.26	21	16	0.06	2	5	2	78.46	79.90
Tectorigenin	300.26	22	16	0.06	2	6	3	80.48	100.13
Puerarin	416.38	30	16	0.29	3	9	6	104.59	160.82
3',4',7-Trihydroxyisoflavone	270.24	20	16	0.00	1	5	3	73.99	90.90
Barpisoflavone A	300.26	22	16	0.06	2	6	3	80.48	100.13
2'-Hydroxygenistein	286.24	21	16	0.00	1	6	4	76.01	111.13
5-O-Methylgenistein	284.26	21	16	0.06	2	5	2	78.46	79.90
Gerontoisoflavone A	314.29	23	16	0.12	3	6	2	84.95	89.13
Calycosin	284.26	21	16	0.06	2	5	2	78.46	79.90
Formononetin	268.26	20	16	0.06	2	4	1	76.43	59.67
Neobavaisoflavone	322.35	24	16	0.15	3	4	2	95.69	70.67

¹M.W: Molecular weight; ²nHA: No. heavy atom; ³nAHA: No. aromatic heavy atom; ⁴F. Csp³: No. of sp³ hybridized carbon out of total carbon count; ⁵RB: Rotatable bonds; ⁶nHBA: No. H-bond acceptors; ⁷nHBD: No. H-bond donors; ⁸MR: Molar refractivity; ⁹TPSA: Topological Polar Surface Area.

Druglikeness

The analyzed isoflavones pass druglikeness evaluation with five tools: Lipinski, Muegge, Ghose, Veber and Egan (Table 3). Puerarin (except for Ghose) deviates owing to its elevated hydrogen bond donors and TPSA.

Table 3. Druglikeness of isoflavones.

Compound	Lipinski	Ghose	Veber	Egan	Muegge
Genistein	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Daidzein	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Biochanin A	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tectorigenin	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Puerarin	Violation OH>5	Yes	Violation TPSA>140	Violation TPSA>131.6	Violation TPSA>150 H-don>5

3',4',7-Trihydroxyisoflavone	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Barpisoflavone A	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2'-Hydroxygenistein	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5-O-Methylgenistein	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Gerontoisoflavone A	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Calycosin	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Formononetin	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Neobavaisoflavone	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Pharmacokinetic profile

As shown in Figure 2, the isoflavones included in this study exhibited high permeability of the intestinal membrane, except for puerarin. Only neobavaisoflavone, formononetin, and daidzein, in addition to high intestinal absorption (HIA), can cross the blood-brain barrier (BBB), can cross the blood-brain barrier.

Other relevant pharmacokinetic parameters are summarized in Table 4. It is important to note that none of these phytoestrogens act as substrates for P-glycoprotein (PGP). Generally, they work as inhibitors of cytochrome CYP1A2, CYP2D6, and CYP3A4.

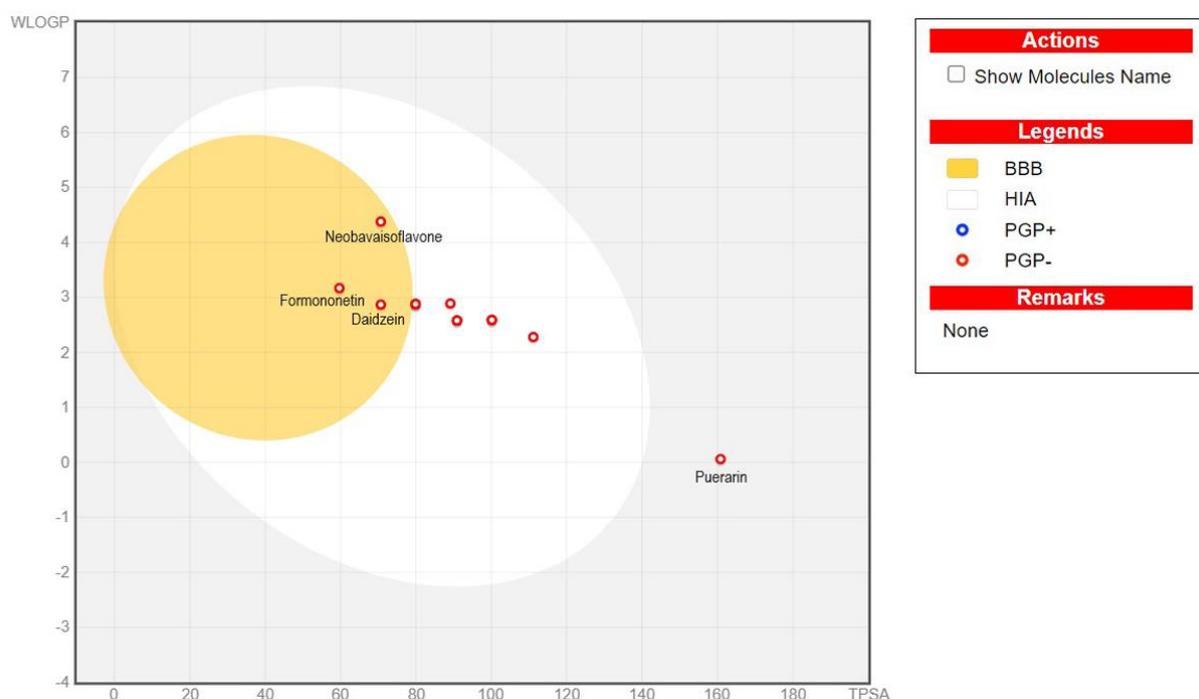


Figure 2. Boiled egg graph representations of isoflavones.

Table 4. Pharmacokinetic profile of isoflavones.

Compound	GI abs.	P-gp subs.	Inhibitor				
			CYP1A2	CYP2C19	CYP2C9	CYP2D6	CYP3A4
Genistein	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Daidzein	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Biochanin A	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Tectorigenin	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Puerarin	Low	No	No	No	No	No	No
3',4',7- Trihydroxyisoflavone	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Barpisoiflavone A	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
2'-Hydroxygenistein	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
5-O-Methylgenistein	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Gerontoisoflavone A	High	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Calycosin	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Formononetin	High	No	Yes	No	No	Yes	Yes
Neobavaisoflavone	High	No	Yes	No	Yes	No	Yes

Discussion

Lipinski established the importance of physicochemical properties of a compound for ADME. He proposed five well-recognized and widely used rules to filter compound libraries, suggesting that violations of these rules could be associated with poor oral absorption and low permeability of the molecules (12). The characteristics of these rules are $MW \leq 500$ Da, $MLOGP \leq 4.15$, N or $O \leq 10$, and NH or $OH \leq 5$ (11). Puerarin, in its structure, has six hydroxyl groups that act as hydrogen donors, thus violating one of these rules. There is a correlation between the number of hydrogen acceptors and donors and the TPSA, where an increase in these groups reduces permeability and, therefore, absorption. The remaining compounds complied satisfactorily with these criteria.

This isoflavone also showed violations according to the Veber, Egan, and Muegge criteria. Its TPSA was 160.82 \AA^2 , exceeding the recommended values of less than 140 \AA^2 , 131.6 \AA^2 , and 150 \AA^2 . This parameter is critical for the permeability through passive membrane transport. When TPSA exceeds 120 \AA^2 , poor absorption occurs; for brain penetration, negative effects are observed when TPSA exceeds 90 \AA^2 (12). In the case of Muegge, as with Lipinski, the number of hydrogen donors is also

considered, resulting in two violations of puerarin. These findings suggest that puerarin has poor gastrointestinal absorption. This is a crucial aspect to consider given its intended use as a bioactive compound for incorporation into foods, which may negatively impact its subsequent biological activity.

None of the isoflavones were predicted to behave as substrates for P-glycoprotein, which acts as a biological barrier by expelling toxins and xenobiotics from the body. This is a key pharmacokinetic factor to consider because of its influence on absorption, which is decisive for the oral bioavailability. Its function limits absorption from the intestine into the systemic circulation during oral administration, restricts penetration into the brain, and facilitates excretion (13).

The biodisponibility radar showed that these compounds have an sp³ carbon fraction below the optimal lower range, set at 0.25. This factor was considered to be correlated with the solubility of the compounds. Higher saturation values give a molecule a greater chance of success during the discovery and use processes (14). Isoflavones are known for their low solubility in water, which can contribute to their reduced bioactivity (10).

Only puerarin exceeded the specified range for TPSA values. This is a critical aspect related to the ability of compounds to traverse biological membranes, such as those in the intestine and brain (11). This relationship is depicted in the boiled egg diagram, where the shaded white area corresponds to compounds with high gastrointestinal absorption and the yolk represents molecules capable of permeating the brain (15). As observed, only one phytoestrogen falls outside these areas.

The inhibition of cytochrome P-450 isoenzymes by the studied compounds is of interest, as it reveals which enzymes may be affected. This is significant because isoenzymes inhibition can lead to drug interactions and induce undesired effects (11).

Except for puerarin, the studied isoflavones have good absorption, distribution, metabolism, and excretion profiles. Abbott bioavailability score seeks to predicts the probability of a compound to have at least 10 % oral bioavailability in rat or measurable Caco-2 permeability which predicts probability of a compound to have $F > 10\%$ based on the predominant charge at biological pH in a rat model (11). All isoflavones exhibited a uniform and good bioavailability score of 0.55. These results coincide with previous ADME studies carried out on daidzein (16) and other compounds such as genistein, glycitein, formononetin and biochanin A (17). The prediction of an adequate ADME profile makes it possible to identify them as potential candidates to continue with subsequent studies until their effective incorporation as bioactives in functional foods. However, numerous studies have indicated that they have a low bioavailability in vivo. Factors such as the food matrix, age, and gender of consumers, as well as extensive biotransformation by the microbiota, play a role in this aspect (18).

The last issue is gaining interest from the scientific community (19,20). Further studies should be conducted to clarify these issues.

Conclusions

The *in silico* analysis of ADME properties, with a focus on pharmacokinetics, druglikeness, and bioavailability, of 13 estrogenic isoflavones using the SwissAdme web tool predicted an adequate profile. The exception was puerarin, which had a high TPSA value and six hydroxyl groups acting as hydrogen donors and showed poor absorption. All compounds met the druglikeness criteria established by Lipinski, Veber, Egan, and Muegge. None of these compounds was predicted to act as substrates for P-glycoprotein. Adequate bioavailability with high gastrointestinal absorption is predicted, along with the ability of neobavaisoflavone, formononetin, and daidzein to permeate the blood-brain barrier. These results contribute to identifying the phytoestrogenic isoflavones studied with an adequate ADME profile as potential candidates for incorporation as bioactive compounds in foods.

Supplementary Materials: The following are available online at www.revistabionatura.com/xxx/s1, Figure S1: title, Table S1: title, Video S1: title.

Author Contributions: Conceptualization, L.S. and E.M. and M.L.; methodology, L.S.; formal analysis, L.S.; investigation, L.S. and A.R.; data curation, L.S.; writing—original draft preparation, L.S.; writing—review and editing, L.S. and L.M.; visualization, A.R.; supervision, E.M. and M.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data Availability Statements in the "Bionatura Research Data Policies" section at <https://www.revistabionatura.com/policies.html>.

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

Acknowledgments: We are grateful to the Swiss Institute of Bioinformatics for providing their web resources for free use.

References

1. De Franciscis P, Colacurci N, Riemma G, Conte A, Pittana E, Guida M, et al. A Nutraceutical Approach to Menopausal Complaints. *Medicina (B Aires)*. 2019 Aug 28;55(9):544. DOI 10.3390/medicina55090544

2. Kim IS. Current Perspectives on the Beneficial Effects of Soybean Isoflavones and Their Metabolites for Humans. *Antioxidants*. 2021 Jun 30;10(7):1064. DOI 10.3390/antiox10071064
3. Cipolletti M, Solar Fernandez V, Montalesi E, Marino M, Fiocchetti M. Beyond the antioxidant activity of dietary polyphenols in cancer: The modulation of estrogen receptors (ers) signaling. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2018;19(9):2624. Available from: DOI:10.3390/ijms19092624
4. Fan Y, Wang M, Li Z, Jiang H, Shi J, Shi X, et al. Intake of Soy, Soy Isoflavones and Soy Protein and Risk of Cancer Incidence and Mortality. *Front Nutr*. 2022 Mar 4;9. DOI 10.3389/fnut.2022.847421
5. Kaufman-Szymczyk A, Jalmuzna J, Lubecka-Gajewska K. Soy-derived isoflavones as chemopreventive agents targeting multiple signalling pathways for cancer prevention and therapy. *Br J Pharmacol*. 2024 Mar 25. DOI 10.1111/bph.16353. Epub ahead of print.
6. Akhlaghi M, Ghasemi Nasab M, Riasatian M, Sadeghi F. Soy isoflavones prevent bone resorption and loss, a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020 Aug 5;60(14):2327–41. DOI 10.1080/10408398.2019.1635078
7. Lee SY, Yoo JI. Soybean isoflavones potentially prevent sarcopenia: a systematic review. *Journal of Ethnic Foods*. 2023 Dec 8;10(1):48. DOI 10.1186/s42779-023-00210-6
8. Kuryłowicz A. The Role of Isoflavones in Type 2 Diabetes Prevention and Treatment—A Narrative Review. *Int J Mol Sci*. 2020 Dec 28;22(1):218. DOI 10.3390/ijms22010218
9. Gómez-Zorita S, González-Arceo M, Fernández-Quintela A, Eseberri I, Trepiana J, Portillo MP. Scientific Evidence Supporting the Beneficial Effects of Isoflavones on Human Health. *Nutrients*. 2020 Dec 17;12(12):3853. DOI 10.3390/nu12123853
10. Liu H, Wang Y, Zhu D, Xu J, Xu X, Liu J. Bioaccessibility and Application of Soybean Isoflavones: A Review. *Food Reviews International*. 2023 Sep 8;39(8):5948–67. DOI 10.1080/87559129.2022.2103824
11. Daina A, Michielin O, Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Sci Rep*. 2017 Mar 3;7(1):42717. DOI 10.1038/srep42717
12. Varma MVS, Obach RS, Rotter C, Miller HR, Chang G, Steyn SJ, et al. Physicochemical Space for Optimum Oral Bioavailability: Contribution of Human Intestinal Absorption and First-Pass Elimination. *J Med Chem*. 2010 Feb 11;53(3):1098–108. DOI 10.1021/jm901371v

13. Elmeliegy M, Vourvahis M, Guo C, Wang DD. Effect of P-glycoprotein (P-gp) Inducers on Exposure of P-gp Substrates: Review of Clinical Drug–Drug Interaction Studies. *Clin Pharmacokinet.* 2020 Jun 13;59(6):699–714. DOI 10.1007/s40262-020-00867-1
14. Lovering F, Bikker J, Humblet C. Escape from Flatland: Increasing Saturation as an Approach to Improving Clinical Success. *J Med Chem.* 2009 Nov 12;52(21):6752–6. DOI 10.1021/jm901241e
15. Daina A, Zoete V. A BOILED-Egg To Predict Gastrointestinal Absorption and Brain Penetration of Small Molecules. *ChemMedChem.* 2016 Jun 6;11(11):1117–21. DOI 10.1002/cmdc.201600182
16. Haseeba Sardar. Drug like potential of Daidzein using SwissADME prediction: In silico Approaches. *PHYTONutrients.* 2023 Nov 28;01–7. DOI 10.62368/pn.vi.19
17. Muslikh FA, Samudra RR, Ma'arif B, Ulhaq ZS, Hardjono S, Agil M. In Silico Molecular Docking and ADMET Analysis for Drug Development of Phytoestrogens Compound with Its Evaluation of Neurodegenerative Diseases. *Borneo Journal of Pharmacy.* 2022 Nov 30;5(4):357–66. DOI 10.33084/bjop.v5i4.3801
18. Turner NJ, Thomson BM, Shaw IC. Bioactive Isoflavones in Functional Foods: The Importance of Gut Microflora on Bioavailability. *Nutr Rev.* 2003 Jun 1;61(6):204–13. DOI 10.1301/nr.2003.jun.204-213
19. Stojanov S, Kreft S. Gut Microbiota and the Metabolism of Phytoestrogens. *Revista Brasileira de Farmacognosia.* 2020 Apr 16;30(2):145–54. DOI 10.1007/s43450-020-00049-x
20. Seyed Hameed AS, Rawat PS, Meng X, Liu W. Biotransformation of dietary phytoestrogens by gut microbes: A review on bidirectional interaction between phytoestrogen metabolism and gut microbiota. *Biotechnol Adv.* 2020 Nov;43:107576. DOI 10.1016/j.biotechadv.2020.107576

/ **Received:** 15 June 2024 / **Accepted:** 28 August 2024 / **Published:** 14 September 2024 /

Citation: Salinas-Rojas, L., Rubio, A., Matos, L., Lantero, M., Molina, E., Semejanza a fármacos in silico y análisis ADME de isoflavonas fitoestrogénicas para aplicaciones alimentarias. *Bionatura.* 2024; Volume (9). No 3.

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

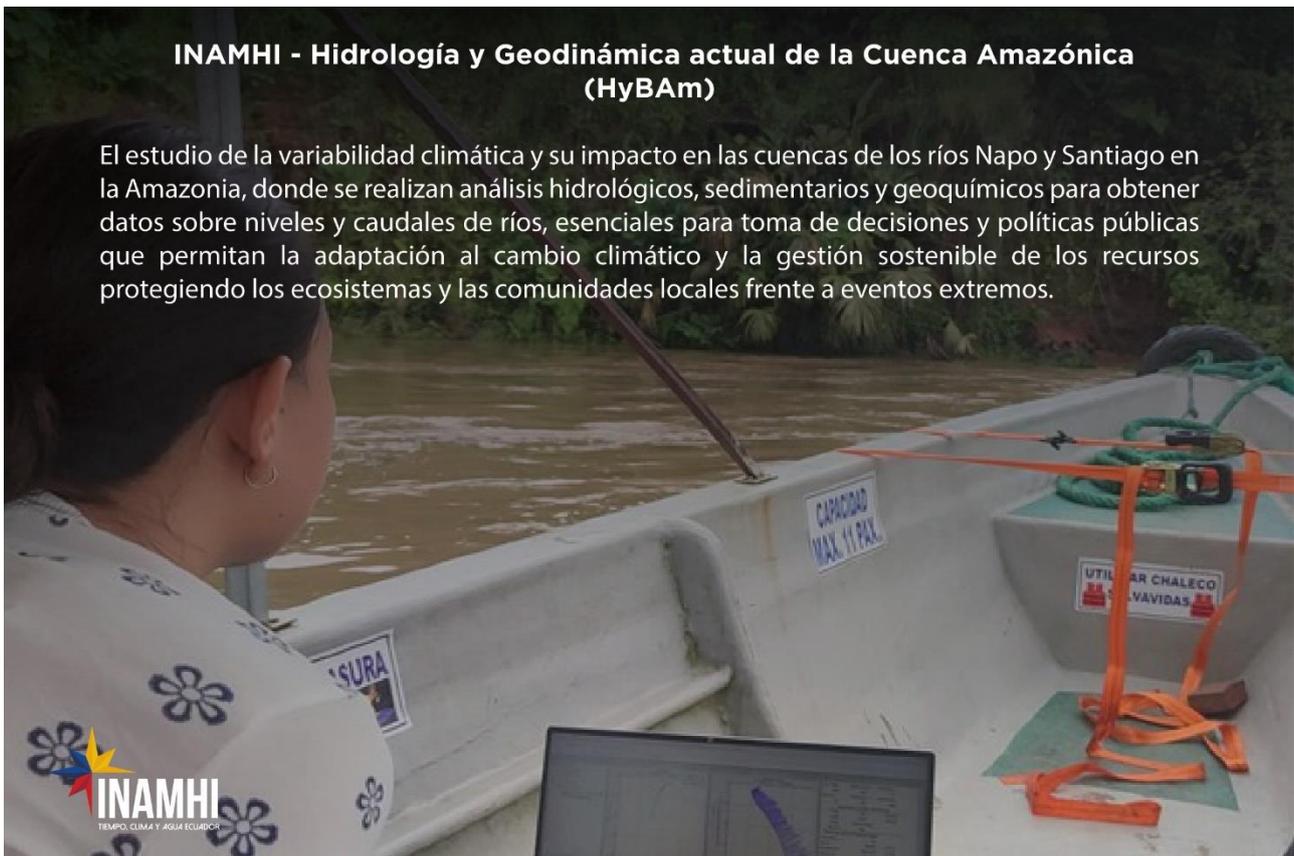
All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

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**

2 Métodos predictores por imágenes para el diagnóstico de los caninos retenidos en el maxilar

Image-predictive methods for the diagnosis of maxillary retained canines

Oscar Rivero Pérez^{1*}, Silvia María Díaz Gómez², Gretel Mosquera Betancourt³, Tania Victoria Puerto Pérez⁴.

^{1*}Hospital Universitario Manuel Ascunce Domenech. Servicio de Cirugía Maxilofacial. Camagüey. Cuba. oscarrivero@infomed.sld.cu . <https://orcid.org/0000-0002-0201-9675>

²Clínica Estomatológica La Vigía. Camagüey. Cuba. <https://orcid.org/0000-0002-6314-3434>

³Hospital Universitario Manuel Ascunce Domenech. Servicio de Neurocirugía. Camagüey. Cuba. gremb.cmw@infomed.sld.cu . <https://orcid.org/0000-0003-4547-9484>

⁴Universidad de Ciencias Médicas. Departamento Informática Médica. Camagüey, Cuba. <https://orcid.org/0000-0003-2873-8413>

*Autor para la correspondencia: oscarrivero@infomed.sld.cu

Resumen

Aunque se han desarrollado modelos de análisis para predecir la eventual retención de caninos maxilares, no se emplean en la práctica clínica y por ende no se aplican para estimar el potencial de dicha retención; hasta ahora solo se constituyen en métodos aislados que determinan la ubicación mesiodistal del canino con respecto a los dientes vecinos o su angulación con respecto a diferentes planos de referencia; de manera adicional, en Cuba no se encuentra información sobre el uso de estos métodos predictores para el diagnóstico correcto de los caninos retenidos en el maxilar. Existen métodos predictores angulares y sectoriales. Los investigadores concluyen así que, tanto el análisis angular como el sectorial, en radiografías panorámicas, son válidos para la predicción del pronóstico de caninos retenidos en el maxilar. Por otro lado, para realizar las mediciones angulares según método de Warford se utiliza como línea de referencia una recta que pasa por la cortical superior de ambos cóndilos mandibulares, por lo tanto, si existe una posición de uno de los cóndilos más alta, variará la línea de referencia y por lo tanto la angulación del canino maxilar retenido, esta variación en la altura de los cóndilos se puede deber a una asimetría condilar o de rama mandibular. Los autores recomiendan el método angular de Power y Short, pues proporciona la misma clasificación que el análisis de Warford y colaboradores y se evitan sesgos relacionados con la ubicación del plano bicondilar.

Palabras claves: retención dentaria; caninos retenidos; métodos predictores

Abstract

Although analysis models have been developed to predict the eventual retention of maxillary canines, they are not used in clinical practice and therefore are not applied to estimate the potential for said retention; Until now they have only constituted isolated methods that determine the mesiodistal location of the canine with respect to neighboring teeth or its angulation with respect to different reference planes; Additionally, in Cuba there is no information on the use of these predictive methods for the correct diagnosis of retained canines in the maxilla. There are angular and sectoral predictor methods. The researchers thus conclude that both angular and sectoral analysis, in panoramic radiographs, are valid for predicting the prognosis of retained maxillary canines. On the other hand, to carry out angular measurements according to the Warford method, a straight line that passes through the upper cortex of both mandibular condyles is used as a reference line, therefore, if there is a higher position of one of the condyles, the reference line and therefore the angulation of the retained maxillary canine, this variation in the height of the condyles may be due to a condylar or mandibular ramus asymmetry. The authors recommend the angular method of Power and Short, as it provides the same classification as the analysis of Warford et al. and avoids biases related to the location of the bicondylar plane.

Keywords: dental retention; retained canines; predictor methods

Introducción

Un canino superior retenido es aquel que, llegado el tiempo de su normal erupción en la arcada dentaria en un individuo de 11 a 13 años, y haber alcanzado su desarrollo pleno (diente formado), queda retenido o encerrado en el maxilar y mantiene íntegro su saco pericoronario. Este diente tiene el periodo más largo de desarrollo, así como el más extenso y tortuoso camino desde su formación; de ahí que presentan una elevada frecuencia de retención.^{1,2,3,4}

Uno de los rasgos característicos de la retención del canino superior, aseveran Martínez Ramos y colaboradores,³ así como Gay Escoda⁵ es la ausencia de sintomatología en el 80 % de los pacientes, solo el 20 % de ellos, junto a la presencia de la retención, presentan síntomas clínicos que los obligan a visitar al estomatólogo. Dentro de los aspectos más estudiado destacan Melo León,⁴ Gay Escoda,⁵ Donado Rodríguez⁶ y Upegui Zea y colaboradores⁷ que ha sido la clasificación de las diferentes posiciones que adopta.

Epidemiología de la retención del canino superior

Mousa y colaboradores⁸ plantean que la retención del canino superior es uno de los problemas ortodóncico-quirúrgicos más frecuentes, con una incidencia de 0,9 % a 2,2 % en la población general

y es el segundo diente que más se retiene, después del tercer molar, con una incidencia del 0,92 % al 1,7 %, resultados que coinciden con los hallados por Upegui Zea y colaboradores.⁷



Figura 1. Retención bilateral de caninos en el maxilar en una paciente de 13 años de edad. Se realizó técnica de Clark para descubrir las coronas y colocar dispositivos ortodóncicos para traccionarlos y reubicarlos en la arcada dentaria.

Por su parte Mohammed y colaboradores⁹ ratifican en su estudio que el canino retenido en el maxilar fue más frecuente en el sexo femenino en un 54,1 %, y que el 54,1 % de los caninos retenidos estaban ubicados en el lado izquierdo, lo que concuerda con los resultados que obtuvo Alhammad y colaboradores.¹⁰

Es criterio de los autores de la presente investigación que, esta alteración afecta de modo especial a niños y adolescentes entre 11 y 18 años de edad, sin embargo, esta alteración está presente también en adultos, por lo que se puede determinar que existe poca importancia frente a esta problemática, en cuanto al tratamiento.

En Cuba, Lazo Amador y colaboradores,¹¹ consideran que en el país los estudios evidencian una incidencia de la retención de caninos superiores de 17,8 %. Éstos se localizan en el 60 % de los casos en el paladar, en el 30 % hacia vestibular y en el 10 % en posición intermedia y ocurre asimismo más común en mujeres que en hombres, estadística que armoniza con otros autores cubanos, que han realizados estudios en otras regiones del país.¹²⁻¹⁵

Los autores consideran que, la retención de los caninos maxilares ha despertado un enorme interés entre los investigadores, abordando sus diferentes aspectos epidemiológicos, etiopatogénicos y terapéuticos desde múltiples puntos de vistas.

Empleando los resultados de Troya Borges y colaboradores,¹⁶ en un estudio realizado en el municipio Colón, provincia de Matanzas, aluden que el canino retenido más afectado fue el superior derecho, para un 42,5 %. La localización palatina se presenta en 24 pacientes, para un 60 %.

Importancia del diagnóstico y reubicación de los caninos retenidos en la arcada dentaria

A causa del papel preponderante que tienen los caninos superiores en el arco dentario, resulta imprescindible llevarlos a su posición normal cuando están retenidos, debido a las siguientes razones:^{3,14,17}

- Centralizan, desocluyen y desprograman la oclusión dentaria. Además, marcan el límite de los sectores anterior y posterior e influyen de forma directa en la sonrisa (estética).
- La eminencia canina es la responsable de dar soporte al labio superior y permite que los signos de envejecimiento aparezcan de modo más tardío (estética).
- Su correcta posición es esencial para dar contactos interproximales adecuados entre los incisivos laterales y primeros premolares, proporcionando protección al periodonto.

Aspectos generales de la erupción dentaria

El proceso de desarrollo y erupción de los dientes ha despertado gran interés en las diferentes épocas y culturas. Considerado un medidor de la maduración, la erupción de los dientes está muy relacionada con el crecimiento y desarrollo que experimentan los infantes durante su tránsito hacia la madurez. El conocimiento de este proceso permite al profesional encargado de la salud bucal del niño tomar las medidas que impidan la aparición de anomalías de la oclusión.^{18,19}

La erupción dentaria es el proceso de migración de la corona dentaria desde su lugar de desarrollo dentro del hueso maxilar hasta su posición funcional en la cavidad bucal. El mecanismo por el cual se produce es desde hace tiempo tema de controversia y mucho se ha escrito sobre el origen de la fuerza responsable del movimiento dentario desde su lugar de desarrollo hasta su posición fisiológica en el maxilar.^{5,18,20}

La erupción de los dientes está regida por numerosos factores que pueden provocar su adelanto o retardo en los infantes. De ahí que la misma se considere como un proceso de maduración biológica y medidor del desarrollo orgánico. Se conoce que existe control genético en cada una de las etapas de formación del germen dentario, así como en la calcificación y erupción del mismo.¹⁸

La formación del canino maxilar comienza a los cuatro o cinco meses de edad, el esmalte termina su formación alrededor de los seis o siete años, a los 11 años de edad es cuando erupciona, pero no es sino hasta los 13,6 años de edad cuando termina la formación de su raíz por completo. Los caninos emergen a la cavidad oral una vez que se ha formado $\frac{3}{4}$ partes de su raíz. Luego de alcanzar el plano oclusal, deben pasar de dos a tres años para lograr la formación el cierre apical completo.²¹

Los caninos superiores son de los últimos dientes en brotar, puede existir compromiso del espacio para ellos en la arcada dentaria en el momento de la erupción. La trayectoria que tienen que recorrer desde el punto donde se forma su germen, cerca del suelo de la órbita, por fuera de la fosa piriforme, hasta que llega a emerger en la arcada, es mucho más larga y compleja que la que sigue cualquier otro diente, es alrededor de 20 milímetros.^{11,21}

Causas de la retención de los caninos en el maxilar



Figura 2. Causas de la retención de los caninos en el maxilar

Diagnóstico clínico e imagenológico del canino retenido en el maxilar

Aspectos generales

El método clínico, es considerado el más importante para la elaboración de un diagnóstico oportuno, ya que evidencia la presencia del canino retenido, dentro del hueso en sentido vestibulo-lingual, cérvico-oclusal y mesio-distal, en relación con las estructuras adyacentes; sin embargo, siempre antes de realizar el examen imagenológico, que pudiera ser una radiografía periapical, panorámica, oclusal y métodos más avanzados, se realizará un diagnóstico clínico basado en el interrogatorio y examen físico intra y extrabucal. El signo clínico prodrómico es la ausencia del canino permanente y suele ser asintomático.^{23,24}

Los diferentes métodos diagnósticos, evaluación clínica y radiográfica, para la detección temprana y prevención de los caninos retenidos pueden reducir el tiempo de tratamiento, la complejidad y complicaciones. La evaluación clínica incluye la historia familiar, la inspección visual y la palpación de la protuberancia sobre el canino.^{22,25}

Los autores del artículo consideran que en todos los campos de la estomatología es primordial el diagnóstico correcto, al cual se llega a través del interrogatorio y examen físico del paciente y la realización de distintas pruebas complementarias. Con todo ello, el profesional en base a sus conocimientos y experiencia, establecerá un diagnóstico certero; y luego podrá emplear distintos métodos de tratamiento. La Historia Clínica tiene un papel demuestrado como los datos obtenidos en el interrogatorio permiten tender lazos entre los datos objetivos las pruebas complementarias.

Signos clínicos del canino superior retenido

Posibles signos clínicos de retención: ^{5,24,26,27}

- persistencia del canino deciduo más allá de los 14 o 15 años.
- asimetría en la eminencia o protuberancia canina.
- presencia de una protuberancia en palatino.
- erupción dental retrasada o migración del incisivo lateral.
- diastemas interincisales.
- disminución del espacio para la ubicación del canino en la arcada dentaria.



Figura 3. Radiografía panorámica que muestra la retención de los dientes 13 y 23, caninos superiores. Consideran los autores, que en la generalidad de los pacientes la retención de los caninos superiores es la ausencia de sintomatología en la gran mayoría de los casos, en la generalidad de los pacientes el diagnóstico es un hallazgo radiológico, sobre todo en el paciente adolescente, tratado por el estomatólogo general o bien del ortodoncista, en el curso de un examen de rutina o previo a un tratamiento ortodóncico. En el adulto, lo más común será el hallazgo radiológico fortuito, en el curso de un examen de rutina o con vistas a un tratamiento protésico.

Se ha descrito que el 29 % de los caninos no son palpables a los 10 años, el 5 % a los 11 años y el 3 % posterior a esta edad. ^{5,24,26,27}

Métodos predictores por imágenes para evaluar probabilidad de retención del canino maxilar y su pronóstico

Aunque se han desarrollado modelos de análisis para predecir la eventual retención de caninos maxilares, no se ha definido con exactitud la habilidad y asociación de los mismos para estimar el potencial de dicha retención; hasta ahora solo se constituyen en métodos aislados que determinan la ubicación mesiodistal del canino con respecto a los dientes vecinos o su angulación; de manera adicional, en nuestro país no existe información epidemiológica a profundidad de esta entidad clínica.

7

Análisis de Ericson y Kurol

Upegui Zea y colaboradores, ⁷ sostienen que este método fue creado por Ericson y Kurol en 1988. Los autores desarrollan un proceder basado en radiografías panorámicas para determinar la vía de erupción de los caninos y la posición mesiodistal de la corona e identificar el grado de erupción del canino. ^{11,29,30}

Descripción del método

Se establecen cinco sectores definidos por los ejes longitudinales del incisivo central e incisivo lateral maxilar y líneas paralelas que pasan por el punto de contacto entre centrales, lateral con central, mesial y distal del canino temporal; determinaron así el pronóstico para su erupción espontánea. Se determina que entre más mesial se encuentre la cúspide del canino superior al eje longitudinal del incisivo lateral superior, menor probabilidad de erupción espontánea habrá. Estas posibilidades de erupción espontánea aumentan entre más distal se ubique la cúspide del canino permanente y disminuye el riesgo de retención. ^{11,28,29}

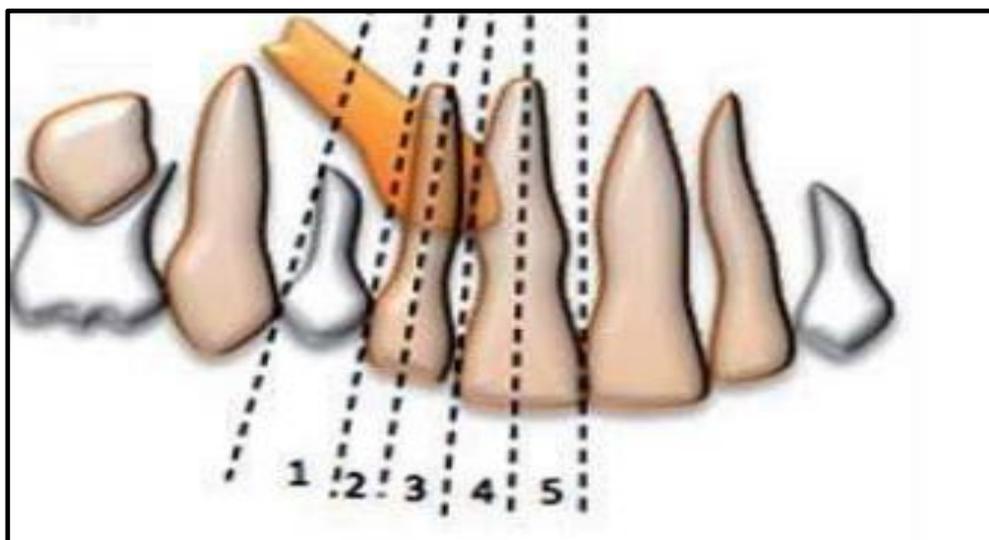


Figura 4. Análisis de Ericson y Kurol, para determinar la vía de erupción de los caninos superiores.

Análisis de Ericson y Kurol (modificación de Lindauer y colaboradores). Descripción del método

Camarena Fonseca y colaboradores,²⁸ argumentan que en este procedimiento predictivo descrito por Lindauer y colaboradores en 1992, diagraman cuatro sectores delimitados por tres líneas que toman como referencia el incisivo lateral (una mesial, una distal y una central). El sector I se encuentra distal a la tangente proximal distal, el II en la mitad distal del lateral, el III en la mitad mesial, y el IV corresponde a toda la zona mesial a la tangente proximal mesial.

Para ubicar el canino se tiene en cuenta en qué sector se localiza la cúspide del mismo. El pronóstico es favorable cuando la cúspide se ubica en el sector I y empeora entre más mesial se encuentre la localización de la cúspide, con un riesgo de impactación del 87 % en el sector III y del 99 % en el sector IV.²⁸

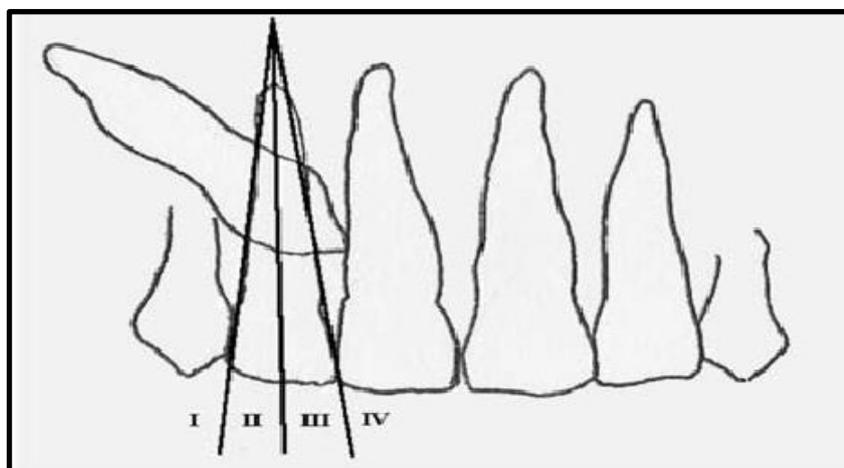


Figura 5. Análisis de Ericson y Kurol (modificación de Lindauer y colaboradores).

Análisis de Power y Short

Señala Upegui Zea y colaboradores,⁷ que el análisis de Power y Short fue descrito en 1993, casi al mismo tiempo de la publicación del método de Lindauer y colaboradores.²⁸

Descripción del método

Este método utiliza un ángulo formado entre el eje longitudinal del canino y una línea media de referencia perpendicular al borde de la radiografía que pasa por la espina nasal anterior. Cuando el ángulo formado se encuentra entre 0 y 15° el pronóstico es favorable; entre 15 y 30° es regular; y cuando supera los 31° disminuye la posibilidad de que el canino retome su vía normal de erupción, y su pronóstico es malo.^{7,28}

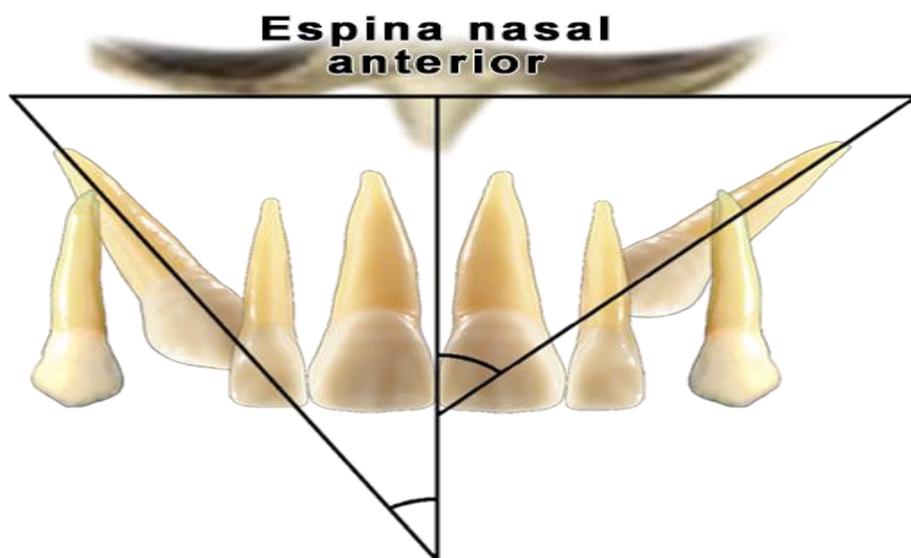


Figura 6. Análisis de Power y Short.

Análisis de Warford y colaboradores

Descripción del método

Camarena Fonseca y colaboradores,²⁸ dan a conocer que el pronóstico de erupción de este método, descrito por sus autores en el 2003, está basado en la angulación formada entre una línea bicondilar trazada en la radiografía panorámica y el eje longitudinal del canino. El pronóstico es favorable cuando el ángulo formado es mayor a 75° ; cuando se encuentra entre 75° y 59° es regular; y es malo cuando es menor a 59° .

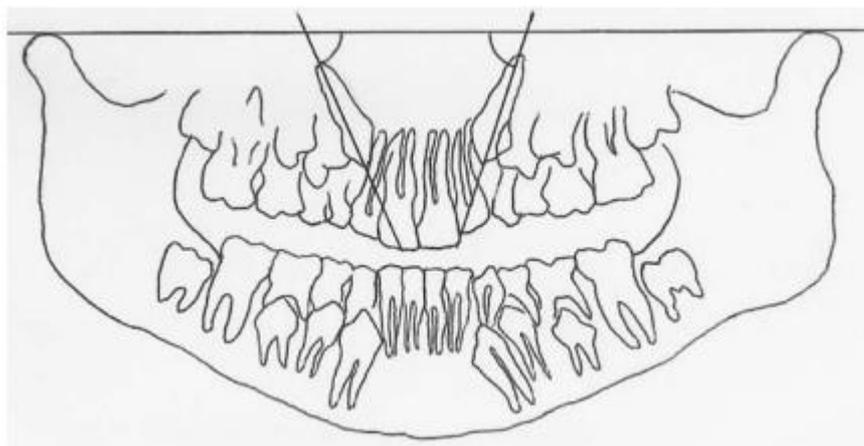


Figura 7. Análisis de Warford y colaboradores

Análisis o Técnica de Clark

Descripción del método

Upegui Zea y colaboradores ⁷ plantean que este procedimiento consiste en la obtención de dos o tres radiografías periapicales del canino, y cambian en la segunda y tercera radiografía, la angulación del cono en alrededor de 20° en dirección mesial o distal. Si el objeto de análisis se localiza por palatino, en las radiografías donde se modificó la angulación, este se desplaza en el mismo sentido del tubo de rayos X, mientras que, si se localiza por vestibular, se traslada hacia el lado contrario.

Asociación predictiva de métodos de análisis para evaluar probabilidad de retención y pronóstico

Según Upegui y colaboradores ⁷ que, en 2009 realizan un estudio con el propósito de verificar la asociación predictiva entre los análisis de Lindauer y colaboradores, Power y Short, Warford y colaboradores y Clark; observan una fuerte concordancia y asociación entre el análisis de Warford y colaboradores y el de Power y Short, más no con el análisis de Lindauer y colaboradores, concluyen así que tanto el análisis angular como el sectorial, en radiografías panorámicas, son válidos para la predicción del pronóstico de caninos maxilares retenidos.

Al asociar los resultados arrojados por el análisis de Lindauer y colaboradores con los análisis de Warford y colaboradores, y Power y Short, no hay coincidencia con respecto al pronóstico para ocho caninos evaluados, pues algunos pacientes clasificados con pronóstico regular o malo por Lindauer y colaboradores, se consideran con pronóstico bueno o regular para los otros dos análisis comparados. Al contrastar los análisis de Warford y colaboradores, y Power y Short se encuentra asociación fuertemente positiva con concordancia de uno; con ambas técnicas se llegó al mismo pronóstico. ²⁸

Hay asociación y concordancia fuertemente positiva entre el análisis de Power y Short y el análisis de Warford y colaboradores, mas no de estos dos con el análisis de Lindauer y colaboradores, razón por la cual para predecir el pronóstico de caninos maxilares retenidos, es válido realizar tanto el análisis angular como el sectorial; de los análisis angulares se prefiere el de Power y Short, ya que proporciona la misma clasificación que el análisis de Warford y colaboradores y se evitan sesgos relacionados con la ubicación del plano bicondilar. ^{7,28}

La pequeña diferencia que existe entre asociar Lindauer y colaboradores-Power y Short, y Lindauer y colaboradores-Warford y colaboradores radica en que para realizar las mediciones angulares según método de Warford se utiliza como línea de referencia una recta que pasa por la cortical superior de ambos cóndilos mandibulares, por lo tanto, si existe una posición de uno de los cóndilos más alta, variará la línea de referencia y por lo tanto la angulación del canino maxilar retenido y esta variación en la altura de los cóndilos se puede deber a una asimetría condilar o de rama mandibular. ^{7,28}

Conclusiones

Tras una revisión de la literatura actual, los estudios demostraron que los métodos predictores para el diagnóstico de los caninos retenidos en el maxilar, son instrumentos imprescindibles para realizar una predicción de la posición, situación y profundidad de los caninos retenidos. De esta manera se considera la correlación de estos métodos utilizando las imágenes radiográficas, que pudiera ser una vista panorámica. Esto mejora el diagnóstico y a su vez acosta el tiempo no solo del diagnóstico sino del tratamiento de los pacientes que presentan este tipo de retención dentaria. Además, se invoca a los profesionales de salud, relacionados con esta problemática a tener en cuenta estos métodos predictores para garantizar una mejor calidad en la atención estomatológica.

Contribución de los autores:

Conceptualización: Oscar Rivero Pérez

Análisis formal: Oscar Rivero Pérez, Tania Victoria Puerto Pérez

Investigación: Oscar Rivero Pérez, Silvia María Díaz Gómez

Metodología: Oscar Rivero Pérez, Tania Victoria Puerto Pérez

Administración del proyecto: Oscar Rivero Pérez

Recursos: Oscar Rivero Pérez, Silvia María Díaz Gómez, [Gretel Mosquera Betancourt](#)

Supervisión: Oscar Rivero Pérez, [Gretel Mosquera Betancourt](#)

Validación: Oscar Rivero Pérez, Silvia María Díaz Gómez, [Gretel Mosquera Betancourt](#)

Visualización: Oscar Rivero Pérez

Redacción-borrador original: Oscar Rivero Pérez, Silvia María Díaz Gómez, [Gretel Mosquera Betancourt](#)

Redacción-revisión y edición: Oscar Rivero Pérez, Silvia María Díaz Gómez, [Gretel Mosquera Betancourt](#)

Fondos:

Esta investigación no recibió financiamiento externo

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Referencias

1. Alfaro Mon, M.; Lima Álvarez, L. Riesgo Quirúrgico. En, Estomatología General Integral.; González Naya G., Montero del Castillo M.E, editores. La Habana: ECIMED; 2013. p. 303-317.
2. Corrales León, A.L, Serrano Corrales, A., Martínez Rodríguez, M., Serrano Corrales, A., Serrano Corrales, A. Tratamiento ortodóncico-quirúrgico de caninos retenidos en paciente de 14 años. Rev. Ciencias Médicas [Internet]. Abr 2018 [citado 20 abr 2024]; 22(5): 965-72. Disponible en: <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/3456>

3. Martínez Ramos, M., Ricardo Reyes, M., Bosch Marrero, L. Rehabilitación estética y funcional de una paciente con caninos retenidos. MEDISAN [Internet]. 2021 [citado 20 abr 2024];25 (2):[aprox. 9 p.]. Disponible en: <http://www.medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/3213>
4. Melo León, N. Tratamiento quirúrgico de los caninos retenidos en el maxilar superior previo al tratamiento de ortodoncia [Internet]. Ecuador: Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil, Facultad Piloto de Odontología; 2012 [citado 20 may 2024]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2844/1/Nohelia%20Melo.pdf>
5. Gay Escoda, C., Forteza González, G., Herráez Vilas, J.M. Caninos incluidos. Patología, clínica y tratamiento. En: Tratado de Cirugía Bucal. T I. Madrid: Ergon; 2004. p. 459-496.
6. Donado Rodríguez, M. Cirugía bucal. Patología y Técnica. 4ª ed. Madrid: Elsevier Masson; 2013. p.385-394.
7. Upegui Zea, J.C, Echeverri González, E., Ramírez Osa, D.M., Restrepo Narváez, L.M. Determinación del pronóstico en pacientes que presentan caninos maxilares impactados de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia. Rev Fac Odontol Univ Antioq [Internet]. Jul 2009 [citado 22 may 2024];21(1):[aprox. 11 p.]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X200900020000&Ing=en
8. Mousa, M.R, Hajeer, M.Y, Burhan, A.S, Heshmeh, O. The Effectiveness of conventional and accelerated methods of orthodontic traction and alignment of palatally impacted canines in terms of treatment time, velocity of tooth movement, periodontal, and patient-reported outcomes: A systematic review. Cureus [Internet]. 2022 [citado 20 may 2024];14(5):[about e24888 p.]. Available from: <https://doi.org/10.7759/cureus.24888>
9. Mohammed, A.K.; Sravani, G., Vallappareddy, D., Rao, A.R.; Qureshi, A.; Prasad, A.N. Localization of Impacted Canines - A Comparative Study of Computed Tomography and Orthopantomography. J med life [Internet] 2020 [citado 21 may 2024];13(1):[about 8 p.]. Available from: <https://doi.org/10.25122/jml-2020-0001>
10. Alhammadi, M.S.; Asiri, H.A.; Almashraqi, A.A. Incidence, severity and orthodontic treatment difficulty index of impacted canines in Saudi population. J clin exp dent [Internet]. 2018 [citado 19 may 2024];10(4):[about 8 p.]. Available from: <https://www.doi.org/10.4317/jced.54385>
11. Lazo Amador, Y.; Soto Rico, A.; Massón Barceló, R.; Ferreiro Marín, A.; Ameneiros Narciani, O. Detección y tratamiento temprano de caninos superiores retenidos. Inv Med quirúrg [Internet]. 2021 [citado 22 abr 2024];13(1):[aprox. 16 p.]. Disponible en: <http://www.revcimeq.sld.cu/index.php/imq/article/view/682>

12. Quevedo Aliaga, J.L.; Mas Torres, M.; Mayedo Nuñez, Y.; Sierra Rojas, Y. Causas locales de caninos permanentes retenidos en pacientes de la Clínica Estomatológica René Guzmán Pérez de Calixto García. *Corr Cientif Med* [Internet]. Sep 2017 [citado 14 abr 2024];21(3):[aprox. 10 p.]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-4381201700030000&Ing=es
13. Gbenou Morgan, Y.; Hernández Fernández, J.C.; García Gómez, T. Caninos permanentes retenidos en pacientes del Hospital Pediátrico Universitario Centro Habana. 2012-2015. *Rev Haban Cien Méd* [Internet]. 2017 [citado 15 abr 2024];16(4):[aprox. 9 p.]. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/1648>
14. Trejo Escuadra, Y.L.; Camargo Pérez, M.I.; Rodríguez Yáñez, E. Tracción de canino retenido: Reporte de caso. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatria*. 2019 [citado 2 may 2024]; [aprox. 15 p.]. Disponible en: <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2019/art-5/>.
15. Quintana Díaz, J.C.; Algozain Acosta, Y.; Quintana Giralt, M.; Orta Casañas, M. Tratamiento quirúrgico de los dientes retenidos en el servicio de cirugía maxilofacial de Artemisa (1994-2010). *Acta Odontológica Colombiana* [Internet]. 2015 [citado 15 may 2024];5(1): 57-63. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actaodontocol>
16. Troya Borges, E.; Martínez Abreu, J.; Matos Campo, M.R. Tratamiento quirúrgico de caninos retenidos en el municipio Colón. Años 2013-2014. *Rev med Electrón* [Internet]. Abr 2016 [citado 14 abr 2024];38(2):[aprox. 8 p.]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-1824201600020000&Ing=es
17. Coronel Loza, A.; Segales Cortez, R.; Palacios Vivar, D. Manejo de caninos retenidos. Revisión de la literatura. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatria*. [Internet]. 2022 [citado 20 may 2024]; [aprox. 8 p.]. Disponible en: <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2022/art-30/>.
18. Ayala Pérez, Y. Cronología y el orden de brote de dientes permanentes en la provincia Holguín, Holguín, Cuba [Internet]. Holguín: Universidad de Ciencias Médicas de Holguín, Facultad de Ciencias Médicas Mariana Grajales Coello, Departamento de Estomatología; 2020 [citado 12 Ago 2022]. Disponible en: <http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=745>
19. Yamaguchi, T.; Hosomichi, K.; Shiota, T.; Miyamoto, Y.; Ono, W.; Ono N. Primary failure of tooth eruption: Etiology and management. *Jpn Dent Sci Rev* [Internet]. 2022 Nov [citado 22 may 2024];58:[about 10 p.]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9489741/pdf/main.pdf>
20. San Miguel Pentón, A. Patrones de erupción de las denticiones y sus relaciones con indicadores de crecimiento y desarrollo [Internet]. Villa Clara, Cuba: Universidad de Ciencias Médicas de Villa

Clara Dr. Serafín Ruiz de Zárate Ruiz, Facultad de Estomatología; 2019 [citado 12 abr 2024].

Disponible en: <http://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=7457>

21. Ugalde Morales, F.J. Clasificación de caninos retenidos y su aplicación clínica. Rev ADM [Internet] Ene-Feb 2001 [citado 12 may 2024];LVIII(1):[aprox. 9 p.]. Disponible en:

<https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2001/od011e.pdf>

22. Marín Quinde, C.M.; Molina Barahona, R.M.; Cabrera Cabrera, G.E. Prevalencia de caninos retenidos en pacientes de 13 a 30 años en la provincia del Azuay en el periodo 2018-2020. Rev Cient Univ Odontol Dominic [Internet]. 2021 Ene-Jun [citado 12 mayo 2024];9(1):[aprox. 8 p.]. Disponible en:

<https://revistacientificauod.files.wordpress.com/2021/04/original-5-marin-molina-cabrera.pdf>

23. Baidas, L.F.; Alshihah, N.; Alabdulaly, R.; Mutaieb, S. Severity and Treatment Difficulty of Impacted Maxillary Canine among Orthodontic Patients in Riyadh, Saudi Arabia. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2022 Aug 27 [citado 18 may 2024];19(17):[about 10680 p.]. Available from:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9518035/pdf/ijerph-19-10680.pdf>

24. Alqahtani, H. Management of maxillary impacted canines: A prospective study of orthodontists' preferences. Saudi Pharm J [Internet]. 2021 May [citado 22 abr 2024];29(5):[about 7 p.]. Available from:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8180458/pdf/main.pdf>

25. Siotou ,K.; Kouskouki, M.P.; Christopoulou, I.; Tsolakis, A.I. Frequency and Local Etiological Factors of Impaction of Permanent Teeth among 1400 Patients in a Greek Population. Dent J (Basel) [Internet]. 2022 Aug 11 [citado 20 abr 2024];10(8):[about 150 p.]. Available from:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9406841/pdf/dentistry-10-00150.pdf>

26. Egido Moreno, S.; Arnau Matas, C.; Juárez Escalona, I.; Jané-Salas, E.; Marí Roig, A.; López-López, J. Caninos incluidos, tratamiento odontológico: Revisión de la literatura. Av Odontoestomatol [Internet]. 2013 Oct [citado 15 abr 2024];29(5):[about 12 p.]. Available from:

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-12852013000500002&Ing=es

27. Sánchez Velásquez, J.; Molina Barahona, R.M. Caninos retenidos, características clínicas, métodos diagnósticos y tratamiento odontológico. Revisión bibliográfica. Odontol. Act. [Internet]. 5 de septiembre de 2022 [citado 15 de mayo 2024];7(3):65-74. Disponible en:

<https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/700>

28. Camarena-Fonseca, A.R.; Rosas Gonzales, E.J.; Cruzado-Piminchumo, L.M, Liñan Duran, C. Métodos de diagnóstico imagenológico para optimizar el plan de tratamiento y pronóstico de caninos maxilares. Rev Estomatol Herediana [Internet]. Oct-Dic 2016 [citado 29 may 2024];26(4):[aprox. 8 p.]. Disponible en:

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1019-4355201600040000&Ing=es

29. Grenga, C.; Guarnieri, R.; Grenga, V.; Bovi, M.; Bertoldo, S.; Galluccio, G.; Di Giorgio, R.; Barbato, E. Periodontal evaluation of palatally impacted maxillary canines treated by closed approach with ultrasonic surgery and orthodontic treatment: a retrospective pilot study. SciRep [Internet]. 2021 Feb 2 [citado 20 abr 2024];11(1):[about 2843 p.]. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7854633/pdf/41598_2021_Article_82510.pdf
30. Simić, S.; Nikolić, P.; StanišićZindović, J.; Jovanović, R.; StošovićKalezić, I.; Djordjević, A et al. Root Resorptions on Adjacent Teeth Associated with Impacted Maxillary Canines. Diagnostics (Basel) [Internet]. 2022 Feb 1 [citado 18 may 2024];12(2):[about 380 p.]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8871100/pdf/diagnostics-12-00380.pdf>

/ Received: 18 June 2024 | Accepted: 15 August 2024 | Published: 15 September 2024 /

Citation: Rivero Pérez, O.; Díaz Gómez, S.M.; [Mosquera Betancourt, G.](#); Puerto Pérez, T.V. Métodos predictores por imágenes para el diagnóstico de los caninos retenidos en el maxilar. *Bionatura*. 2024; Volume (9). No 3.

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 Evaluación del grado de transformación ecohidrológica, una herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas fluviales

Evaluation of the degree of ecohydrological transformation, a tool for the sustainable management of river ecosystems

Alina de la Caridad Morell Bayard¹(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>)*, Liliana Gómez Luna²(<https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>), Arelis Abalos Rodríguez²(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>), Euclides Fornaris Gómez¹(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>), Alberto de las Mercedes Beyris Mazar¹(<https://orcid.org/0000-0003-1753-8299>), Leonor Villalón Poulot¹(<https://orcid.org/0000-0003-2855-5545>)

¹*Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO)/ Santiago de Cuba/Cuba. morellalina3@gmail.com*

²*Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Cuba.*

²*Vice Rectora en Universidad de Oriente. Cuba.*

*Correspondence: morellalina3@gmail.com; Tel.: +53 545267658

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos están siendo degradados a una velocidad más alta que su posible recuperación natural, en ello influyen diferentes factores como la contaminación, presiones antropogénicas, fragmentación, calidad del bosque de ribera, variabilidad del clima, entre otras. Se evalúa el estado ecohidrológico en los ríos permanentes de las cuencas San Juan, Las Guásimas y Carpintero en Santiago de Cuba, como herramienta para una gestión sostenible. La evaluación se realizó por análisis multicriterio utilizando 13 variables, contextualizada por criterios de expertos y distribuidas en tres subcomponentes: red fluvial, zona ribereña y la cuenca hidrográfica, las que fueron normalizadas logrando un índice entre 0 y 1 (poco alterado-muy alterado). Se demostró que en la cuenca San Juan, la subcuenca homónima presenta una alteración muy alta en los tres subcomponentes, mientras que las subcuencas Dos Bocas y Maisí-Zacateca sostienen la condición de alto. Por su parte, Las Guásimas y Carpintero clasifican como muy alto y alto, respectivamente en el subcomponente red fluvial, variando esta condición en el resto de los subcomponentes. Se demostró que el análisis ecohidrológico constituye una herramienta eficaz para la gestión sostenible el ecosistema.

Palabras claves: Ecosistemas acuáticos, ecohidrología, cuencas hidrográficas, contaminación

ABSTRACT

Aquatic ecosystems are being degraded at a faster rate than their possible natural recovery, influenced by different factors such as pollution, anthropogenic pressures, fragmentation, quality of the riparian forest, climate variability, among others. The ecohydrological state is evaluated in the permanent rivers of the San Juan, Las Guásimas and Carpintero basins in Santiago de Cuba, as a tool for sustainable management. The evaluation was carried out by multicriteria analysis using 13 variables, contextualized by expert criteria and distributed into three subcomponents: river network, riparian zone and the hydrographic basin, which were normalized achieving an index between 0 and 1 (little altered-very altered). It was shown that in the San Juan basin, the homonymous sub-basin presents a very high alteration in the three sub-components, while the Dos Bocas and Maisí-Zacateca sub-basins maintain the high condition. For their part, Las Guásimas and Carpintero classify as very high and high, respectively in the river network subcomponent, this condition varying in the rest of the subcomponents. It was demonstrated that ecohydrological analysis constitutes an effective tool for sustainable ecosystem management.

Keywords: Aquatic ecosystems, ecohydrology, hydrographic basins, pollution

Introducción

Los ecosistemas acuáticos van desde los manglares que protegen las costas de la erosión y los fenómenos extremos, hasta los lagos y ríos¹. Estos últimos constituyen un sistema de circulación lineal, vectorial, jerarquizado y estructurado para trasladar los fluidos vitales a través de las cuencas hidrográficas hasta su desembocadura en mares y océanos; irrigando durante su recorrido diferentes ecosistemas de la superficie terrestre²

Los ecosistemas fluviales están conformados por una red ramificada y alargada de cauces, con diversos arroyos, que son numerosos en la cabecera, menos en tramos medios y muy pocos en tramos bajos. Estos modelan el paisaje y reflejan las características de sus cuencas, su estructura y funcionamiento, las que dependen a su vez de un conjunto de factores y procesos geológicos, topográficos, climáticos y bióticos, originando diferencias en el número de especies de cada tipo de hábitat fluvial y la dinámica temporal de las comunidades, la que depende de la conectividad de cada tramo³. La degradación de estos ecosistemas es un proceso en rápido ascenso, reconocido internacionalmente, e incluye entre otros elementos la contaminación y la interrupción de los ciclos del agua y nutrientes, como ejes centrales de este proceso, influenciados por las complejas presiones del cambio climático. Entender el proceso de degradación es difícil y complejo, al alterarse los ciclos de nutrientes establecidos evolutivamente, relacionados con la destrucción de la estructura biótica dentro de la cuenca y del sistema de provisionamiento de agua dulce^{4,5}.

Del estudio de las interrelaciones entre la hidrología y la biota se encarga la Ecohidrología, ciencia funcional definida por Zalewski en 1997 en el marco del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. La misma ha tenido una espiral en ascenso con variadas temáticas y propuestas de soluciones basadas en la naturaleza (SbN)^{6,7}. Los estudios ecohidrológicos presentan variedad de temas, enfocados en identificar amenazas, vulnerabilidades y riesgos en los ecosistemas acuáticos. Recientes estudios resaltan la necesidad de reducir los efectos antagónicos hacia estos ecosistemas, a través de la implementación de economías circulares y la reducción del consumismo⁸ entre otras iniciativas.

La unidad para el análisis de gestión de los ecosistemas es la cuenca hidrográfica como eje central para los estudios ecohidrológicos, al confirmarse esta como un macro-sistema ecológico donde se establecen interacciones mutuas (ecológicas, hidrológicas y sociales), cuya fisiología es entendida como un sistema complejo, sujeto al conocimiento de la dinámica de los hidrosistemas. Países como Ecuador, Perú, México, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá, Portugal y Etiopía, emplean los instrumentos ecohidrológicos para evaluar el estado de sus ecosistemas fluviales, además de poner en práctica las SbN. El actual desafío para aplicar instrumentos o realizar estudios con enfoque ecohidrológico es la interdisciplinariedad, orientada al proceso de toma de decisiones sobre la base de evidencias científicas, complementado con las ciencias sociales y del comportamiento⁹.

Cuba es un archipiélago con características singulares, con ríos alargados y estrechos. Sus cuencas generalmente son pequeñas; pocas llegan a sobrepasar un máximo de 200 km², mientras que sus redes fluviales se caracterizan por tener ríos principales de longitudes promedio entre 40 y 50 km¹⁰. Resulta indispensable entonces la conservación de los recursos hídricos y de los ecosistemas fluviales, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar las transformaciones ecohidrológicas ocurridas en los ecosistemas fluviales San Juan, Carpintero y Las Guásimas, para contribuir a establecer estrategias adecuadas para su conservación.

Materiales y métodos

Los ecosistemas fluviales objeto de estudio se encuentran dentro de las cuencas de interés (San Juan, Carpintero y Las Guásimas) localizadas en la parte Sur de la provincia de Santiago de Cuba, en su municipio homónimo (**Figura 1**). La cuenca San Juan, es de interés provincial, de ella se abastece aproximadamente el 33 % de la población del municipio de Santiago de Cuba, además de contar con un importante reservorio de agua subterránea de alta calidad. Por su parte, las cuencas Las Guásimas y Carpintero se ubican dentro de la Reserva de Biosfera Baconao.

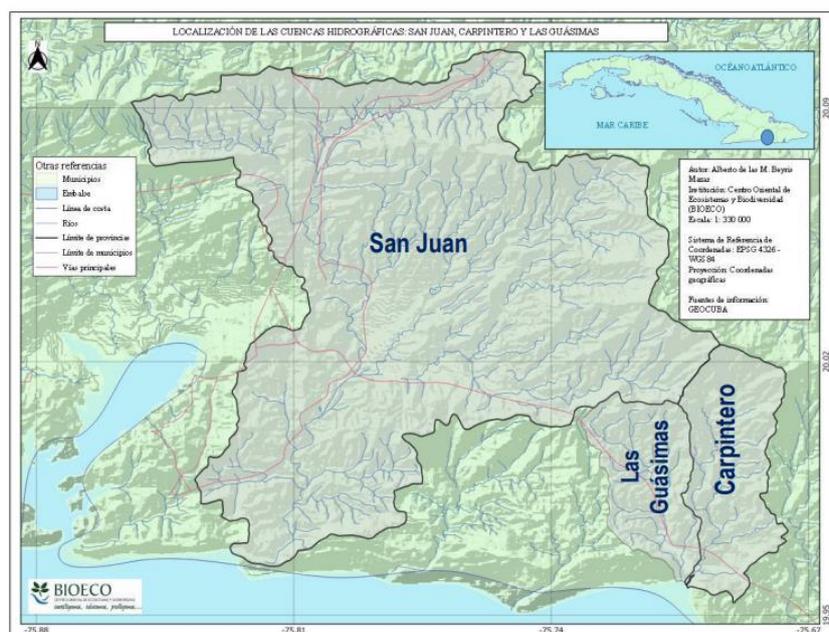


Figura 1. Localización geográfica de las cuencas San Juan, Carpintero y Las Guásimas en el municipio de Santiago de Cuba.

La contextualización de los indicadores se realizó por consulta con expertos¹¹, seleccionado aquellos con un coeficiente de competencia (K) entre 0,5-1. De los 55 indicadores presentados fueron seleccionados 13 (**Tabla 1**). Para la evaluación los indicadores estos fueron distribuidos en tres subcomponentes: red fluvial, zona riparia y cuenca hidrográfica, considerando valores de ponderación equivalentes a 0,57, 0,29 y 0,14, respectivamente¹².

Tabla 1. Indicadores utilizados para evaluar el nivel de alteración ecohidrológica y fuente de obtención de los datos.

Red Fluvial	Zona de Ribera	Cuenca
1. OD	6. Objetivos socioeconómicos (densidad y frecuencia)	10. Población total
2. DBO	7. Extracción de agua (pozos, presas, embalses, micropresas)	11. Cobertura de la vegetación natural (%)
3. DQO	8. Redes lineales (densidad y frecuencia)	12. Focos contaminantes
4. Nitrato	9. Cobertura de la faja hidrorreguladora (%)	13. Gobernanza
5. Especies exóticas		

Fuente: Elaboración propia

Descripción de los indicadores:

- **Parámetros físico-químicos** (OD; DBO; DQO, NO₃-): Los muestreos fueron realizados durante los años 2019 a 2021, incluyendo ambos períodos climáticos (lluvioso y poco lluvioso). Los resultados fueron comparados con la norma cubana vigente¹³. Las muestras colectadas fueron sencillas (tomada en el momento), en horario diurno, en el cauce principal del río, a contracorriente, en diferentes puntos correspondientes a la parte alta, media y baja de las cuencas, referenciando estas con el software Q-Yis 3.10. Estos análisis fueron realizados por la Empresa Nacional de Aseguramiento de Servicio Técnicos (ENAST) perteneciente al Instituto Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba, según técnicas analíticas reconocidas en el "Standart Methods of Examination of Water and Wastewater, versión 1914.
- **Fragmentación del ecosistema:** se evaluó a través del análisis y distribución de los objetivos socioeconómicos, las redes lineales de transporte, y la cantidad de elementos destinados a la extracción del agua (canales, pozos, embalses o acueductos) establecidos dentro del área la cuenca. Para ello se tuvo en cuenta la densidad (equivalente al número de elementos dividido entre el área de la cuenca en km²) y la frecuencia de intersección de estos elementos (número de elementos identificados dividido entre la longitud total de la red hidrográfica en km), sobre la base de que, a mayor cantidad de concurrencias, mayor alteración en los ríos.
- **Cobertura de la vegetación:** para las fajas hidro-reguladoras se estimó una franja de 20 m de ancho a ambos lados del cauce del río principal y sus afluentes, en cada ecosistema estudiado¹⁵. La calidad de la vegetación fue determinada cualitativamente a través de consulta a expertos, considerando una estratificación en 4 niveles (buena, regular, mala y pésima), especificando en cada caso los atributos correspondientes.
- **Población Total:** se realizó consulta a documentos oficiales Oficina Nacional de Estadística e Información¹⁶.
- **Objetivos socioeconómicos:** se realizaron visitas a los diferentes Consejos Populares para la verificación de los indicadores¹⁷.
- **Focos contaminantes:** se consideró el total de focos, identificados por los datos obtenidos en el control establecido por la Unidad de Medio Ambiente (UMA) y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Fueron considerados, además, datos de informes técnicos, constatando su presencia en cada cuenca¹⁸.
- **Gobernanza:** se tuvieron en cuenta documentos clave como la Estrategia Provincial y los ejes estratégicos del Plan de desarrollo económico y social 2020-2030¹⁹.

Los indicadores fueron estandarizados por el método de Mínimo-Máximo; la integración final se realizó por la sumatoria lineal ponderada, obteniendo un índice con valores entre 0 y 1 (Ec-1). Los cercanos a cero (0) indicativos de inexistencia de alteración, mientras que, al acercarse a (1) como valor máximo, se incrementa el estado de alteración.

$$Vi = \sum_j^n Wj * Xij \quad (\text{Ec-1})$$

Donde, V_i es valor resultante de la alternativa, W_j es el peso asignado al criterio j para reflejar su importancia relacionada a otro criterio y X_{ij} es la calificación de la alternativa i sobre el criterio j .

Los criterios de puntuación para evaluar el nivel de alteración ecohidrológica (NAE) se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Rangos de estimación del ecosistema por subcomponente.

NIVEL DE IMPACTO	RED FLUVIAL	RIBERA	CUENCA	ALTERACIÓN ECHOHIDROLÓGICA
Sin alteración	0	0	0	0
Muy Bajo	0,001-0,114	0,001-0,058	0,001-0,028	0,01-0,2
Bajo	0,115-0,228	0,059-0,116	0,029-0,056	0,21-0,4
Medio	0,229-0,342	0,117-0,174	0,057-0,084	0,41-0,6
Alto	0,343-0,456	0,175-0,232	0,085-0,112	0,61-0,8
Muy alto	0,457-0,57	0,233-0,29	0,113-0,14	0,81-1

Fuente: Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila-Armería (Garrido et al. 2010).

Resultados y discusión

Para la realización de la investigación se tuvieron en cuenta aspectos claves que ayudaron en la organización del trabajo, tales como:

1. **Monitoreo de campo:** permitió la recolección de datos en las áreas de estudio, ya sean referidos a la **caracterización físico-geográfica**, mediciones de calidad del agua, de la biodiversidad o parámetros meteorológicos.
2. **Análisis estadístico:** como apoyo en la interpretación de los datos recolectados y determinando patrones y tendencias.
3. Empleo de imágenes satelitales para obtener información sobre el uso del suelo y cobertura vegetal y tipo de vegetación en una cuenca hidrográfica.

4. **Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas para analizar y representar a través de mapas los resultados.**

La caracterización físico-geográfica, develó similitudes y diferencias entre las cuencas estudiadas. Las mismas comparten formaciones geológicas, tipos de suelo y la condición de ser exorreicas. Sin embargo, difieren en su nacimiento, caudal, y aportaciones de sus tributarios, siendo las más importante la cuenca San Juan, al ser esta la de mayor extensión e importancia en el territorio y de la que se abastece buena parte de la población del municipio (**Tabla 3**).

Tabla 3. Caracterización físico-geográfica de las áreas de trabajo.

Variable físico-Geográfica	Río San Juan	Río Carpintero	Río Las Guásimas
Área de la cuenca (km²)	138,3	17,3	11,3
Longitud (km)	25,9	8,41	6,76
Geología²⁰	Grupo El Cobre; rocas vulcanógenas y la Maya coincidentes con las vulcanógeno-sedimentarias, encontradas en la cuenca San Juan, reportándose, además, la Formación Caney en el Norte de la cuenca. Formación Jaimanita Formación La Cruz que ocupa la porción centro y sur de la cuenca. Formación Maya, con una pequeña y estrecha franja.		

Características climáticas ^{21,22}	<p>Clima tropical marítimo, con dos períodos bien definidos, el poco lluvioso y el lluvioso.</p> <p>Precipitación: 800 a 1600 mm</p> <p>Humedad relativa media anual: 70 y 75 %</p> <p>Temperatura media anual: 24 °C y 26 °C</p>	<p>Precipitación media menor de 800 mm, alcanzándose los mayores valores en la parte alta de las cuencas.</p> <p>Período poco lluvioso: 200-400 mm</p> <p>Período lluvioso: 800 a 1000 mm.</p> <p>Humedad relativa: 70-80 %.</p> <p>Evaporación media anual: 4-6 mm.</p> <p>Temperatura media anual: 22-26°C.</p>
Tipo de cuenca ²³	Exorreica	
Afluentes ²⁴	<p>Principal tributario el río San Juan.</p> <p>Principales afluentes: Guamá, Río Seco, Zacateca, Maisí, Cocal y los arroyos Las Lajas, Jagüey, Naranjo y Majín</p> <p>Desde su nacimiento la parte más ancha se encuentra en la zona media, volviendo a estrecharse y finaliza su recorrido en las cercanías de la playa Aguadores.</p>	<p>Los principales ríos a los que tributan las aguas de las cuencas son el Carpintero y Las Guásimas, los que desembocan en el Mar Caribe. El río Las Guásimas recibe aportaciones de escasa importancia por sus tributarios, ocurriendo lo contrario con el Carpintero, lo que condiciona un mayor caudal que las Guásimas</p> <p>La parte más ancha se encuentra en la zona media, volviendo a estrecharse; finaliza su recorrido en las cercanías del poblado de Siboney, desembocando al mar</p>
Suelo ²⁵	<p>Pardos (47,2 %)</p> <p>Rendzina roja (cerca de la desembocadura),</p> <p>Aluviales (parte central)</p> <p>Esqueléticos</p>	<p>Pardos sin carbonatos</p> <p>Esqueléticos</p> <p>Pardo grisáceos</p> <p>Fersialíticos</p>

		Pardo-rojizos
		Rendzina roja
		Aluviales
Relieve²⁶	Heterogéneo debido a las diferentes superficies por las que atraviesa. El 73,5 % presenta valores de hipsometría inferior a 200 msnm, hacia su parte media e inferior. La parte norte tiene alturas entre 201 y 400 msnm, fundamentalmente hacia la Sierra de Boniato y los sistemas de alturas de la Gran Piedra por el Este. Los valores superiores a 401 msnm solo ocupan una pequeña porción del área y se corresponden con la Sierra de la Gran Piedra.	El relieve está fuertemente diseccionado con valores que oscilan entre los 251 y 500 m en la porción superior de la cuenca del río Carpintero, descendiendo a ligeramente en la porción media de la cuenca. La disección horizontal oscila entre 0,5 y 2,0 km por km ² .

Fuente. Elaboración propia

- Análisis por subcomponentes

Los resultados se realizan por subcomponentes. En la cuenca San Juan, el análisis se realizó por subcuencas por disponer de la información necesaria, al ser una cuenca mucho más estudiada.

a) Impacto en el subcomponente red fluvial

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de las variables físico-químicas durante la etapa 2019-2021, así como los referentes de la NC 25/1999, y las evidencias encontradas sobre la presencia de especies exóticas.

Tabla 4. Parámetros físico-químicos evaluados para determinar la calidad del agua en los ecosistemas y valores límites de acuerdo con la norma.

Cuencas/indicadores	Carpintero	Las Guásimas	San Juan	NC 25/99
pH (U)	8,08	8,0	8,0	6,5-8,5

NO₃⁻¹ (mgL⁻¹)	12,54	41,24	26,4	9
DBO (mgL⁻¹)	8,6	8,4	10,5	3
OD (mgL⁻¹)	4,6	4,6	4,78	5
DQO (mgL⁻¹)	32,2	42	48,7	15
Especies exóticas	P	P	P	N/A

P- Presencia

N/A- No aplica

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que en los tres ecosistemas solo el valor de pH se encuentra dentro de los límites establecidos, el resto de los parámetros exceden los límites normados. Con respecto a la presencia de especies exóticas, esta estuvo centrada en el pez gato (*Amiurus nebulosus*). Esto fue conformado por documentación de avistamientos durante el monitoreo, pesca y/o declaraciones de pobladores residentes en las áreas de la cuenca, confirmando su presencia en todos los ecosistemas estudiados. Se confirma además que la contaminación de las aguas es la principal problemática en las tres cuencas, manteniendo esta condición San Juan, de acuerdo con los resultados aportados por otros estudios²⁷.

El nivel de alteración ecohidrológica para este subcomponente se presenta en como evidencia (**Figura 2**). En la cuenca San Juan el 40% del ecosistema evaluado presenta una condición de (**Muy Alta degradación**), otro 40 % clasifica como Alto, mientras que el 20 % presentan una condición media. En el caso de las cuencas Las Guásimas y Carpintero, presentan una condición de **Muy Alto** y **Alto**, respectivamente.

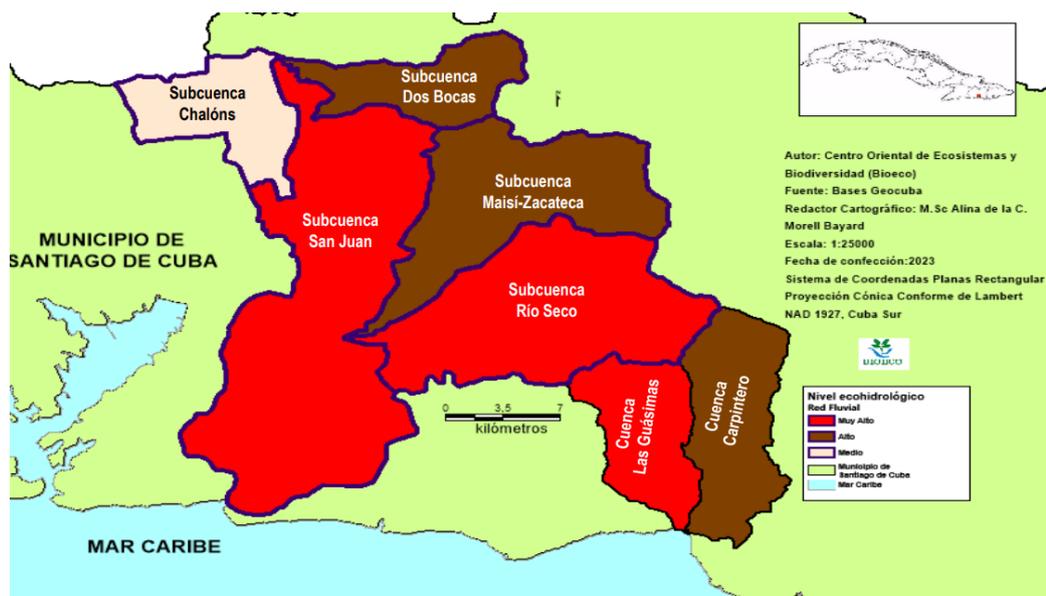


Figura 2. Nivel ecohidrológico para el subcomponente red fluvial.

b) Impacto en la zona de ribera

Los indicadores estuvieron asociados con la fragmentación del ecosistema fluvial, problemática vinculada con la continuidad y buen funcionamiento de este. Mientras mayor sea la intercepción ocasionada, mayor es su discontinuidad, estimulando cambios en las estructuras de las poblaciones, comunidades de plantas y animales, lo que afecta su funcionamiento28-30.

Para evaluar el fraccionamiento de los ecosistemas, se calculó la densidad de los objetivos socioeconómicos existentes y la frecuencia de interrupción por las redes lineales de transporte (Tabla 5).

Tabla 5. Fraccionamiento del ecosistema de acuerdo con su densidad y frecuencia de intercepción en el ecosistema dentro de la cuenca.

Cuencas/Subcuencas	Densidad (objetivos socioeconómicos) vs área total de la cuenca	Frecuencia de intercepción de las redes lineales de transporte con la red hidrográfica
Carpintero	0,54	0,54
Guásima	1,00	1,26

Subc-Río seco	0,69	3,89
Subc-San Juan	3,82	45,79
Subc-Chalón	0,08	4,69
Subc-Maisi-Zacateca	0,33	4,48
Subc-Dos Bocas	0,13	1,95

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que la mayor densidad respecto a los objetivos socioeconómicos y frecuencia de intercepción con la red hidrográfica se presenta en la subcuenca San Juan, seguida por Río Seco, la cuenca Las Guásimas, y con menor incidencia la subcuenca Chalóns. Esta última subcuenca y la de Maísi-Zacateca presentan valores relativamente altos en cuanto a la presencia de caminos de 2do orden y carreteras, que se vinculan con el ecosistema fluvial, proporcional al desarrollo socioeconómico de cada una.

La extracción de agua es otro de los indicadores analizados por su importancia; un incremento no considerado altera el flujo de especies migratorias, el establecimiento de especies de peces e invertebrados acuáticos locales, con efectos en la vegetación circundante²⁹. La estimación de este indicador demostró que la cuenca San Juan presenta una condición de vulnerabilidad, pues en ella se ubican un total de 80 pozos, de estos el 86,25 % en la subcuenca homónima; y seis micro presas, destinando el 94,1 % de sus aguas al abasto de la población, y un 5,19 %, para la agricultura.

Las cuencas Las Guásima y Carpintero, no muestran evidencias documentadas sobre su potencial hidráulico. Se reporta un total de 30 pozos para Las Guásimas y cuatro para Carpintero. Teniendo en cuenta las consultas realizadas, aún se muestran insuficiencias con respecto a la extracción de agua y su distribución. Por otra parte, fue evidente durante el período poco lluvioso la disminución del caudal de las aguas del río, influyendo esto en el incremento de la concentración de los contaminantes, degradando el hábitat de las especies acuáticas, y agudizando los procesos de salinización, situación identificada en la parte baja de la cuenca San Juan.

Se trabajó en la caracterización de la vegetación, por lo que se realizó consulta con expertos para unificar criterios en la clasificación de la vegetación de esta zona, y de esta forma identificar tramos de río con elevado valor ecológico, con una tipificación apropiada, lo que posibilita el desarrollo de acciones para una correcta reforestación y recuperación de las áreas degradadas. En la **Tabla 6** se presenta la estratificación propuesta para evaluar la calidad de ribera de los ecosistemas, teniendo en cuenta la cobertura de la vegetación.

Tabla 6. Calidad y tipo de vegetación de las fajas hidrorreguladoras.

Clasificación	Descripción
C-1 (Buena)	Bosque semideciduo micrófilo; manglar; bosque siempreverde antropizado, en ocasiones mezclado con cafetales. Bosque secundario mixto; bosque secundario con dominancia de leguminosas; arbolado asociado a cursos de aguas; bambusal.
C-2 (Regular)	Pastos con abundantes árboles y palmas, frutales y árboles alrededor de casas aisladas; plantación de leguminosas pura.
C-3 (Mala)	Matorral secundario con árboles y arbustos, pastos con árboles y arbustos; frutales extensos.
C-4 (Pésima)	Herbazal secundario; pastos casi puros; mezcla de cultivos, asentamientos, instalaciones sociales o económicas. Carreteras, autopistas, canteras, arenas o suelo desnudo.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 3** se presenta la calidad por cuencas y el aporte de las subcuencas a la cuenca San Juan, revelando que, en la misma el 41,7 % de la vegetación clasifica entre buena y regular, esta clasificación fue de un 68,5 % para Las Guásimas, y 81,7 % en Carpintero, esta última con mejores condiciones en la vegetación de ribera.

Estudios realizados por el colectivo de autores de Bioeco en 2022, en el ecosistema San Juan explican que el número de especies y ensamblaje de la vegetación de ribera en su subcuenca homónima difiere significativamente desde su nacimiento hasta la desembocadura. En su origen, se evidencian elementos típicos de la estructura y composición de bosques de galería, destacando la presencia de especies nativas tales como: (*Cyper usalternifolius* (paragüitas), *Cuphea lobelioides*, *Turnera ulmifolia* (marilope) y *Pilea microphylla* y solo cuatro exóticas con predominio de *Syzygium jambos* (pomarroza), incrementando estas últimas su predominio en el resto de la cuenca.

Entre las principales problemáticas encontradas destacan el impacto de la población y la modificación de la estructura física del hábitat de la vegetación de ribera, en su mayoría eliminada, fragmentada, o profundamente modificada y reducida a una estrecha franja junto al cauce; sustituida por cultivos agrícolas e infraestructuras hidráulicas, lo que coincide con lo descrito por otros autores³⁰.

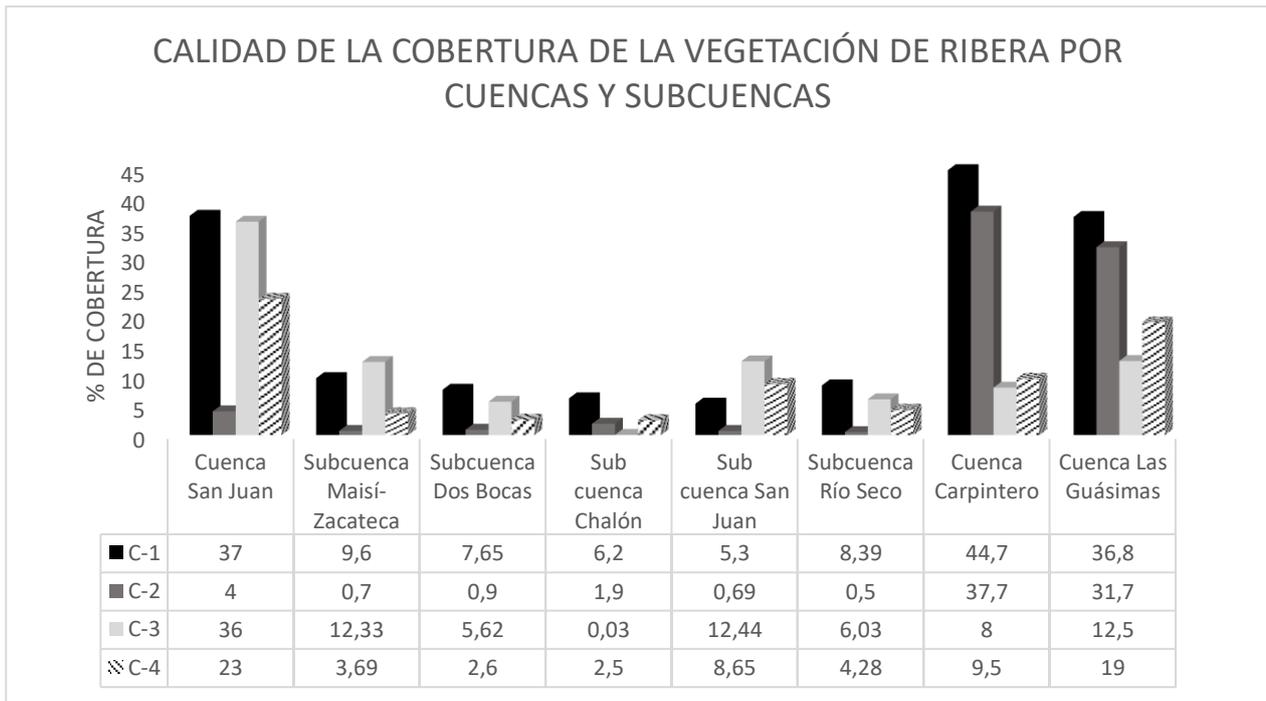


Figura 3. Calidad de la vegetación de ribera de las fajas hidrorreguladoras en cuencas y subcuencas.

Fuente: Elaboración propia

El criterio de nivel de alteración para el subcomponente zona de ribera es como sigue (**Figura 4**): (**Muy Alto**) para la subcuenca San Juan, (**Alto**) para las subcuencas Dos Bocas y Maisí–Zacateca, (**Medio**) clasifican la subcuenca Chalóns y la cuenca Las Guásimas y (**Bajo**) la subcuenca Río Seco y la cuenca Carpintero.

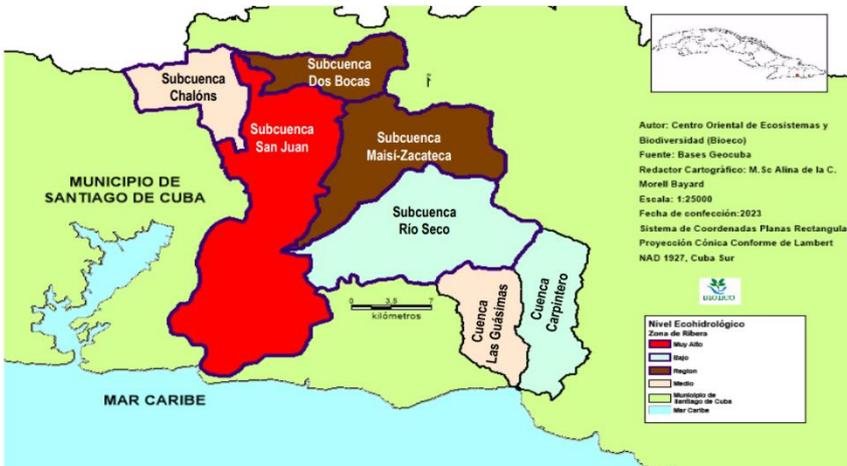


Figura 4. Nivel ecohidrológico para el subcomponente zona de ribera.

Fuente. Elaboración propia

c) Impacto en la cuenca

De acuerdo con los datos confrontados entre 1998 y 2015 el incremento poblacional en la cuenca San Juan, fue de más de 46 298 personas. Para 2022, se observó un ascenso de 253 051 habitantes¹⁶. En

ella se ubican seis industrias identificadas como contaminadoras por sus vertimientos directos a las aguas superficiales del río. A estas se suman 11 focos con igual condición. Con respecto a la vegetación solo el 1,11 % es natural, aunque se identifican áreas con algún tipo de protección por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas: la Reserva de la Biósfera Baconao (35,9 %), la Reserva Ecológica Siboney-Juticí, (0,08 %) y el Paisaje Natural Protegido Estrella-Aguadores (0,17 %)³¹ (Bioeco 2022).

En las cuencas Las Guásima y Carpintero la población residente es preferentemente rural, representando el 84% y 86%, respectivamente, con poco cambio en su variación durante el período 2015-2022, corroborado con los datos obtenidos oficialmente¹⁵. En las mismas se reportan un total de 23 instalaciones, demostrando un desarrollo inferior al de la cuenca San Juan.

El análisis de la vegetación se realiza de manera conjunta, mostrando que el 52 % de la superficie está cubierta por bosques naturales. Estas cuencas se encuentran dentro de la Reserva de Biosfera de Baconao, una de las primeras Áreas Protegidas de Cuba, con reconocimiento internacional por su labor sostenida en la conservación y preservación de los recursos naturales, declarada Reserva Mundial de la Biosfera por la Unesco en 1987³².

La gobernanza y su influencia en el desarrollo socioeconómico es tomado como indicador al permitir evaluar el desarrollo de los gobiernos locales y la toma de decisiones para realizar acciones de mejoras en la gestión de conservación de los ecosistemas. En Cuba se trabaja con ejes estratégicos que se imbrican en la evaluación de proyectos y planes provinciales hasta 2030. En el municipio de Santiago de Cuba, fueron establecidos nueve sectores estratégicos para apoyar con la implementación del desarrollo económico-social para el impulso económico³³. Del total de propuestas de proyectos aprobados (11), tres se ubican dentro de la cuenca San Juan y dos en la cuenca Las Guásimas, referidas todas al desarrollo alimentario. Se reconoce como insuficiencia que dentro de los proyectos no se menciona la gestión ambiental como uno de sus propósitos para la conservación sostenible de los ecosistemas.

Se demuestra que el nivel ecohidrológico considerado de (**Muy Alto**) se ubica para la subcuenca San Juan. Mientras que clasifican como (**Alto**) Río Seco, Maísi-Zacateca, Dos Bocas y la cuenca Carpintero. Con categoría (**Media**) está la subcuenca Chalóns y (**Bajo**) la cuenca Las Guásimas (**Figura 5**).

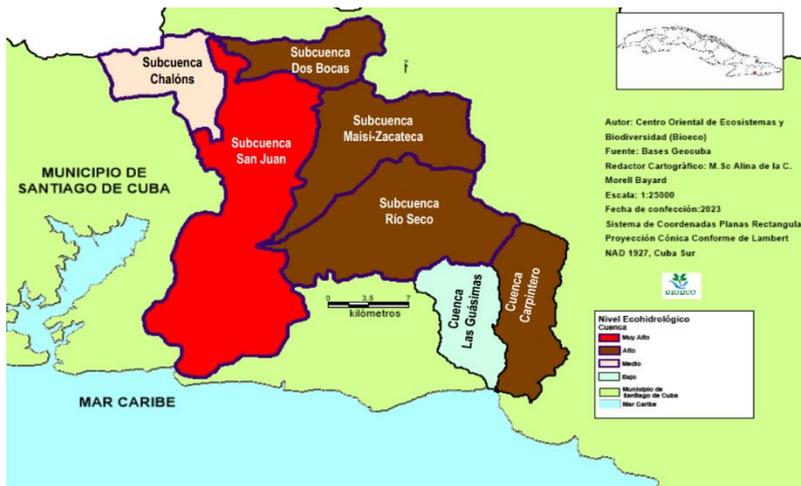


Figura 5. Nivel ecohidrológico para el subcomponente cuenca.

Fuente: Elaboración propia

- Evaluación del estado de alteración ecohidrológico total

Los análisis realizados anteriormente por subcomponente, subcuencas y cuencas, permiten tener una base para el cálculo del nivel de alteración ecohidrológico total (**Figura 6**).



Figura 6. Nivel de alteración ecohidrológico total para las cuencas San Juan, Carpintero y Las Guásimas.

Fuente: Elaboración propia

La integración de los tres subcomponentes evidenció que la subcuenca San Juan presenta un nivel de alteración ecohidrológica (**Muy Alto**) sostenido durante todo el análisis. Las subcuencas Dos Bocas, Maisí-Zacateca, Río Seco y Las Guásimas fueron estimadas como (**Alto**), mientras que la subcuenca Chalóns y la cuenca Carpintero de (**Medio**).

De acuerdo con el análisis de todos los indicadores previstos se pudieron develar las causas de las principales problemáticas encontradas en los ecosistemas (**Figura 7**), así como sus efectos, permitiendo enfocar las acciones a desarrollar por los principales decisores locales, en función de

mejorar las condiciones encontradas, cumpliendo lo propuesto por el principio 8 del enfoque ecosistémico³⁴, al declarar que los estudios en ecosistemas no son estáticos, por el contrario, sirven para buscar soluciones en un futuro cercano, lo que coincide con el interés del presente estudio.

Los procesos de conservación son fenómenos sociales, dentro de las cuencas fluye un sistema socio-ecológico (SSE), los cuales son la unidad analítica para la investigación del desarrollo sustentable; se les reconoce como sistemas complejos, pues se componen de subsistemas, que a su vez contienen múltiples variables humano-ambientales, por lo tanto, es la sociedad la que protege o destruye los recursos naturales y son ellas a su vez quienes deben darle un sentido a esa acción de conservación en el marco de su desarrollo individual y colectivo³⁵.

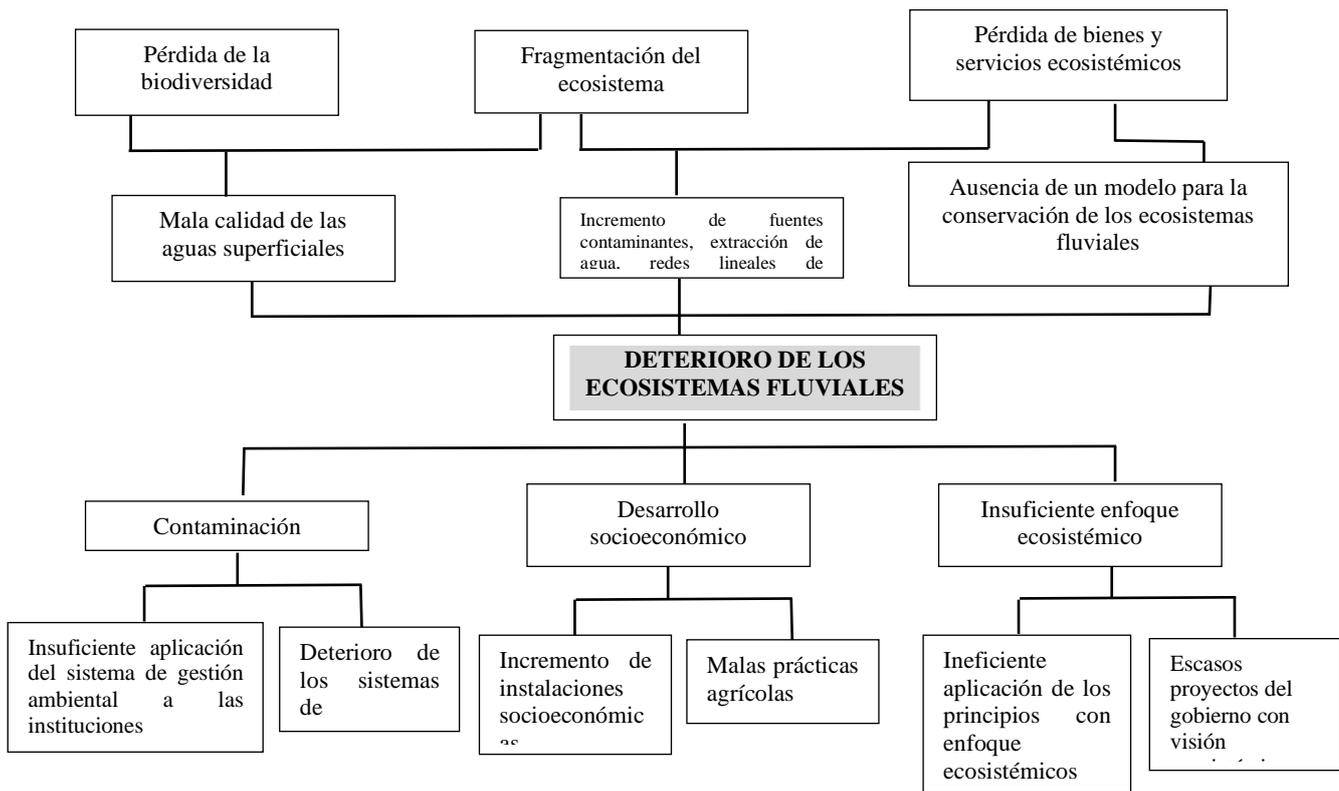


Figura 7. Principales problemáticas detectadas durante el análisis.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El análisis ecohidrológico es una herramienta capaz de permitir un análisis integrado, evidenciando que las cuencas San Juan y Las Guásimas son las más transformadas ante factores de estrés como la contaminación y la fragmentación del ecosistema.

Referencias

1. Mereles, A. (2021). El medio acuático, en grave proceso de degradación. Las Palmas de Gran Canaria. Informaciones Canarias, S.A. (INFORCASA). Gobierno de España. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. <http://dx.doi.org/10.25145/j.histcan.2020.202.06>
2. Campoblanco, H. y Gomero, J. (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.*, 3(5): 57-63 pp. <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24307>
3. Pozo, J. y Elosegí, A. (2009). El marco físico: la cuenca. España: Fundación BBVA. In book: *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. 39-49 pp. Chapter: El marco físico: la cuenca Publisher: Fundación BBVA Editors: Elosegí A and Sabater S. <https://goo.su/BUM2>
4. Guswa, A. J., Tetzlaff, D., Selker, J. S., Carlyle-Moses, D. E., Boyer, E. W., Bruen, M. y Levia, D. (2020). Advancing ecohydrology in the 21st century: A convergence of opportunities. *Ecohydrology*. 13: 1-14. pp <http://dx.doi.org/10.1002/eco.2208>
5. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2022). Ecohidrología: una breve introducción. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctvb6v6pn.4>
6. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1997). Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. Paper presented at the IHP-V. Technical documents in hydrology No 7, Paris. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v45i3-4.6061>
7. Morell, A., & Gómez, L. (2024) La significación práctica de la Ecohidrología un análisis de su potencial para el estudio de cuencas hidrográficas. *Agua y territorio*, 24. 97-116 pp. <http://doi:10.17561/at.24.7127>
8. Arduino, G. y Zalewski, M. (2021). Ecohydrology for the Sustainable Future of the Biosphere. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(1):12 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.09.001>
9. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2010). La Ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°23. Uruguay: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). <http://dx.doi.org/10.29104/phi-aqualac/2011-v3-1-08>
10. González Piedra, J. I. (2011). El Manejo de Cuencas en Cuba: un instrumento de Planificación Territorial. *Revista Proyección* 10 V. 90-100 pp. <https://doi.org/10.32457/riem.vi8.394>

11. Michalus, J.C, Sarache, W. y Hernández, G. (2015). Método de expertos para la evaluación ex-ante de una solución organizativa. *Visión de Futuro*, Vol.19 No.1. 1-17 pp. <http://dx.doi.org/10.36995/j.visiondefuturo>
12. Garrido, A., Cuevas, M. L., Cotle, H., González, D. I., y Rebecca, T. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental*, 2 (1): 25-46 pp. http://dx.doi.org/10.26640/cecoldo.ide_00006
13. Norma Cubana (NC:25/99). (1999). Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. La Habana. Cuba.
14. American Public Health Association (APHA). (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, Water Environment. Federation.1-554 pp. <http://dx.doi.org/10.12999/awwa.c705.60>
15. Herrero-Echevarría, J. A. Fajas forestales hidrorreguladoras: ¿Qué son? ¿Para qué sirven? ¿Cómo se calculan? ¿Cómo se crean y manejan?. (2003). La Habana: Ministerio de la Agricultura. http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_anc.2020.08.1
16. Oficina Nacional de Estadística e información (ONEI). (2020). Anuario Estadístico de Cuba. Oficina nacional de estadística e información. La Habana. Cuba. <http://www.onei.gob.cu/node/16275>
17. Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (INOTU). (2020). Esquema Provincial de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cuba. Cuba. <https://goo.su/UzK36>
18. Calderín, C., Salas, A., Ramírez, G., Durand, T., Infante, Y., Muñiz, A. and Bastic, M. (2018). Propuesta de un plan de acción preliminar para la preservación del lecho acuífero Cuenca hidrográfica San Juan (Informe Técnico). Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos en Santiago de Cuba. Cuba.
19. Coya de la Fuente, L. (2019). Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030. Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. Eje estratégico: Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana. Cuba.1-17 pp. <http://dx.doi.org/10.18356/a5163950-es>
20. Jakus, P. (1983). Formaciones vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias de Cuba Oriental. In E. C.-. Técnica (Ed.), Contribución a la Geología de Cuba Oriental. 17-80 pp. La Habana.
21. Bermúdez, G. y Durán, M. T. (1991). Mapas de precipitación. En Atlas de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba: Academia de Ciencias de Cuba.
22. Montenegro Moracen, U. Mapas de precipitación media anual. (1991a). En Atlas de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba: Academia de Ciencias de Cuba.

23. Gómez, C. (2004) Manual de Manejo de cuencas. Editor. Visión Mundial El Salvador. San Salvador: 2da. Edición: 138 pp. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctv513d5c.4>
24. Perrands, G. (2008). Propuesta de una estrategia ambiental para el manejo integrado de la cuenca San Juan, bajo un enfoque de Integración al medio marino. Tesis de Maestría Universidad de Oriente. (Inédito). 114 pp. Santiago de Cuba. <http://dx.doi.org/10.7764/tesisuc/com/21451>
25. Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. *AGRINFOR*. 64 pp. ISBN: 959-246-022-1. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctvpv5123.6>
26. Hernández, J. R., Magaz, A., Ortiz, M. A. y Zamorano, J. J. (1995). Clasificación morfoestructural (Tipológica) y morfotectónica (Salud) del relieve oriental cubano: Modelo insular de transición interplacas. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 3: 13-34 pp.
27. Morell, A., Bergues, P., López, P. y Almarales, A. (2020). Estado ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015. *Ciencia en su PC*, (1) 3. 36-49 pp. <http://dx.doi.org/10.24265/campus.2016.v21n21.02>
28. Álvarez, G. (2003). Efectos de las infraestructuras lineales de transporte. *El Ecologista*. 37. 56-59 pp. ISSN 0211-6472. <http://dx.doi.org/10.20868/upm.thesis.1011>
29. Meza-Rodríguez, D., Martínez-Rivera, L. M., Mercado-Silva, N., de Jalón-Lastra, D. G., del Tánago-Del Río, M. G., Marchamalo Sacristán, M., y De la Mora-Orozco, C. (2017). Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila-Armería en el Occidente de México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45(5). <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v35i3.224>
30. Rodríguez, F. E.; Martínez, L.M.; y Ortiz-Arrona, C. I. (2020). Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila-Armería. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XXII, (2). 28-38 pp. <http://dx.doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1243>
31. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). (2022). Conservación y uso sostenible de la biodiversidad desde el enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras. Santiago de Cuba. Cuba. 1-13 pp. <http://dx.doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.2>
32. Herrera Alvarez, M. Reservas de la Biosfera de Cuba. (2021). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 53 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124262>
33. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2019). Plan Nacional del Desarrollo Económico 2030. 1-48 pp. <http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.10554.20608>

34. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). (2004). Enfoque por ecosistemas. 1-50 pp. (Directrices del CDB). <https://www.cbd.int/doc/publications/ea-text-es.pdf>
35. Peña-Puch, A., Pérez-Jiménez, J. C., Munguía-Gil, A. y Espinoza-Tenorio, A. (2021). Sistemas socio-ecológicos como unidad de manejo: el caso de las pesquerías de Campeche, México. *Economía, Sociedad y Desarrollo*. XXI, (65). 113-145 pp. <https://doi.org/10.22136/est20211601>

/ **Received:** 23 June 2024 / **Accepted:** 23 August 2024 / **Published:** 15 September 2024 /

Citation: Alina de la Caridad Morell-Bayard, A., Gómez-Luna, L., Abalos-Rodríguez, A., Euclides Fornaris-Gómez, E., Mercedes Beyris-Mazar, A., Villalón-Poulot, L. *Evaluación del grado de transformación ecohidrológica, una herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas fluviales. Bionatura. 2024; Volume (9). No 3.*

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/>)

4 La profesionalización de los gestores docentes en la Facultad de Medicina No.1

The professionalization of teaching managers at the Faculty of Medicine No.1

Sandra María Casas Gross ^{1*}, Raúl Ceregido Domínguez ², Yunia Portuondo Tamayo³.

¹Universidad Ciencias Médicas Santiago de Cuba. Cuba. Facultad de Medicina No1; sandra.casas@infomed.sld.cu . <https://orcid.org/0000-0002-8478-5727>

²Universidad Ciencias Médicas Santiago de Cuba. Cuba. Facultad de Medicina No1; ceregido@infomed.sld.cu . <https://orcid.org/0000-0002-4564-6708>

³Universidad Ciencias Médicas Santiago de Cuba. Cuba. Facultad de Medicina No1; yuniapt@infomed.sld.cu . <https://orcid.org/0009-0007-7656-5218>

*Correspondence: sandra.casas@infomed.sld.cu; Tel.: 53 52837294

Available from. DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/>

Resumen

La profesionalización de los gestores docentes en la actualidad constituye parte importante del proceso de gestión docente para la formación del médico. La población la constituyó 141 directivos y metodólogos que laboran en la universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Se seleccionó una muestra de 44 (31,2%). El método de muestreo empleado fue el probabilístico por conglomerado. Se utilizó el procedimiento de la triangulación metodológica para agrupar y comparar los datos. El sistema de dimensiones e indicadores permitió evaluar la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina, Se definieron cuatro dimensiones cada una de ellas con 8 indicadores a saber: Coordinación docente, Gestión docente, Académico profesional, Cultura académica docente. El resultado final de la triangulación metodológica fue de 1.35, estimado como nivel bajo de desarrollo, se ratifica que la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina No.1 se encuentra afectada.

Palabras Claves. Profesionalización de los docentes; gestores docentes; gestión docente; formación del médico, Educación Médica Superior

Abstract

The professionalization of teaching managers at present constitutes important part of the teaching management process for the training of the doctor. The population consisted of 141 managers and methodologists working at the University of Medical Sciences of Santiago de Cuba. A sample of 44 (31.2%) was selected. The sampling method employed was the probabilistic by conglomerate. The procedure of methodological triangulation was used to group and compare the data. The system of dimensions and indicators made it possible to evaluate the professionalization of the teaching managers of the Faculty of Medicine, Four dimensions were defined each of them with 8 indicators namely: Teaching coordination, Teaching management, Professional academic, Teaching academic

culture. The final result of methodological triangulation was 1.35, estimated as low level of development, it is ratified that the professionalization of teaching managers of Faculty of Medicine No.1 is affected.

Keywords. Professionalization of teachers; teaching managers; faculty management; physician training, Higher Medical Education

Introducción

La educación médica asume, actualmente, los cambios que orientan las dinámicas sociales, los desafíos económicos, los problemas de salud y muy especialmente, la crisis causada por la pandemia mundial de la COVID- 19. Esos cambios ponen en riesgo una educación con excelencia, inclusiva y con equidad para todos los niveles; requieren la inserción de nuevas tecnologías y la adaptación de las ya existentes. Tiene la responsabilidad de formar médicos competentes en conocimientos y habilidades, valores y actitudes, y desarrollar programas educativos de calidad y mejora continuada para responder a situaciones complejas. ⁽¹⁾

En 2010 la prestigiosa revista The Lancet publicó un estudio exhaustivo sobre los retos y el futuro de la educación de la salud del siglo XXI. ⁽²⁾ Las proyecciones políticas de la gestión universitaria cubana, especialmente de la educación médica, se distinguen de las que acontecen en Latinoamérica, en tanto ese contexto se ha caracterizado, en general, por una gestión directiva que ocurre mediante el burocratismo, el centralismo, el poco compromiso con el desarrollo social y la limitada disposición en satisfacer las necesidades de la comunidad. ^(3,4)

Entre los enfoques que desarrollan la gestión directiva en la universidad, actualmente, se encuentran la gestión de calidad, la dirección por objetivos, la dirección por valores ⁽⁵⁾, el de los resultados, el de proyecto- por procesos ⁽⁶⁾ y el de dirección estratégica. ⁽⁷⁻¹¹⁾

Las universidades juegan un papel incuestionable en el desarrollo de los países. Los docentes son parte fundamental, para afrontar los retos venideros, por eso deben ser desarrollados profesionalmente, tomando en consideración la integralidad del rol docente asociado a la docencia, investigación, vinculación con la sociedad y gestión de cada uno de estos procesos. ⁽¹³⁾

La profesionalización de los docentes califica como una de las prioridades del sistema educativo en Cuba. Los profesionales de la educación médica, en los distintos escenarios formativos, replanteen sus modos de concebir y liderar la proyección de su labor pedagógica, mediante el método científico y otras alternativas para la problematización.

La Facultad de Medicina No1 constituye una unidad académica básica, subordinada a la Universidad de Ciencias Médicas, la cual incluye otras formas de organización estructural, han variado en correspondencia con las orientaciones de la Dirección de Docencia Universitaria, adscrita al MINSAP, para estar a tono con las tendencias del orbe, las exigencias sanitarias y las necesidades educativas que son el resultado de los procesos formativos de los médicos en Cuba. ⁽¹²⁾

El proceso de organización de la estructura de dirección académica en la Facultad de Medicina No. 1; a partir del año 2016, benefició la figura del Vicedecanato Académico, que supuso un trabajo integrado entre los departamentos, Formación profesional e Investigaciones y postgrado. Sin embargo, las propias barreras que supone la novedad de la estructura, las necesidades formativas, de superación y postgrado; así como los problemas de salud, climáticos y sociales que han impactado a escala mundial, también en Cuba, en Santiago de Cuba; requieren una gestión docente que articule, de manera pertinente, lo metodológico, la superación y el postgrado, para transformar los desafíos que impactan los entornos médicos universitarios. Proponiéndose como objetivo caracterizar el estado de la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina No.1.

Materiales y métodos

Los autores elaboraron desde la parametrización los instrumentos siguientes: encuesta a especialistas, directivos y metodólogos que realizan la gestión docente y guía de observación. La población estuvo constituida por 141 directivos y metodólogos que dirigen los procesos académicos de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. De esta población se seleccionó una muestra de 44 (31,2%), 23 directivos y 21 metodólogos para lo cual se tuvo en cuenta un nivel de confianza de un 95%, un margen de error de 5 y una tasa de participación de un 15% según referencia de expertos.

Los directivos y metodólogos seleccionados mostraron interés en participar en la investigación, a partir de su consentimiento.

El sistema de dimensiones e indicadores propuestos posibilitó evaluar la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina No.1. Se definieron cuatro dimensiones cada una de ellas con 8 indicadores a saber: Coordinación docente, Conducción Académica, Académico profesional y Cultura académica docente. Se empleó el procedimiento de la triangulación metodológica para determinar el nivel de afectación de la variable, dimensiones e indicadores, empleando una escala de decisión que considero tres niveles de desarrollo alto (2.3- 3), medio (1.7- 2.2) y bajo (1- 1.6) según el índice alcanzado.

Resultados

Al analizar los resultados de la encuesta a metodólogos que realizan la gestión docente (tabla 1) se aprecia que la dimensión Coordinación docente fue considerada en un nivel bajo para un 69.6 %, el 23.8 % la consideran moderada, el 6.5 % alto. La dimensión conducción académica de manera preponderante el 61.3 % de los metodólogos la evalúan de nivel bajo, el 32.1% moderado, 6.5 % un nivel alto, la que alude a lo académico profesional la mayoría la consideró 64.3% en un nivel bajo, el 28 % moderado, 7.3

% un nivel alto, así mismo, la dimensión que apunta a la cultura académica docente se evaluó en un 54.2 % de los metodólogos la evalúan de nivel bajo, el 37.5 % moderado, 8.3 % un nivel alto.

Tabla 1 Resultados de la encuesta a metodólogos que realizan la gestión docente

Dimensiones	Indicadores a evaluar (N=32)	Resultados						Total		
		3		2		1		No.	%	
		No.	%	No.	%	No.	%			
Dimensión 1. Coordinación docente	1.1			4	19.04	17	80.9	21		
	1.2	2	9.5	12	57.1	7	33.3	21		
	1.3			3	14.3	18	85.7	21		
	1.4	3	14.1	6	28.6	12	57.1	21		
	1.5	12	57.1	9	42.3	6	28.6	21		
	1.6			3	14.1	18	85.7	21		
	1.7			1	4.7	20	95.2	21		
	1.8			2	9.4	19	90.5	21		
Resultado de la dimensión			11	6.5	40	23.8	117	69.6	168	100
Dimensión 2. Conducción Académica	2.1	5	23.8	9	42.3	7	33.3	21		
	2.2	4	19.04	8	30.1	9	42.3	21		
	2.3	1	4.7	6	26.6	14	66.6	21		
	2.4			5	13.8	16	76.2	21		
	2.5	1	4.8	11	52.3	9	42.8	21		
	2.6			10	47.7	11	52.3	21		
	2.7			2	9.5	18	85.7	21		
	2.8			3	14.3	18	85.7	21		
Resultado de la dimensión			11	6.5	54	32.1	103	61.3	168	100
Dimensión 3. Académico profesional	3.1			1	4.8	20	80.9	21		
	3.2	2	9.5	4	19.04	15	71.4	21		
	3.3			2	9.5	19	90.5	21		

	3.4	1	4.8	2	9.5	18	85.7	21	
	3.5	2	9.5	14	66.6	5	23.8	21	
	3.6			2	9.5	19	90.5	21	
	3.7	3	14.1	12	57.1	6	28.6	21	
	3.8	5	23.8	10	47.7	6	28.6	21	
Resultado de la dimensión		13	7.7	47	28	108	64.3	168	100
Dimensión 4. Cultura académica docente	4.1	13	14.1	16	76.2	2	9.6	21	
	4.2	2	9.6	6	28.6	13	61.9	21	
	4.3	2	9.6	14	19.04	15	71.4	21	
	4.4			4	19.04	17	80.9	21	
	4.5			5	23.8	16	76.2	21	
	4.6	3	14.1	5	23.8	13	61.9	21	
	4.7			8	38.1	13	61.9	21	
	4.8	4	19	15	71.4	2	9.6	21	
Resultado de la dimensión		14	8.3	63	37.5	91	54.2	168	100

Fuente: Resultados de la triangulación de los instrumentos

Los resultados de la encuesta a directivos que realizan la gestión docente (tabla 2) arrojaron la evaluación del nivel de preparación y desarrollo en la gestión académica alcanzados en la dimensión Coordinación docente como bajo para un 64.13 %, el 26.08% la consideran moderada, el 8.1% alto y el 1.6% bajo. La dimensión referida a la conducción académica los directivos la evalúan de nivel bajo, el 40.8% moderado, 7.1% un nivel alto y el 1.6% bajo, lo Académico profesional fue considerado en un nivel bajo, el 29.9% moderado, 10.9% un nivel alto y el 1.1% bajo, así mismo la cultura académica el 43.5 % de los directivos la evalúan de nivel bajo, el 40.7% moderado, 7.1% un nivel alto.

Tabla 2. Resultados de la encuesta directivos que realizan la gestión docente

Dimensiones a evaluar	Indicadores	Resultados	Total
(N=32)		3	2
			1

		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Dimensión 1.	1.1			6	26.1	17	73.9	23	
Coordinación docente	1.2	2	8.58	14	60.9	7	30.4	23	
	1.3			5	21.7	18	78.9	23	
	1.4	4	17.4	7	30.4	12	52.17	23	
	1.5	8	34.8	9	39.1	6	26.1	23	
	1.6			3	13	20	87	23	
	1.7	1	4.3	1	4.3	21	91.3	23	
	1.8							23	
	Resultado de la dimensión		15	8.15	48	26.1	121	65.8	184
Dimensión 2.	2.1	6	26.1	10	43.44	7	30.4	23	
Conducción Académica	2.2	2	8.6	15	65.28	6	26.1	23	
	2.3	2	8.6	7	30.47	16	69.6	23	
	2.4			7	30.47	16	69.6	23	
	2.5	1	4.3	13	56.5	9	39.1	23	
	2.6	2	8.6	9	39.1	12	57.17	23	
	2.7			9	39.1	14	60.9	23	
	2.8			5	21.7	18	78.3	23	
	Resultado de la dimensión		13	7.1	75	40.7	96	52.2	184
Dimensión 3.	3.1			1	4.3	22	95.6	23	
Académico profesional	3.2	3	13	5	21.7	15	65.2	23	
	3.3			3	13	20	86.9	23	
	3.4	1	4.3	2	8.7	20	86.9	23	
	3.5	4	17.4	14	60.9	5	21.7	23	
	3.6			4	17.4	19	82.6	23	
	3.7	5	21.7	12	52.2	6	26.1	23	
	3.8	7	30.4	10	43.5	6	21.6	23	

Resultado de la dimensión		20	10.9	55	29.9	109	59.2	184	100
Dimensión 4. Cultura académica docente	4.1	6	26.1	15	69.6	2	8.7	23	
	4.2	4	17.4	12	52.1	7	30.4	23	
	4.3	3	13	5	21.7	15	65.21	23	
	4.4			6	26.1	17	73.9	23	
	4.5	6	26.1	15	68.6	3	13	23	
	4.6	3	13	6	26.1	14	60.9	23	
	4.7			6	26.1	17	73.9	23	
	4.8	7	30.4	10	43.5	5	21.7	23	
Resultado de la dimensión		29	15.8	75	40.7	80	43.5	184	100

Fuente: Resultados de la triangulación de los instrumentos

En los resultados de la guía de observación (Tabla 3) se constató la dimensión Coordinación docente en un nivel bajo para un 69.6 %, el 23.8 % la consideran moderada, el 6.5 % alto. la conducción académica se observó que de forma global el 53.4 % se manifiesta en el nivel bajo, el 38.6 % moderado, 6.2 % un nivel alto y el 1.7 % bajo. La Dimensión 3 que alude a lo académico profesional se constata 59.9 % exhiben el nivel bajo, el 27.3 % moderado, 9.6 % un nivel alto y el 3.1 % bajo. Al referirse a la dimensión relacionada con Cultura académica Se pudo comprobar que de forma general la dimensión fue considerada el 54.2 % en un nivel bajo, el 37.5% moderado y un 8.3 % un nivel alto.

Tabla 3 Resultados de la guía de observación

Dimensiones	Indicadores a evaluar (N=32)	Resultados						Total	
		3		2		1		No.	%
		No.	%	No.	%	No.	%		
Dimensión 1. Coordinación docente	1.1			10	22.7	34	72.3	44	
	1.2	4	9.1	26	59.1	14	31.8	44	
	1.3			8	18.2	36	81.8	44	
	1.4	8	18.2	12	27.3	24	44.8	44	
	1.5	16	36.4	16	36.4	12	27.3	44	

	1.6		4	9.1	40	90.9	44		
	1.7		2	4.5	42	93.5	44		
	1.8		4	9.1	40	90.9	44		
Resultado de la dimensión		28	7.9	82	23.3	242	68.7	352	100
Dimensión 2.	2.1	12	22.2	18	40.9	14	31.8	44	
Conducción	2.2	4	9.1	25	56.9	15	34.1	44	
Académica	2.3	4	9.1	12	22.2	28	63.6	44	
	2.4			12	22.2	32	77.8	44	
	2.5	2	4.5	25	56.9	17	38.6	44	
	2.6			22	50	22	50	44	
	2.7			16	36.4	28	63.3	44	
	2.8			6	13.6	38	86.4	44	
Resultado de la dimensión		22	6.2	136	38.6	194	55.1	352	100
Dimensión 3.	3.1			1	2.3	43	97.7	44	
Académico	3.2	6	13.6	8	18.2	30	68.2	44	
profesional	3.3			6	13.6	38	86.4	44	
	3.4	1	2.3	4	9.1	39	88.6	44	
	3.5	7	15.9	27	61.4	10	22.7	44	
	3.6			6	13.6	38	86.4	44	
	3.7	8	18.2	24	54.5	12	22.3	44	
	3.8	12	22.3	20	45.5	12	22.3	44	
Resultado de la dimensión		34	9.6	96	27.3	222	63.1	352	100
Dimensión 4.	4.1	8	18.2	32	72.7	4	9.1	44	
Cultura	4.2	6	13.3	12	22.3	26	59.1	44	
académica	4.3	5	11.4	9	20.5	30	68.2	44	
docente	4.4			10	22.7	34	77.3	44	
	4.5			10	22.7	34	77.3	44	

4.6	6	13.3	13	29.5	25	56.8	44	
4.7			12	22.3	32	77.7	44	
4.8	10	22.7	32	77.7	2	4.5	44	
Resultado de la dimensión	35	9.9	130	36.9	187	53.1	352	100

Fuente: Resultados de la triangulación de los instrumentos

La orientación en las potencialidades y debilidades de todos los gestores docentes, para desarrollar los procesos y cualificar los resultados ha sido estable, sobre todo por limitaciones en la permanencia de gestores docentes: aspecto que ha incidido, de manera moderada, en las estrategias educativas en función del crecimiento integral mediante la educación en el trabajo.

La proyección metodológica para la profesionalización de los gestores docentes debe enriquecerse, a partir de un alto compromiso que exprese un desarrollo profesional sostenido en maestrías y doctorados; especialmente, en cuanto al desarrollo de grados científicos los actores presentan resultados insuficientes. Se advierte un bajo desarrollo limitado de políticas, estrategias y programas para el crecimiento académico.

A partir de utilizar el análisis descriptivo de los resultados obtenidos por la vía empírica en esta investigación, la autora utilizó el procedimiento de la triangulación metodológica (tabla 4) cuyo resultado final fue de 1.35, estimado como nivel bajo de desarrollo, lo que permite ratificar que la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina No1 se encuentra afectada.

Tabla 4. Triangulación de los instrumentos

Dimensiones	Enc.D	Enc. M	G.O	Valor
Coordinación y jerarquización.	1.3	1.2	1.3	
Conducción Académica	1.4	1.3	1.4	
Liderazgo académico transformador.	1.4	1.3	1.3	
Cultura académica docente	1.5	1.5	1.4	
Variable	1.4	1.3	1.35	1.35

Fuente: Resultados de la triangulación de los instrumentos

La descripción desarrollada como expresión de lo parametrizado revela los siguientes **problemas:**

- La coordinación docente de los procesos formativos en la Facultad de Medicina
- Gestión docente que limita la movilidad y pertinencia de los gestores.
- Liderazgo académico profesional estático, poco flexible.
- La cultura pedagógica carente que compromete la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina

No obstante, se identifican las siguientes potencialidades:

- Prestigio profesional sostenido, lo cual se manifiesta en las competencias formativas y para la dirección.
- Conocimiento, actualización y compromiso social
- Contribución discreta para la solución de los principales problemas sanitarios del territorio.

Los problemas y potencialidades identificados avalan la necesidad del desarrollo de un modelo para la profesionalización de los gestores docentes de la Facultad de Medicina No1.

Discusión

La formación profesional constituye una alternativa estratégica para el desarrollo del país, que pretende evolucionar hacia un futuro mejor, a tenor de las condiciones económicas y sociales imperantes en la actualidad. Debido a al carácter continuo de este proceso, se hacen necesarias diversas alternativas para su mejora.

La profesionalización de los gestores docentes de las universidades de ciencias médicas, debe ser el reflejo de los cambios del entorno en que desarrollan sus actividades. En la actualidad constituye parte importante del proceso de gestión docente para la formación del médico; sus funciones asumen el desafío que implica los problemas actuales que enfrentan la Educación Médica Superior en un mundo globalizado. ⁽¹²⁾

Lo anterior lleva implícito la organización y el funcionamiento integral del que realiza una profesión, así como la combinación de conocimientos en los requerimientos para su ejecución. Alude a la relación entre el desarrollo profesional obtenido por los sujetos y los requerimientos del encargo social de la entidad. Por tanto, se puede decir que es un proceso educativo relacionado con la adquisición y/o desarrollo de las habilidades y destrezas básicas demandadas por el modelo profesional, manifestándose en su actuación. ⁽¹³⁾

El proceso de profesionalización, al tomar en cuenta el urgente y dinámico desarrollo científico-tecnológico, socioeconómico, cultural y ecológico que distingue la sociedad actual, constituye un sistema de saberes, procederes inter y multidisciplinario para la aplicación y transferencia de conocimientos científicos y prácticos de salud integrados. ⁽¹⁴⁾

Para Añorga-Valcárcel ⁽¹⁵⁾, la profesionalización es un proceso que tiene su génesis en la formación escolarizada del individuo, posee como esencia la reorientación o especialización según el caso, de los recursos laborales calificados, a través del cual se logra alcanzar la eficiencia en la adquisición y/o desarrollo de las competencias básicas exigidas por el modelo profesional.

Salas, citado por Rodríguez ⁽¹⁶⁾, en el año 2021, se refirió al desempeño profesional en salud, entendiéndolo como “el comportamiento o la conducta real de los trabajadores, tanto en el orden profesional y técnico como en las relaciones interpersonales que se crean en la atención del proceso salud-enfermedad de la población; en el cual influye a su vez, de manera importante el componente ambiental.”

La investigadora concuerda con lo expresado por los autores anteriores aprecia el desempeño profesional como proceso desarrollado por un sujeto mediante las relaciones de carácter social que se establecen en la aplicación de métodos para el cumplimiento de su contenido de trabajo, que le permitan vincular los conocimientos teóricos y prácticos.

A su vez considera que el desempeño profesional se expresa, como transformación en el desarrollo intelectual, físico y espiritual; a partir de la relación dialéctica que se establece entre profesionalización y desempeño para el desarrollo profesional. Es de esta manera que emerge la necesidad de gestores que realicen una conducción académica y académico profesional de acuerdo a las exigencias del contexto de actuación profesional.

Por otro lado, Rodríguez ⁽¹⁵⁾, define la estructura de dirección académica como el conjunto de todas las formas en que se divide la dirección del proceso docente- educativo, mediante su coordinación. Sus rasgos, están constituidos por la conexión y relaciones recíprocas entre las unidades organizativas (relaciones de trabajo entre los sujetos para la realización de tareas distintas y nexos de coordinación y subordinación, para sustentar los componentes de la estructura) y las estructuras formal e informal (lo formal establece las relaciones planificadas y lo informal, los vínculos espontáneos, pero significativos para el cumplimiento de las acciones organizativas que dan cuenta del logro del encargo social.⁽¹⁵⁾

Se valora la unidad entre la formación básica y la pedagógica, y otorga a la pedagógica la “responsabilidad de la profesionalización”, sobre lo cual se asume como posición que no sólo con este elemento se logra la comprensión de la profesionalización como proceso, para lo que se debe considerar la unidad formación básica - pedagógica en su interrelación dialéctica. La profesionalización de los gestores docentes facilita un desarrollo eficaz y pertinentes de los procesos formativos, garantizando la formación de un profesional médico competentes con valores éticos y humanistas como capaces de responder al encargo social.

Conclusiones

Al elaborar la caracterización del estado actual de la profesionalización de los gestores docentes de la facultad de medicina se revela que existen insuficiencias en las todas las dimensiones; a saber, en la coordinación docente, la conducción académica, académico profesional y la cultura académica docente.

Contribución de los Autores:

Sandra María Casas Gross: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, redacción del borrador original, visualización.

Raúl Ceregido Domínguez: Conceptualización, análisis formal, metodología y redacción del borrador original.

Yunia Portuondo Tamayo: Curación de datos, análisis formal, validación y visualización.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Declaración de disponibilidad de datos: los datos que respaldan los resultados informados se encuentran archivados en la documentación del Consejo Científico de la Facultad de Medicina No.1 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba.

Conflictos de Intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Agradecimientos: al Consejo Científico de la Facultad de Medicina No. 1 y la Comisión de grados científico de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba.

Referencias

1. Gal B, Sánchez J, González-Soltero R, Learte A, Lesmes M. La educación médica como necesidad para la formación de los futuros médicos. *Educ médica* [Internet]. 2021;22(2):111–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edumed.2020.09.008>
2. Frenk J, Chen L, Bhutta ZA, Cohen J, Crisp N, Evans T, et al. Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. *Lancet* [Internet]. 2010;376(9756):1923–58. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61854-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61854-5)
3. Veliz-Briones VF, Alonso-Becerra A, Fleitas-Triana MS, Alfonso-Robaina D. Una gestión universitaria basada en los enfoques de gestión de proyecto y por proceso. *Rev Electrón Educ* [Internet]. 2016;20(3):1. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15359/ree.20-3.23>
4. Calvo G. Políticas del sector docente en los sistemas educativos de América Latina. 2020 [citado el 31 de agosto de 2024]; Disponible en: <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/handle/20.500.12365/17603>

5. Teresa Abesada B, Almuñías Rivero JL. La dirección estratégica en las instituciones de educación superior. Necesidad de su evaluación. Rev Cuba Educ Super [Internet]. 2016 [citado el 31 de agosto de 2024];35(3):137–47. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142016000300011&lng=es&nrm=iso
6. Tapia I, Moreno M, Marrero C y Estrada M. El enfoque a procesos. Una mirada desde la gestión universitaria. Ciencias Holguín.2022; 28(1) [citado el 31 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1815/181570010007/html/>
7. Véliz Briones V. Modelo de gestión por procesos para asegurar la calidad de la universidad. [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas]. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". [citado 2 de junio de 2024]; 2017. Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana, Cuba. Disponible en: <https://rc.upr.edu.cu/bitstream/DICT/3210/1/Jos%C3%A9%20A.%20Veliz.pdf>
8. Zamora-Serrano E, González-Rodríguez JE. Estrategias de gestión en educación superior: análisis desde los enfoques basados en resultados y en procesos. Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior [Internet]. 2018;9(2):211–38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22458/caes.v9i2.2151>
9. Salazar-Caballero, Ortega-Cabrejos, Hoyos Rubio. Planificación Estratégica: Una Mirada desde la Educación Inicial en el Contexto Peruano Rev Tecnológica-Educativa Docentes 2.0 [Internet]. 2023. Disponible en: <https://ojs.docentes20.com/index.php/revista-docentes20/article/view/402/971>
10. Alzate Ortiz FA, Chaverra Rodríguez LM, Arango Zuleta EP. Gestión directiva universitaria desde el paradigma de la complejidad: otra mirada y nuevas propuestas. Hallazgos [Internet]. 2019;17(33). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15332/2422409x.5454>
11. Pulido Díaz A, Pérez Viñas VM, Bravo Salvador M. Una aproximación a la gestión de los procesos universitarios: sus dimensiones. Rev MENDIVE [Internet]. 2023 [citado el 31 de agosto de 2024];21(1):e3012–e3012. Disponible en: <https://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/3012>
12. Olivares Paizan G, Walter Sánchez V, Cuello Ho R. Estrategia metodológica para el desarrollo de la profesionalización de los docentes de la educación médica. Rev MENDIVE [Internet]. 2021 [citado el 31 de agosto de 2024];19(4):1168–84. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962021000401168&lng=es&nrm=is

13. Objetivos de trabajo del MINSAP para el 2021: continuar mejorando los indicadores de salud [Internet]. Sitio oficial de gobierno del Ministerio de Salud Pública en Cuba. 2021 [citado el 31 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://salud.msp.gob.cu/objetivos-de-trabajo-del-minsap-para-el-2021-continuar-mejorando-los-indicadores-de-salud/>
14. Suárez Monzón Noemí, Palacios Díaz Diego Arturo, Delgado Valdivieso Karina Elizabeth, Pérez Cruz Isabel Cristina. Complejidades del desarrollo profesional universitario y claves metodológicas mixtas para su análisis. Rev Cub Med Mil [Internet]. 2019 [citado 2024 Ago 31] ; 48(Suppl 1): . Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572019000500008&lng=es. Epub 01-Dic-2019.
15. Añorga-Valcarcel C. El Modelo de las Competencias desde la Educación Avanzada. [CD-ROM] “Doctorado en Ciencias de la Educación.”. URMPSFX. Sucre, Bolivia; 2008.
16. Rodríguez AM. Modelo desarrollador de la organización del sistema de dirección de la Universidad de Ciencias Pedagógicas José Martí. Tesis de Doctorado. 2010.2010 [Citado 2 de junio de 2024]. ReDIUC/ Tesis de Doctorados de la Universidad de Ciencias Pedagógicas “José Martí” (-2014). Disponible en: <http://rediuc.reduc.edu.cu/jspui/handle/123456789/87>

/ **Received:** 10 July 2024 / **Accepted:** 29 August 2024 / **Published:** 15 September 2024 /

Citation: María Casas-Gross, S., Ceregido-Domínguez, R., Portuondo-Tamayo, Y. La profesionalización de los gestores docentes en la Facultad de Medicina No.1. *Bionatura*. **2024**; Volume (9). No 3.

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 Factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica: aprendizaje apoyado en software educativo

Risk factors and occupational diseases in dental practice: learning supported in educational software

MSc. Madelin Machado Cuayo ^{1*}, Dr.C Mildred Gutiérrez Segura ²

¹ Universidad de Ciencias Médicas. Holguín. Cuba. mmachdohlg@infomed.sld.cu;
<https://orcid.org/0000-0003-1867-0830>

² Clínica Estomatológica Artemio Mastrapa Rodríguez. Cuba. mildredgs@infomed.sld.cu;
<https://orcid.org/0000-0002-3703-4867>

*Correspondencia: mmachdohlg@infomed.sld.cu

Resumen

Se realizó una investigación de desarrollo tecnológico en el campo de recursos del aprendizaje en la clínica estomatológica “Artemio Mastrapa Rodríguez” de Holguín, desde junio de 2022 a mayo de 2023, con el objetivo de elaborar un software educativo del tema factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica. Se utilizaron métodos teóricos como la revisión de la literatura y documental, el analítico-sintético e inductivo-deductivo y como métodos empíricos la observación, la encuesta y la entrevista. Se identificó la necesidad de elaborar un recurso para el aprendizaje sobre los factores de riesgo y enfermedades profesionales por 100 % de los profesores y estudiantes, se elaboró un software educativo estructurado en los módulos inicio, temario, mediateca, glosario de términos, ejercicios, complementos y ayuda, que 100 % de los profesores y estudiantes consideraron excelente su factibilidad, la actualización de los contenidos y la utilidad de los ejercicios. El software educativo puede ser utilizado en el desarrollo del proceso docente educativo, en todos los años de la carrera y por profesionales de Estomatología, por su actualidad, pertinencia y calidad, constatada por los diferentes métodos empleados.

Palabras clave: Software educativo, factores de riesgo, enfermedades profesionales, odontología.

Abstract

A technological development research was carried out in the field of learning resources in the dental clinic “Artemio Mastrapa Rodríguez” in Holguín, from June 2022 to May 2023, with the aim of developing an educational software on the topic of risk factors and diseases dental practice

professionals. Theoretical methods such as literature review and documentary, analytical-synthetic and inductive-deductive and observation, survey and interview were used as empirical methods. The need to develop a resource for learning about risk factors and occupational diseases was identified by 100% of teachers and students, an educational software structured in the modules home, topic, media library, glossary of terms, exercises, supplements was developed and help, which 100 % of the teachers and students considered excellent its feasibility, the updating of the contents and the usefulness of the exercises. The educational software can be used in the development of the educational teaching process, in all years of the career and by professionals of Dentistry, for its currentness, relevance and quality, ascertained by the different methods employed.

Keywords: Educational software, risk factors, occupational diseases, dentistry.

Introducción

Los factores de riesgo laboral, pueden aparecer en diferentes momentos durante la práctica clínica. Entre ellos están los contaminantes ambientales conocidos como agentes físicos relacionados con el ruido, la iluminación, la ventilación y las radiaciones, los agentes químicos representados por las sustancias naturales o sintéticas que puedan contaminar el ambiente y provocar efectos irritantes durante su utilización, así como los agentes biológicos relacionados con procesos tóxicos, infecciosos y alérgicos provocan efectos negativos en la salud ⁽¹⁾.

También se reconocen como factores de riesgo los agentes psicosociales que pueden influir en el estado anímico de las personas y los agentes ergonómicos que pueden provocar la enfermedad del trabajo ⁽¹⁾. De ahí la importancia de aplicar los principios referentes a la adaptación del estomatólogo, el asistente, el paciente y los medios de trabajo. Todos estos factores de riesgo antes mencionado pueden llevar a la aparición de las enfermedades profesionales, tales como el síndrome de Burnout ⁽²⁾.

La Hepatitis B, el VIH Sida, la Tuberculosis, la Sífilis y la Candidiasis son enfermedades profesionales provocadas por virus, bacterias y hongos. Una amplia gama de microorganismos patógenos se encuentra en las secreciones respiratorias y en los fluidos bucales como la saliva y la sangre, que se intercambian entre profesionales y pacientes en el momento de la atención estomatológica, lo que puede provocar infecciones cruzadas si no se cumplen las medidas de la bioseguridad. También ameritan especial atención las enfermedades del sistema osteomuscular, el sistema respiratorio (Covid-19), el hidrargirismo, entre otras ^{(3), (4)}.

La enseñanza de estos contenidos desde el primer año de la carrera requiere especial atención, por el vínculo del estudiante con el escenario que será su futuro medio profesional. Los conocimientos,

hábitos y habilidades encaminados a evitar el riesgo y las enfermedades profesionales permiten tener una larga y activa vida profesional con salud y calidad, a la vez que se protege al paciente y otros participantes en la atención estomatológica.

En el proceso docente educativo (PDE) de la carrera Estomatología este tema adquiere una connotación particular, por el predominio de la educación en el trabajo, que potencia el vínculo de la teoría con la práctica, donde el estudiante se apropia de los modos de actuación profesional. En este contexto los recursos propios de la profesión se convierten en medios de enseñanza y cobran un especial significado por su contribución al aprendizaje. No obstante, el desarrollo tecnológico ofrece otras posibilidades que pueden ser aprovechadas en el proceso docente educativo.

La realidad digital se incluye en todos los ámbitos de la vida social, modifica los comportamientos y las formas de relación, por ello, es la propia sociedad la protagonista en la orientación de nuevos procesos formativos humanos y técnicos que respondan a los requerimientos sociales. La influencia de las tecnologías de la información y la comunicación es marcada en la esfera educacional; la universidad no es ajena al impacto de la tecnología ⁽⁵⁾.

En el siglo XXI en las universidades se incrementa la incorporación a la práctica docente de los avances tecnológicos en los procesos de enseñanza y se aplican las teorías del aprendizaje significativo en busca de nuevas posibilidades para la construcción del conocimiento ⁽⁶⁾. La fuerza tecnológica potencializa y promueve el intercambio entre individuos, sociedades y culturas que conducen a cambios en los paradigmas para el aprendizaje ⁽⁷⁾.

La educación evoluciona en conjunto con la revolución tecnológica, esta última se conoce como la era de la informatización. Esto trae consigo cambios en los métodos convencionales de enseñanza y aprendizaje, aspecto que ha permitido que profesores y estudiantes se apropien de conocimientos para la creación de herramientas computacionales, que puedan ser utilizadas como medios de enseñanza durante el PDE, entre las que destacan el software educativo ^{(8), (9)}.

El uso del software educativo en las universidades cubanas sirve como complemento para garantizar la calidad de la docencia y transformar el proceso de formación académica, sustentándolo en fundamentos teóricos pertinentes con el desarrollo actual. La labor de dirección del profesor y la actividad independiente del estudiante favorecen la educación desarrolladora ⁽¹⁰⁾.

La disponibilidad de recursos tecnológicos en la educación superior en Cuba, apoya el aprendizaje y adquiere relevancia. Sus múltiples usos son un elemento decisivo en la didáctica de las asignaturas, y se aprovechan para promover la independencia cognoscitiva y la gestión del conocimiento ⁽¹¹⁾. Todos estos aspectos contribuyen a egresar un profesional capaz de insertarse en el quehacer

investigativo y en el proceso de informatización que se desarrolla, con un modelo de universidad humanista, universalizada, científica, tecnológica e innovadora ⁽¹²⁾.

En correspondencia con las tendencias actuales y los cambios en la educación superior, profesores y estudiantes de la carrera Estomatología en la Universidad de Ciencias Médicas de Holguín (UCMHo) se insertan en la creación y desarrollo de recursos para la enseñanza y el aprendizaje con la tecnología educativa. Se refiere la existencia de 44 software educativos para varias asignaturas ⁽¹³⁾. En la actualidad, 11 de ellos pueden ser utilizados con la aplicación APK en sus teléfonos celulares. Estos logros favorecen el autoaprendizaje y la independencia cognoscitiva, con un incremento del uso de estos productos tecnológicos.

El acceso a plataformas y recursos a través de los diversos dispositivos móviles como la laptop, tabletas, y teléfonos celulares contribuye al desarrollo de habilidades, destrezas e integrar conocimientos teóricos y prácticos ⁽¹⁴⁾. Todo ello, con la correspondiente planificación y utilización en el PDE, conlleva al aprendizaje desarrollador y a la motivación de los estudiantes.

El software educativo, constituye una respuesta pertinente a las expectativas sociales en el contexto actual, en correspondencia con la tendencia a incrementar el empleo de los recursos tecnológicos en la educación médica. Es importante aprovechar las potencialidades de estos recursos, como medio y contenido de apoyo adicional que puede ser utilizado en las diferentes formas organizativas del trabajo docente en las asignaturas que se imparten en la carrera ⁽¹⁵⁾. Su empleo, como sucede con los medios audiovisuales, favorece una mayor permanencia del conocimiento adquirido, siempre que promueva la discusión y análisis en la realización de una actividad ⁽¹⁶⁾.

En primer año de la carrera Estomatología los estudiantes reciben el curso propio Bioseguridad en los servicios estomatológicos enfocado hacia la prevención de las enfermedades profesionales. En el tercer año de la carrera se imparte la asignatura Operatoria Dental y Restaurativa, en cuyo programa, dentro del sistema de objetivos y conocimientos, orienta el abordaje de los contenidos sobre la higiene del trabajo, riesgos laborales y enfermedades profesionales, así como las medidas preventivas.

Los contenidos referidos se aplican en todos los años de la carrera, en particular en la educación en el trabajo donde estos conocimientos son indispensables para la labor asistencial que realizan durante la atención al paciente. Por todas las consideraciones realizadas se plantea como objetivo elaborar un software educativo como recurso para el aprendizaje del tema factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica.

Material y métodos

Se realizó una investigación de desarrollo tecnológico en la clínica estomatológica docente “Artemio Mastrapa Rodríguez” desde septiembre de 2022 a junio de 2023. El objeto de estudio fueron los recursos para el aprendizaje en el proceso docente educativo y el campo de acción los recursos para el aprendizaje del tema factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica. El universo de estudio de los profesores lo conformaron estomatólogos vinculados a la asistencia y docencia. La muestra seleccionada por el método aleatorio simple incluyó 10 profesores. A partir del universo de estudio representado por la totalidad de los estudiantes de la carrera se seleccionó una muestra no probabilística intencionada integrada por los ocho estudiantes de la sede universitaria “Artemio Mastrapa Rodríguez”, que recibían docencia en la clínica en el período de la investigación. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes.

Se utilizaron como métodos teóricos la revisión de la literatura y documental, el analítico-sintético y el inductivo-deductivo. La revisión de la literatura abarcó los libros de textos básicos, complementarios y de consulta de las diferentes asignaturas, así como la bibliografía publicada del tema, lo que fue útil para la confección de los materiales didácticos, así como obtener todo lo referente al desarrollo de los recursos para el aprendizaje y en particular el software educativo.

La revisión documental abarcó la revisión de los documentos normativos de la carrera Estomatología, el plan de estudio y los programas de Bioseguridad y Operatoria dental y restaurativa. Esta permitió identificar los temas en que se imparten los contenidos del software; lo que favoreció la organización y la elaboración de los materiales de acuerdo a los objetivos de los programas.

Como métodos empíricos se emplearon la observación, la encuesta y la entrevista. La observación fue concebida a través de una guía diseñada por las autoras que permitió identificar la necesidad de recursos para el aprendizaje sobre factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica. Se tuvieron en cuenta los medios de enseñanza utilizados por el profesor en la clase. Se observaron seis actividades docentes distribuidas en dos conferencias, tres trabajos independientes y una clase práctica.

La entrevista se realizó a los estudiantes y a los profesores de la muestra, mediante una guía con preguntas cerradas, evaluadas en la escala de sí y no, conformadas por cuatro ítems con el objetivo de identificar la necesidad de recursos para el aprendizaje en las actividades docentes.

Para el desarrollo del software educativo se recibió orientación en el departamento de medios audiovisuales de la Universidad de Ciencias Médica de Holguín. Se verificó en la base de datos nacional la inexistencia de otro software del tema. Se hizo el diseño pedagógico en tres etapas: planeación, edición y presentación. Durante la planeación se identificaron los contenidos, se

definieron los materiales a desarrollar y los requerimientos de equipos, materiales y recursos disponibles para la realización del software.

En la edición se tuvieron en cuenta la estética en cuanto a la calidad de las imágenes y los colores utilizados, aspectos funcionales, didácticos, científicos, técnicos y de producción. Se decidió el título del producto y la música instrumental de fondo. Se elaboró la página de inicio y los diferentes módulos para el software educativo: temario, glosario de términos, ejercicios, mediateca, complemento y ayuda.

Las autoras elaboraron todos los materiales didácticos. Los contenidos fueron analizados por tres especialistas con más de diez años de experiencia en la docencia, uno con categoría docente de Profesor Auxiliar y dos de Profesor Asistente. Se tomaron fotos inéditas sobre los factores de riesgo a los que está propenso el personal que labora en las consultas estomatológicas y de las manifestaciones bucales de enfermedades profesionales, así como las medidas de bioseguridad empleadas para prevenir su transmisión. Se elaboró la ayuda metodológica y el manual de usuario para orientar el uso del software y facilitar la navegación por todas las áreas del producto.

Luego de tener preparados todos los materiales el software se montó en la plantilla Crheasoft elaborada en esa institución, versión V 3.4.9 plantilla número uno, conformó con ayuda del equipo de trabajo del departamento de medios audiovisuales de la Universidad de Ciencias Médicas de Holguín. La evaluación desde el punto de vista informático se realizó por el responsable del área de software educativo. La evaluación se hizo por los profesores principales del curso propio y de la asignatura.

La etapa de presentación comprendió el proceso de soporte, compilación y compactación del programa para permitir el acceso a los componentes del software, así como su instalación y uso sin necesidad de conexión. Ya conformado el software educativo y validado se puso a disposición de los profesores y estudiantes de la muestra, quienes lo emplearon en las actividades docentes y en la autopreparación.

Con posterioridad a la prueba piloto realizada se aplicó a los estudiantes y profesores un cuestionario directo, de preguntas cerradas, estructuradas, conformado por seis ítems, con el objetivo de valorar el software educativo. Se utilizaron los siguientes indicadores:

- Factibilidad del recurso: posibilidad de uso con fácil ejecución.
- Actualización de los contenidos: actualidad y correspondencia de los contenidos con los objetivos.
- Pertinencia del glosario de términos: adecuación al contenido del tema.
- Utilidad de los ejercicios: ejercicios en correspondencia con el contenido y los objetivos.
- Calidad de las imágenes: imágenes claras que ilustran aspectos del contenido.

-Aporte bibliográfico: bibliografía básica y complementaria del tema y otras dirigidas a la formación integral.

Para la valoración de cada uno de los indicadores y del software en general se aplicó la escala de estimación mixta representada en: Excelente- 5; Muy bien- 4; Bien- 3; Regular- 2; y Mal- 1.

Se realizó la triangulación de los resultados de los métodos empleados. La información obtenida se procesó de forma manual y se utilizó la estadística descriptiva referente a valores absolutos y por ciento. La redacción y edición se realizó en una computadora Pentium IV con ambiente de Windows XP. Los resultados se ofrecen a través de ideas comentadas, una tabla, imágenes del software y gráficos.

Resultados

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos en la observación de las actividades docentes. La pizarra se utilizó en 100 % de las actividades y las láminas en 66,7 %. Se apreció la utilización del Power Point en 100 % de las conferencias (Tabla 1).

Medios de Enseñanza	Actividades docentes					
	Conferencia		Trabajo independiente		Clase práctica	
	No.	%	No.	%	No.	%
Pizarra	2	100	3	100	1	100
Power Point	2	100	-	-	-	-
Láminas	2	100	2	66,7	-	66,7
Objetos reales	2	100	-	-	1	33,3

N: 2 Conferencia, 3 Trabajo independiente, 1 Clase práctica.

Tabla 1. Recursos del aprendizaje utilizados en las actividades docentes planificadas en las diferentes formas de organización de la enseñanza.

En la entrevista a los estudiantes y profesores se constató que 100% de los entrevistados consideró que son insuficientes los recursos para el aprendizaje sobre el tema factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica y similar por ciento opina que sería útil el empleo de un software como medio de enseñanza acerca del tema.

A partir de la necesidad identificada en los resultados de la observación y entrevista se diseñó el software educativo conformado por los módulos temario, glosario de términos, mediateca, ejercicios, juegos y el manual de ayuda (Figuras 1-3).

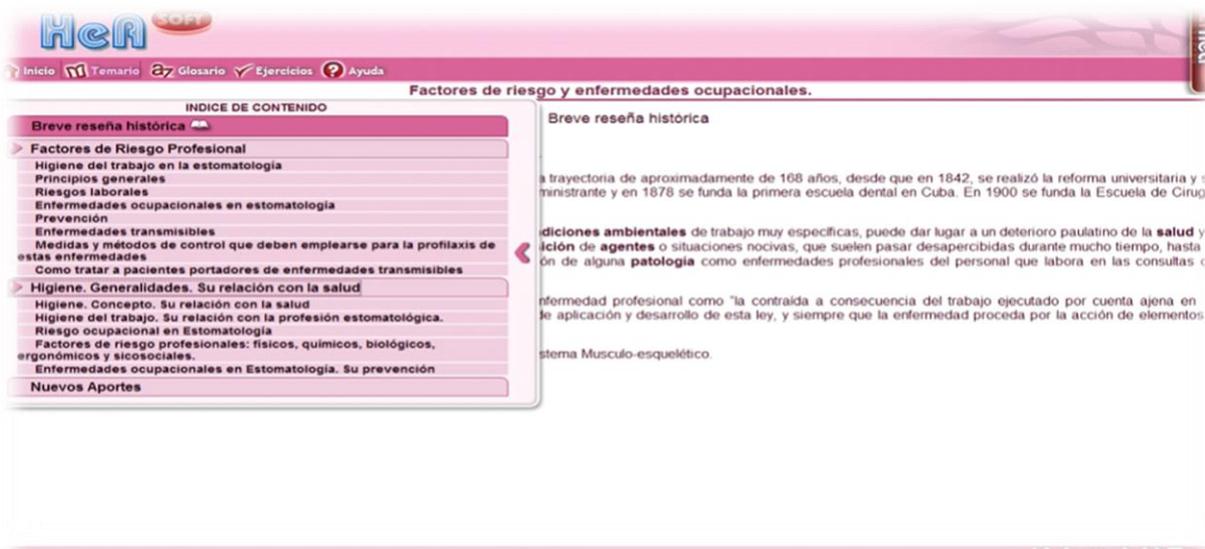


Figura.1 Temario del software factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica.



Figura. 2 Glosario de términos del software factores de riesgo y enfermedades profesionales.

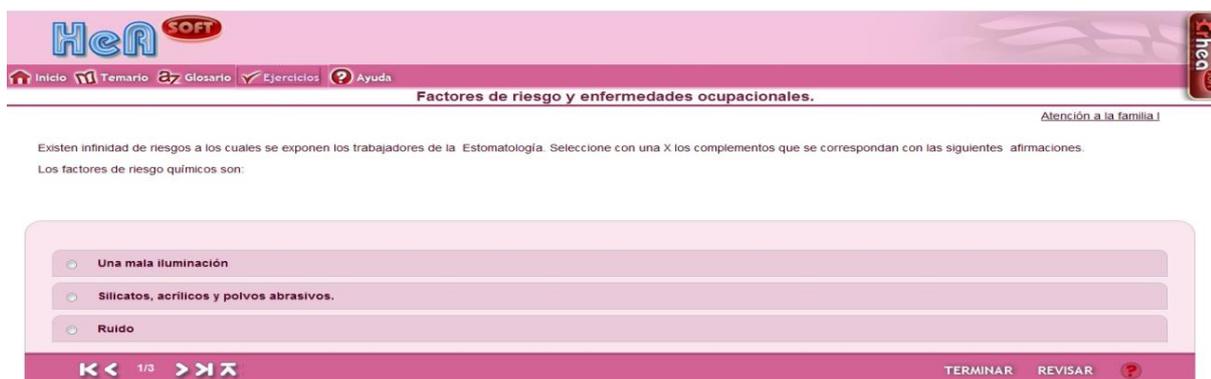


Figura. 3 Ejercicios del software factores de riesgo y enfermedades profesionales

El cuestionario aportó que 100 % de los profesores consideraron excelente la factibilidad, actualización de los contenidos y la utilidad de los ejercicios y 90 % refirió en esa misma categoría la pertinencia del glosario, la calidad de las imágenes y el aporte bibliográfico. (Figura 4). El 100 % de los estudiantes consideraron la factibilidad, actualización de los contenidos, la utilidad del glosario y la calidad de las imágenes de excelente y 87,5 % la pertinencia y aporte bibliográfico en la categoría excelente (Figura 5).

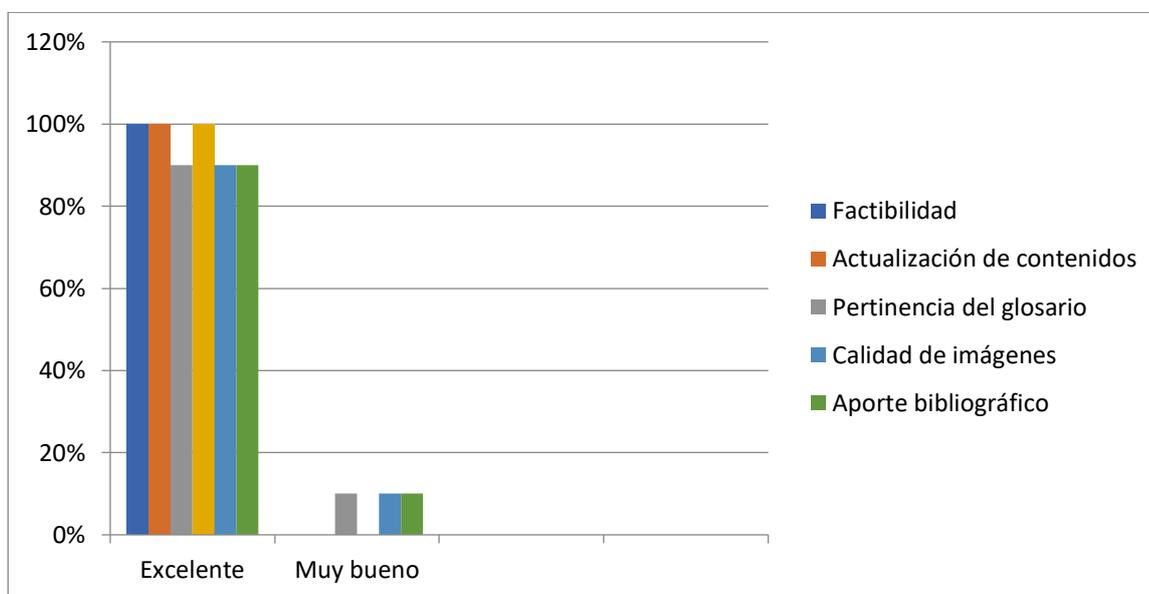


Fig. 4. Criterios de los profesores acerca del software educativo factores de riesgo y enfermedades profesionales.

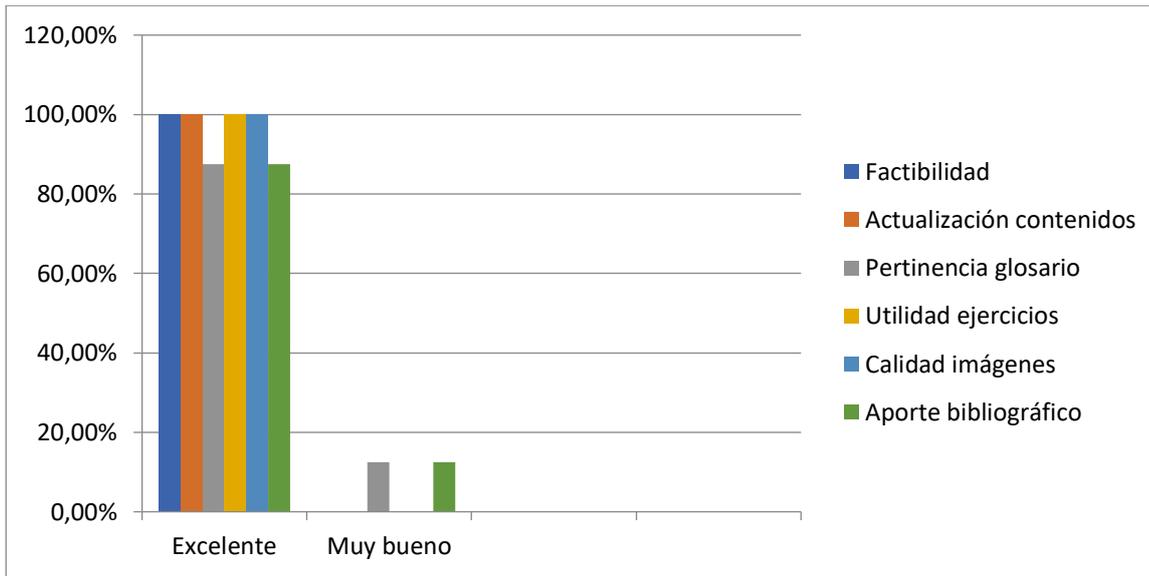


Fig. 5. Criterios de los estudiantes acerca del software educativo factores de riesgo y enfermedades profesionales.

Discusión

Al analizar estos resultados se observa que los medios de enseñanza más utilizados para impartir los contenidos de riesgo y enfermedades profesionales son los convencionales, aunque en las conferencias el profesor se apoya en presentaciones en Power Point. La carencia de medios de enseñanza en soporte digital que empleen los adelantos de las tecnologías de la información y la comunicación amerita especial atención. Se requiere la labor colectiva y colaborativa de los profesores, en aras de direccionar el trabajo en las asignaturas que abordan estos contenidos hacia la creación de recursos que contribuyan a la enseñanza y el aprendizaje del tema de forma novedosa y actualizada.

Parra Rocha refiere el mantenimiento del uso conjunto de los medios de enseñanza tradicionales y los nuevos recursos tecnológicos, lo que favorece la interacción social y permite que el estudiante construya su propio conocimiento a través de vivencias y experiencias del aprendizaje ⁽⁶⁾. Es este un aspecto que las autoras consideran necesario resaltar, pues en el proceso formativo la combinación armónica de diferentes recursos es favorable y depende del aprovechamiento planificado por el profesor en el marco del colectivo docente. La tecnología educativa ofrece otros recursos para apoyar el proceso docente educativo, sin desestimar las bondades de medios clásicos como la pizarra, láminas, objetos reales, u otros.

Las autoras de esta investigación valoran la posibilidad que brinda el software educativo para combinar las ventajas de los medios tradicionales de enseñanza que a través de la historia se han

utilizado. Es un recurso en el que se puede vincular lo textual con imágenes, videos, ejercicios, juegos, glosario, entre otros. Esto le imprime actualidad, novedad, diversidad y pertinencia, con elementos que favorecen la motivación y el aprendizaje de los estudiantes, en un contexto educativo renovado por la inclusión de los avances resultantes del desarrollo tecnológico.

En la entrevista a estudiantes y profesores se obtuvieron resultados similares a la observación, al aportar la necesidad de desarrollar nuevos medios de enseñanza que fortalezcan la apropiación de los conocimientos. Los contenidos acerca de los factores de riesgo y las enfermedades profesionales resultan complejos y no siempre se les ofrece la atención que requieren. Es indispensable la conservación de la salud en el marco de la actuación profesional. Desde los primeros años de la carrera el estudiante debe dominar estos contenidos para que adquieran conciencia de su autocuidado y el del paciente en cada actividad que realicen.

Las autoras coinciden con los criterios dados y consideran que es necesaria y pertinente la creación de recursos mediados por las TIC. Es factible su implementación en el proceso docente educativo por su correspondencia con el desarrollo científico técnico y las posibilidades reales existentes en las Universidades de Ciencias Médicas cubanas. Estos recursos son motivadores, estimulan la creatividad y tienen aceptación por los estudiantes. Para los profesores constituyen una herramienta que propicia un ambiente de aprendizaje que rompe con el esquema tradicional de la enseñanza.

La creación de un software educativo sobre factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica complementa la bibliografía existente en la carrera. Además, promueve la realización de acciones por los profesores que potencialicen el aprendizaje, la independencia cognoscitiva y la aplicación de los conocimientos en la solución de problemas relacionados con el contexto. También se enriquecen los medios de enseñanza disponibles para el desarrollo del proceso docente educativo en diferentes asignaturas del currículo.

La estructura modular del software educativo que se presenta ofrece variados recursos que aportan diversidad al conjunto y emotividad. La navegación es libre, lo que posibilita el acceso a las diferentes partes del producto, según los intereses y necesidades personales. La presentación es amena y agradable. El empleo no precisa de conexión a Internet y es portable en dispositivos móviles, por lo que se puede utilizar en el momento y lugar que determine el usuario.

La incorporación de un fondo musical en la galería de sonido, compuesto por música instrumental, permite la selección de la melodía que se desee, a la vez que se observan las diferentes imágenes. Es criterio de Peña Maqueira, Peña Carralero y Ayala Sotolongo, que la música favorece el desarrollo de la creatividad y el aprendizaje, aporta estados de bienestar al conectar el mundo real con el mundo del conocimiento y tiene beneficios psicológicos⁽¹⁷⁾.

En el módulo Temario se muestra una ventana desplegable con el índice de contenido de los temas y subtemas expuestos. Los contenidos se presentan de forma lógica, concreta y organizada para su fácil asimilación por parte de los estudiantes. Esto le imprime asequibilidad y facilita la apropiación de los conocimientos, que se desarrollan en correspondencia con el programa y los objetivos del curso propio Bioseguridad que se imparte en primer año y de la asignatura Operatoria Dental y Restaurativa de tercer año de la carrera Estomatología.

También se realiza una breve reseña histórica sobre las enfermedades profesionales en estomatología, desde sus comienzos hasta la actualidad, con inclusión de la COVID-19, pandemia que a pesar del control de su contagio, permanecen las medidas de bioseguridad necesarias para su prevención durante la práctica de la profesión, tal como sucede con otras enfermedades transmisibles. Los nuevos aportes de este tema en el ámbito internacional, constituyen una fuente de motivación para profesores y estudiantes.

Gutiérrez Segura, plantea que incluir un software educativo en las actividades docentes favorece un aprendizaje activo y el desarrollo de acciones que generan un significado en el sistema de conocimientos, cultura y valores de los estudiantes ⁽¹⁸⁾. Es en la educación en el trabajo, forma organizativa docente fundamental en las carreras de la salud, donde se materializa el accionar de los estudiantes y aplican los conocimientos adquiridos, pilar fundamental en la formación de los profesionales. Entre los valores que se fortalecen en esta forma organizativa está la responsabilidad ante la salud individual y colectiva.

La enseñanza de los factores de riesgo y enfermedades profesionales desde los primeros años de la carrera permite que los estudiantes aprendan a protegerse y mantengan una conducta correcta para preservar su salud y la del paciente. Es en la educación en el trabajo donde existe mayor riesgo, por lo que aprender a reconocer los riesgos y practicar las medidas de bioseguridad contribuye a evitar las enfermedades profesionales. El vínculo del estudio con el trabajo, asegura desde el currículo, el dominio de los modos de actuación del profesional, en vínculo directo con su actividad profesional ⁽¹⁹⁾.

Según el criterio de Zelada Pérez el profesor es el guía del evento educativo y tiene un papel fundamental en la construcción del conocimiento, donde los fundamentos pedagógicos, didácticos, tecnológicos y sociales van a garantizar que el proceso docente educativo se desarrolle con calidad. La formación de habilidades y competencias garantizan la formación de un profesional de perfil amplio donde el componente cognitivo juega un papel esencial ⁽²⁰⁾.

Es importante lograr una formación sistemática y permanente que integre el contenido curricular, la metodología de la enseñanza y el conocimiento de los medios tecnológicos, estrategias motivadoras

que desarrollen el interés y la autonomía del estudiante ⁽²¹⁾. Una de las formas de poner ese planteamiento en práctica es a través del glosario de términos que enriquece, profundiza y motiva el aprendizaje del lenguaje propio de la profesión a través del uso de las tecnologías. Es consideración de las autoras de esta investigación que este módulo constituye un aporte de importancia para los estudiantes en cuanto a la aplicación práctica del lenguaje técnico de la carrera.

En el módulo ejercicios se presentan ejercicios interactivos, con siete tipologías de preguntas, organizadas de acuerdo a los contenidos y objetivos del tema. Las sesiones de ejercitación están en correspondencia con cada una de las actividades teóricas referentes a los subtemas, esto propicia el intercambio entre estudiantes, estimula el trabajo en equipo y fomenta el estudio independiente.

Machado Cuayo y Gutiérrez Segura plantean que los ejercicios permiten al estudiante interrelacionarse de forma dinámica con los contenidos recibidos en la clase ⁽¹⁶⁾. A través de esta práctica, pueden llegar a conocer como marcha el aprovechamiento académico y realizan su autoevaluación. La retroalimentación incorporada está encaminada a reforzar los conocimientos.

El módulo complemento aporta información de interés. En este se incluye el programa de la asignatura tratada, que tributa a la disciplina integradora de la carrera, Estomatología General. También se exponen las orientaciones metodológicas, la malla curricular el plan de estudio E, los documentos normativos y otras bibliografías del tema. En el módulo ayuda se brinda información relacionada con la estructuración del hiperentorno, esto facilita la navegación del usuario.

Los criterios recogidos en el cuestionario acerca del software educativo reflejan un consenso en las opiniones de estudiantes y profesores, quienes valoran de excelente los ítems factibilidad, actualización de contenidos y utilidad de los ejercicios. Del mismo modo existió predominio en esa categoría en los ítems pertinencia del glosario, calidad de las imágenes y aporte bibliográfico. Es importante destacar que ningún profesor o estudiante consideró bien, regular o mal los aspectos valorados.

Los resultados evidencian un criterio positivo que apunta hacia la excelencia de los diferentes recursos que contiene el software educativo. Esto permite afirmar que el software educativo es un recurso actual, de utilidad como medio de enseñanza para el estudio de los factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatología. Del mismo modo la triangulación de los resultados de los métodos empleados revelan la actualidad, pertinencia y calidad del software educativo creado.

Las autoras consideran que el nuevo recurso creado para la enseñanza y el aprendizaje, propicia y motiva que los estudiantes se apropien de los métodos y técnicas de trabajo de la profesión durante el cumplimiento de las habilidades programadas en la asignatura. Es este un aporte práctico,

novedoso que promueve el aprendizaje desarrollador y la creatividad de los estudiantes. Además, facilita a los profesores impartir sus clases con un nuevo medio de enseñanza de gran utilidad desde el punto de vista didáctico.

El tratamiento de diferentes contenidos a través de un software educativo ofrece posibilidades diversas, al poseer variados recursos: contenidos, ejercicios, imágenes, glosarios, juegos, materiales complementarios, ayuda, entre otros. Esto cobra especial significado al abordar los contenidos propios de la profesión de los que el estudiante debe apropiarse. La creación de medios de enseñanza actuales, motivadores y pertinentes, que aprovechen las ventajas que ofrece el desarrollo tecnológico, con aportes en el campo de la tecnología educativa, constituye una posibilidad real para enriquecer el banco de medios de enseñanza existente.

El software educativo complementa la bibliografía de la carrera, propicia el trabajo en equipo, posibilita el intercambio de ideas, conceptos, conocimientos entre estudiantes y profesores y sistematiza e integra los conocimientos, al aplicar métodos productivos. Es un recurso cuyo aprovechamiento, a partir de la planificación metodológica, favorece el aprendizaje autónomo y la independencia cognoscitiva, tendencias actuales de la educación médica.

Conclusiones

La necesidad identificada de elaborar un recurso para el aprendizaje con el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, acerca del tema factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica, condujo al desarrollo de un software educativo en correspondencia con el programa y objetivos del curso propio de Bioseguridad y la asignatura Operatoria Dental y Restaurativa. Este recurso puede ser utilizado durante el desarrollo del proceso docente educativo, en todos los años de la carrera y por los profesionales de Estomatología, por su actualidad, pertinencia y calidad, constatada por los diferentes métodos empleados.

Contribución de autoría

Conceptualización, metodología, software, análisis formal, investigación, preparación del artículo original, redacción, revisión y edición: M.M y G.M. Validación, curación de datos y administración de proyecto: M.M.

Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión a publicar del manuscrito del artículo

Fuente de financiamiento

La presente investigación transcurrió con el financiamiento de los autores.

Disponibilidad de datos y materiales

La investigación es inédita.

Agradecimientos

Al departamento de medios audiovisuales y al equipo de desarrollo de software educativo de la Universidad de Ciencias Médicas de Holguín, Cuba; en particular a la Lic. Mailín Estrada Osorio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no poseer conflictos de intereses.

Referencias bibliográficas

- 1- Carrera Guanga, G. L.; Torres Álvarez, J. J.; Solís Toapanta Y. S.; y Jumbo Salazar E. G. Riesgos ocupacionales y bioseguridad en Odontología [Internet]. 2024 [citado 2024 Jun 14];5 (2): e347. Disponible en: <https://revgacetaestudiantil.sld.cu/index.php/gme/article/view/347>
- 2- Hermoza Gutierrez, J. J.; Calle Gutierrez, A.; y Ururi Maye, García Garrido, S. Análisis de factores de riesgo laboral en odontología. Rev odontológica Basadrina [Internet].2020 [citado 2024 Jun 14]; 3(2): 56-61. Disponible en: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/rob/article/view/894/960>
- 3- González Naya, G.; y Montero del Castillo, M. E. Estomatología General Integral. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2013. Pág. 393-417.
- 4- Figueroa Pérez, Y.; Pérez Arechaga, D.; y Cabañin Recalde, T. La práctica estomatológica en tiempos de coronavirus en Cuba. [Internet]. 2020 [citado 2024 Jun 14]; 24 (3): 674-681. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815
- 5- Díaz Lozada, J.A.; Y De la Rúa Batistapau, M.I. Uso de las TIC en la preparación docente de profesores en condiciones de distanciamiento social. Mendive. Revista de Educación [Internet].2022 Mar [citado 2024 Abr 09]; 20(1), 172-182: Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815
- 6-Parra Rocha, D.S.; Chiluzza Vásquez, W. P.; y Castillo Conde, D.A. Inclusión Tecnológica en Época de Pandemia: Una Mirada al Constructivismo como Fundamento Teórico. Rev. Tecn. Edu. Doc 2.0 [Internet]. 2023 Jun [citado 2024 Abr 09]; 13(2); 16-25. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2665-02662022000400016&Ing=es&nrm=iso

- 7-Rodríguez Revelo, E. Las TICs y la autogestión del conocimiento en la educación superior. Revista Universidad y Sociedad. [Internet]. 2022 [citado 2024 Jun 25]; 14 (6): 222-235. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000600222
- 8-Sarell, J.J. Acercamiento a la historia de la evolución de la tecnología educativa en Venezuela. Areté Rev. Digital del Doctorado en Educación [Internet].2023 [citado 2024 Abr 09];8(16): 75-98. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2443-45662022000200075
- 9-Ferrer Díaz, A. D.; y Gómez Sánchez, Y. Aprendiendo sobre tecnologías de la, información y las comunicaciones desde las páginas de Edumecentro. EDUMECENTRO. [Internet]. 2021 Abr-jun [citado 2024 Abr 23]; 13(2): 211-228. Disponible en: http://scielo.sld.cu//scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742021000200211
- 10-Cala Pérez, M.; y Rodríguez Pérez I. Resultados de la implementación del software educativo sobre la salud sexual y reproductiva. Archivo Médico Camagüey [Internet]. 2022 [citado 2023 Sep 19]; 26 Disponible en: <https://revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/8349/4197>
- 11- Gutiérrez Segura, M.; González Sánchez, M.; y Martínez Pupo, J. Consideraciones acerca de la tecnología educativa y la educación en el trabajo en la educación médica. Revista Correo Científico Médico [Internet]. 2023 [citado 2023 Sep. 07]; 27 (2): [aprox. 14 p.] Disponible en: <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/4853/2322>
- 12- Coello Lión, ME.; García Bargado, M. A.; y Cabrera Hernández, Y. F. Algunas consideraciones sobre los fundamentos teóricos del trabajo metodológico en la Educación Superior Cubana. Rev. Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina [Internet]. 2022 [citado 2024 Abr 09]; 10 (1): e19. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322022000100019
- 13- Gutiérrez Segura, M. Software educativo como recurso para el aprendizaje en la carrera de Estomatología en Holguín. Revista CCM [Internet]. 2020 Jun [citado 2024 Abr 09]; 24(2):781-793. Disponible en: <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3493/1525>
- 14-Basantes Andrea, V.; Naranjo Miguel, E.; Gallegos Mónica, C.; y Benítez Nhora, M. Los Dispositivos Móviles en el Proceso de Aprendizaje de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de Ecuador. [Internet]. 2017 [citado 2024 Abr 24]; 10(2):79-88. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062017000200009
- 15- Gutiérrez Segura, M.; Pérez García, L. M.; Y Ochoa Rodríguez, M. O. Metodología para integrar un software educativo en el proceso enseñanza aprendizaje de Rehabilitación Estomatológica.

EDUMECENTRO [Internet]. 2022 [citado 2023 Sep 07]; 14. Disponible en: <https://revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/view/e2193>

16-Machado Cuayo, M.; y Gutiérrez Segura, M. Software educativo sobre instrumental y materiales para prótesis estomatológica. CCM [Internet]. 2019 [citado 2024 Abr 23]; 23(2): [aprox. 14 p.]. Disponible en: <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/2846/1628>

17- Peña Maqueira, A. R.; Peña Carralero, Z. M.; y Ayala Sotolongo, N. Influencia de la musicoterapia en el paciente durante la atención estomatológica. Rev. Hum Med [Internet]. 2023 Dic [citado 2024 Abr 23]; 23 (3):e2494, Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202023000300005

18- Gutiérrez Segura, M.; Ruiz Piedra, A. M.; Pérez García, L. M.; y Tamayo Fernández, N. La integración del software educativo en el proceso enseñanza aprendizaje de Rehabilitación en Estomatología. EDUMECENTRO [Internet]. 2021 [citado 2023 Sep. 07]; 13(4): 115-129. Disponible en: <http://www.revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/view/1782>.

19 – Ministerio de Educación Superior. Reglamento Organizativo del Proceso Docente y de Dirección del Trabajo Docente y Metodológico para las carreras universitarias. Resolución Ministerial No. 47/2022. La Habana: MES; 2022.

20-Zelada Pérez, M.; y Rodríguez Zelada, D. C. Mejoramiento del proceso docente con el uso de los entornos virtuales de enseñanza aprendizaje. RCIM [Internet]. 2022 Jun [citado 2024 Abril 25]; 14(1); e518. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-1859202000100012

21- Ochoa Agüero, A.; y Figueroa Linares, L. Actitud de los docentes ante la integración didáctica de la tecnología en la disciplina Medicina General. Panorama Cuba y Salud. [Internet]. 2023 [citado 2023 Sep 07]; 18 (1): 64-73. Disponible en: <https://revpanorama.sld.cu/index.php/panorama/article/view/1560/1036>

/ **Received:** 19 July 2024 / **Accepted:** 02 August 2024 / **Published:** 15 September 2024 /

Citation: Machado, M.; Gutiérrez, M. Factores de riesgo y enfermedades profesionales en la práctica estomatológica: aprendizaje apoyado en software educativo. *Bionatura*. 2024; Volume (9). No 3.

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/>)



Durante los últimos 8 años, la Estación Experimental Central de la Amazonía del INIAP ha revolucionado la producción de cacao en la región amazónica ecuatoriana mediante sistemas agroforestales que mejoran la salud del suelo, aumentan la biomasa y secuestran carbono, superando las prácticas tradicionales.

Estas innovaciones están transformando la economía local y protegiendo el medio ambiente.

EL NUEVO
ECUADOR
RESUELVE

Instituto Nacional de
Investigaciones Agropecuarias

EL NUEVO
ECUADOR

Secretaría de
Educación Superior, Ciencia,
Tecnología e Innovación

6 Preservation of minimally processed papaya by using chitosan coatings with turmeric hydroalcoholic extract

Conservación de papaya mínimamente procesada mediante recubrimientos de quitosano con extracto hidroalcohólico de cúrcuma

Mario A. García ^{1*}, Merilín Nariño ², Daliannis Rodríguez ³, Alicia Casariego ⁴

¹Universidad San Gregorio de Portoviejo, Manabí, Ecuador; marioifal@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0002-0304-9665>

²Dept. of Food, Pharmacy and Food Institute, University of Havana, Cuba; mnarino@ifal.uh.cu.
<https://orcid.org/0009-0002-0428-4656>

³Universidad UTE, campus Manabí, Montecristi, Ecuador; rcdaly92@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0003-0389-740X>

⁴Dept. of Food, Pharmacy and Food Institute, University of Havana, Cuba; alicia@ifal.uh.cu.
<https://orcid.org/0000-0002-7687-5984>

* Correspondence: marioifal@gmail.com; Tel.: +593 995537689

DOI.

Abstract

The influence of chitosan coatings (1.5 and 2% w/v) with turmeric hydroalcoholic extract (*Curcuma longa*) (THE) (5.5 µg/µL of total polyphenols; 0.2 and 0.4% v/v) was evaluated, at laboratory scale, during storage between 2 and 4 °C of minimally processed papaya (*Carica papaya*) var. Maradol Roja. Fresh papayas were selected and pretreated, guaranteeing homogeneity in size, absence of defects and uniform ripening degree. For the application of the coatings by immersion, the papayas were peeled and cut into cubes. Physical and chemical determinations were carried out that included penetration degree, acidity, pH, moisture content, soluble solids and ripening index. Over a period of 11 days, changes in physical, chemical and microbiological attributes were observed. The chitosan coating with THE did not influence the physical and chemical characteristics of the minimally processed papaya, although in general, the samples treated with coatings showed greater firmness and a lower ripening index. Chitosan coating at 1.5% (w/v) with an addition of 0.2% (v/v) of THE was the most effective in inhibiting the contaminating microbiota of the product.

Keywords: Minimally processed papaya; chitosan coatings; turmeric hydroalcoholic extract; preservation.

Resumen

Se evaluó, a escala de laboratorio, la influencia de los recubrimientos de quitosano (1,5 y 2% p/v) con extracto hidroalcohólico de cúrcuma (*Curcuma longa*) (THE) (5,5 µg/µL de polifenoles totales; 0,2 y 0,4% v/v), durante almacenamiento entre 2 y 4 °C de papaya (*Carica papaya*) var. Maradol Roja. Las papayas frescas fueron seleccionadas y pretratadas, garantizando homogeneidad en tamaño, ausencia de defectos y grado uniforme de maduración. Para la aplicación de los recubrimientos por inmersión, las papayas fueron peladas y cortadas en cubos. Se realizaron determinaciones físicas y químicas que incluyeron grado de penetración, acidez, pH, contenido de humedad, sólidos solubles e índice de maduración. Durante un período de 11 días se observaron cambios en atributos físicos, químicos y microbiológicos. El recubrimiento de quitosano con THE no influyó en las características físicas y químicas de la papaya mínimamente procesada, aunque en general, las muestras tratadas con recubrimientos mostraron mayor firmeza y menor índice de maduración. El recubrimiento de quitosano al 1,5% (p/v) con una adición de 0,2% (v/v) de THE fue el más eficaz para inhibir la microbiota contaminante del producto.

Palabras clave: Papaya mínimamente procesada; recubrimientos de quitosano; extracto hidroalcohólico de cúrcuma; preservación.

Introduction

Currently, there is a marked tendency to acquire foods with sensory characteristics that reflect a minimum intervention of industrial processes, especially when it comes to fruit and vegetable products.¹ The accelerated pace of today's life and the lack of time for food preparation have increased consumer interest in minimally processed fruits and vegetables.² The damage caused during peeling and cutting favors the occurrence of reactions that cause deterioration, which is why it is necessary to develop conservation techniques that delay these processes and maintain their microbiological safety.

Among these methods is the use of edible films and coatings. One of the materials used in the production of edible films and coatings is chitosan. Some properties of chitosan, such as its biocompatibility, biodegradability, and antimicrobial properties, make it a good candidate for food preservation.^{3,4}

Many studies have clearly shown low or no antioxidant capacity of native chitosan.⁵⁻⁸ The incorporation of turmeric hydroalcoholic extract (THE) into chitosan films and coatings enhances its antioxidant and antimicrobial character. THE has a high content of phenolic compounds, above other aromatic plants such as peppermint, mint, parsley, common basil, and French oregano.⁹ For this

reason, the use of chitosan and natural extracts in the preservation of fruits¹⁰ such as mango¹¹ and papaya^{12,13} have been investigated, as well as the effects of the addition of turmeric extracts on the properties of the films and coatings have been evaluated in minimally processed pineapple.¹⁴

In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of chitosan coatings with THE as an alternative method for the conservation of minimally processed papaya during refrigerated storage. This work contributes to the understanding of conservation strategies for minimally processed fruits and their practical application in the food industry. The combined application of chitosan and turmeric extract offers a promising eco-friendly alternative to synthetic preservatives. The study's findings align with previous research on natural coatings for food preservation. Future studies could explore optimal formulations and application methods for scaling up this technology in the food industry.

Materials and methods

Selection and pretreatment of fresh papayas

Fresh papayas (*Carica papaya* L.) var. Maradol Roja with an average mass of 2.5 kg, was purchased from a state market in Havana. The fruits were selected taking into account that they all generally presented the same characteristics of size, absence of bumps, spots, cracks, and uniform ripening degree (Stage 4)¹⁵, according to Fig. 1. The characterization of the selected fruits was carried out, for which the percentage of acidity, moisture content, percentage of soluble solids, and ripening index were determined. The selected fruits were washed with drinking water and disinfected with an 80 mg/L sodium hypochlorite solution,¹⁶ peeled, and cut into cubes with approximately 2 cm edges.

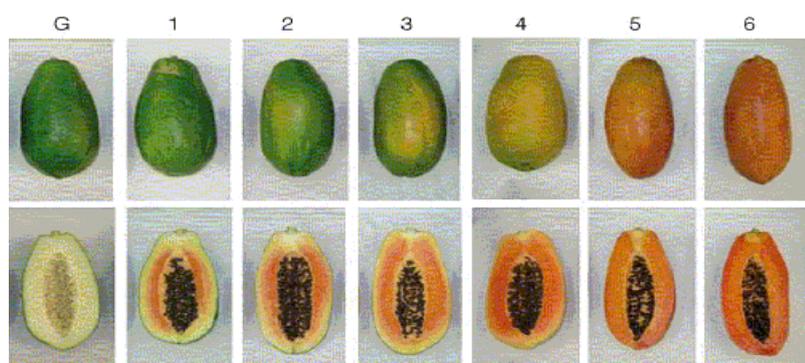


Fig. 1. Visual aspect of representative Maradol papaya fruit at each maturity stage. G: green skin without yellow stripe; 1: green skin with light yellow stripe; 2: green skin with well-defined yellow stripe; 3: one or more orange-colored striped in skin; 4: clearly orange-colored skin with some light

green areas; 5: characteristic orange-colored skin of Maradol papaya; 6: fruit color similar to stage 5, but more intense.¹⁵

Materials and chemical reagents

The materials used to prepare the edible coating-forming solutions were chitosan, supplied by the Center for Research and Development of Medicines (CIDEM), obtained by the heterogeneous thermoalkaline N-deacetylation method of the chitin of the Caribbean or common lobster (*Panulirus argus*),¹⁷ with a molecular mass of 275 kDa and a degree of deacetylation of 75%, Tween 80 as a surfactant (Acros Organics, Belgium), 90% lactic acid (Merck, Germany), THE (*Curcuma longa*) (EHC) with a concentration of total polyphenols of 5.5 µg/µl supplied by the Research Institute for the Food Industry and distilled water.

Coatings application

The application of the coatings was carried out by simply immersing the 8 cm³ cubes in the chitosan solution with THE for 2 min and drying on stainless steel grills subjected to a forced air flow at ambient temperature and relative humidity (30 °C and 81% RH) for 30 min. The treatments are presented in Table 1.

The papaya pieces (80 g) were packed in polystyrene trays and coated with a 10 µm thick low-density polyethylene shrink film and stored in refrigeration (4 to 6 °C and ~90% RH) with forced air circulation. There was a control batch (without chitosan coating or THE that was only immersed in a 1% (v/v) lactic acid solution) that was maintained under the same storage conditions (4 to 6 °C) to compare the changes during it. The evaluations of the physical-chemical quality attributes were carried out every three days for 11 days. During the procedure, the necessary hygienic conditions were maintained to avoid excessive contamination of the product with microorganisms from handlers, utensils, and surfaces.

Table 1. Treatments carried out on papaya cubes

Treatment	Chitosan (% m/v)	Turmeric extract (% v/v)	hydroalcoholic	Tween 80 (% v/v)
TC1	0.0	0.0		0.0
TQ1	1.5	0.0		0.1
TQ1-C1	1.5	0.2		0.1
TQ1-C2	1.5	0.4		0.1
TC2	0.0	0.0		0.0

TQ2	2.0	0.0	0.1
TQ2-C1	2.0	0.2	0.1
TQ2-C2	2.0	0.4	0.1

Microbiological, physical and chemical determinations

The content of soluble solids¹⁸, pH¹⁹ and titratable acidity²⁰ were determined. The moisture content was determined by indirect gravimetry by volatilization, by separating the water from the product by drying on a Sartorius thermobalance (Mod. MA-40, Germany) at 105 °C until constant mass. The degree of penetration was determined using a 30° angle cone penetrometer (A. H. Thomas, Co. USA) of 150 g, which was applied to the papaya cubes for 5 s in free fall.

The counts of aerobic microorganisms at 30 °C²¹ and of total coliforms,²² were carried out after the coating application (time 0) and at the end of the period of observation. Deterioration due to fungi and yeasts was visually inspected on the days on which physical and chemical analyses of the products were carried out.

Statistical analysis

The values of the measured indicators were subjected to factorial variance analysis, using the STATISTICA program (version 7, 2004, StatSoft. Inc., Tulsa, USA). Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$) was used to determine the statistical difference between the samples.

Results and discussion

The physical and chemical characteristics of fresh papayas play a crucial role in their quality and suitability for preservation techniques such as chitosan coatings. The values of the physical-chemical parameters of the fresh papaya cubes are reported in Table 2. The penetration distance measurement indicates the firmness of papaya flesh. A study by Oliveira Filho et al.²³ found that different treatments influenced fruit firmness, affecting penetration distance. Soluble solids content is a key indicator of fruit sweetness and maturity.

Table 2. Physical and chemical evaluation of fresh papayas

Parameter	Mean ± Standard deviation
Penetration distance (1/10 mm)	70.64 ± 14
Soluble solids (°Brix)	4.20 ± 2
Moisture (% m/m)	91.23 ± 1

Titratable acidity (% m/m citric acid) 0.62 ± 0.01

pH 5.48 ± 0.2

Alam et al.²⁴ demonstrated significant variations in soluble solids among different portions of ripe and unripe papaya fruit. The high humidity content observed aligns with typical moisture levels in fresh papaya. Muñoz-Tebar et al.²⁵ informed similar moisture levels in fruits coated with edible films containing bioactive compounds. Titratable acidity influences fruit flavor and preservation. Also, the combined effect of ascorbic acid and chitosan on acidity levels in papaya was investigated.²⁶ The pH value is vital for determining fruit ripeness and storage conditions.

García et al.²⁷ reported values of pH and moisture for the Maradol papaya, similar to those presented. The parameters penetration distance and soluble solids were greater than those reported in Table 2, thus evidencing that the state of maturity of the fruits used by the author was greater than that of those in the present study.

In Fig. 2, it is observed that the firmness decreased, following a similar pattern during the storage period in all treatments, but with differences in the magnitude of the changes. The results shown suggest that a loss of firmness of the samples occurs with increasing storage time and that this loss is greater in the control sample.

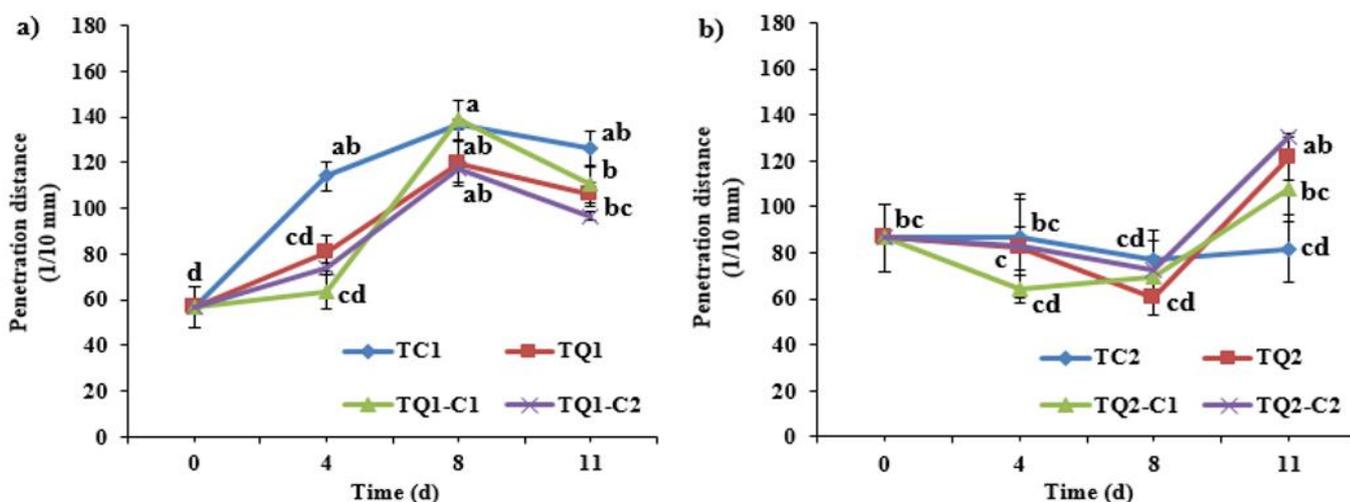


Fig. 2. Behavior of the penetration distance in minimally processed papaya during storage according to the treatments: a) chitosan coatings at 1.5% (m/v); b) chitosan coatings at 2.0% (m/v) with the addition of turmeric hydroalcoholic extract at 0.2 and 0.4% (v/v). Error bars indicate standard deviation (n= 4). Different letters indicate a significant difference ($p \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

Fig. 2 shows that there are significant differences between the control treatments (TC 1 and TC 2) and the treatments with chitosan at 1.5 and 2.0% (m/v) (TQ1 and TQ2) and chitosan at 1.5 and 2.0% (m/v) with EHC at 0.2% (v/v) (TQ1-C1 and TQ2-C1) evidencing the effectiveness of the application of these coatings on papaya cubes; Therefore, it can be hypothesized that the control sample matured to a greater degree than the control samples treated with chitosan and EHC. Similar results were obtained by Díaz et al.²⁸ when applying chitosan coating at 1 and 2% (m/v) on fresh papaya cubes. A study conducted by El-Ghaouth et al.²⁹ compared chitosan coatings with a commercial fungicide on strawberry quality, and found that strawberries treated with chitosan were firmer than those treated with fungicide and than control strawberries (without treatment). These authors suggest that these results obtained are due to the reduction of metabolic processes and consequently a delay in fruit ripening.

Recent studies have shown the influence of packaging conditions on the retention of firmness of cut fruits. Soliva-Fortuny et al.³⁰ reported that the composition of the atmosphere in the packaging of pre-cut “Golden Delicious” apples and “Conference” pears has a very important influence on the retention of the firmness of the products. The microstructural studies showed the formation of a large amount of exudate on the surface of the cells after prolonged storage, a fact that is related to the loss of tissue firmness.³¹ The severity of this softening could be reduced by packaging under conditions with low oxygen concentrations.

Table 3 shows how the soluble solids increase in the papaya cubes, evidencing significant differences in the treatments at the beginning and the end of storage. These results are similar to those obtained by Díaz et al.²⁸ and González-Aguilar et al.³¹, which coated papaya cubes (Maradol variety) with chitosan coatings at different concentrations, of which the most efficient in delaying ripening was 2% (m/v) chitosan. In the days of storage in which there was a decrease in soluble solids, it may be a product of the variety of ripeness that the papaya cubes presented or due to the metabolism of microorganisms that use the sugars present in the fruits as a substrate in their reactions. metabolic. Similar results were obtained by Cruañes et al.³² where fresh blueberries were coated with 1% (m/v) chitosan coating and stored for 15 days.

Table 3. Variation in soluble solids content of MP papayas during storage

Treatment	Time (d)			
	0	4	8	11
TC1	6.1 ± 0.4 ab	5.8 ± 0.5 b	6.2 ± 0.0 ab	6.5 ± 2.0 ab

TQ1	6.1 ± 0.4 b	6.0 ± 0.8 b	5.9 ± 0.8 b	4.1 ± 0.6 c
TQ1-C1	6.1 ± 0.4 b	6.5 ± 1.0 ab	7.4 ± 0.4 ab	7.5 ± 0.0 a
TQ1-C2	6.1 ± 0.4 b	5.7 ± 0.5 bc	5.6 ± 0.7 bc	3.5 ± 0.4 cd
TC2	2.3 ± 0.4 d	3.2 ± 1.0 cd	3.0 ± 1.0 cd	3.2 ± 0.6 cd
TQ2	2.3 ± 0.4 d	3.1 ± 1.0 cs	3.4 ± 0.2 cd	3.4 ± 0.6 cd
TQ2-C1	2.3 ± 0.4 d	4.0 ± 0.4 c	3.1 ± 0.4 cd	4.1 ± 0.4 c
TQ2-C2	2.3 ± 0.4 d	4.3 ± 0.6 c	4.7 ± 0.2 bc	4.7 ± 0.3 bc

Mean ± Standard deviation; n= 3.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$), according to Duncan's multiple range test.

Sugars and organic acids are the main components of soluble compounds. During ripening, the sugar content increases until it reaches a maximum and then usually remains unchanged. García et al.¹⁶ agree with the aforementioned explanation about the behavior of treatments TQ2 and TQ2-C2. Based on the results of soluble solids content, TQ1-C1 emerges as the most effective treatment for maintaining or enhancing soluble solids content in MP papayas over an 11-day storage period. This treatment could be further explored for its potential in extending the shelf life and quality of minimally processed papayas.

Table 4 shows the decrease in moisture content in the papaya cubes, which reflects that in the different treatments, there were no significant differences between the moisture values at the beginning and the end of storage, so the same pattern of behavior was evident with a slight decrease in moisture content, caused by the transpiration process of the fruit.

Table 4. Variation in moisture content of MP papayas during storage

Treatment	Time (d)			
	0	4	8	11
TC1	89.56 ± 0.09 bc	87.6 ± 0.2 cd	88.4 ± 0.9 c	89.1 ± 0.5 bc
TQ1	89.56 ± 0.09 bc	87.38 ± 0.01 cd	87.52 ± 0.03 cd	84.3 ± 0.2 d
TQ1-C1	89.56 ± 0.09 bc	85.7 ± 0.2 d	88.0 ± 0.5 c	88.3 ± 0.9 c
TQ1-C2	89.56 ± 0.09 bc	88.2 ± 0.3 c	86.3 ± 0.6 cd	88.8 ± 0.1 bc
TC2	92.89 ± 0.07 a	91.5 ± 0.6 ab	92.0 ± 0.1 ab	91.4 ± 0.7 ab
TQ2	92.89 ± 0.07 a	89.8 ± 0.1 bc	91.9 ± 0.8 ab	91.2 ± 0.1 ab
TQ2-C1	92.89 ± 0.07 a	89.2 ± 0.1 bc	90.75 ± 0.07 b	92.4 ± 0.4 ab

TQ2-C2	92.89 ± 0.07 a	88.0 ± 0.6 c	90.6 ± 0.3 bc	90.9 ± 0.1 ab
--------	----------------	--------------	---------------	---------------

Mean ± Standard deviation; n= 3.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$), according to Duncan's multiple range test.

This behavior can be attributed to the fact that the product was packaged in polystyrene trays, coated with a polyethylene shrink film, all of which slows the migration of moisture. This indicates that under these conditions the plastic packaging materials used were the ones that controlled moisture migration and not the chitosan coatings. Results similar to those in Table 4 were obtained by García et al.¹⁶ and Díaz et al.²⁸ when they coated papaya cubes with chitosan coating at 1 and 2% (m/v). TC1 and TQ1-C1 appear to be among the better treatments for maintaining moisture levels in MP papayas during storage. These treatments show relatively stable moisture profiles over time, which is crucial for preserving the quality and shelf life of MP papayas.

The acidity of the papaya cubes remained constant during the first three days for all treatments and then presented an increasing trend throughout storage and in the end, it decreased because organic acids are used as a source of energy for the activity. cell phone; although there were no significant differences between the control sample and the treatments with chitosan coatings with THE (Figure 3a).

The tendency to increase acidity values is associated with the fact that the papaya cubes in the trays did not have the same stage of maturity. The results of the determination of acidity in papaya cubes coated with chitosan coatings by Díaz et al.²⁸ and González-Aguilar et al.³¹ are different from those presented in Fig. 3, since the initial acidity values were high and decreased during the storage, where there were significant differences in the decrease in acidity of the control treatment. Concerning the other treatments, the 2% (m/v) chitosan coating was the one that delayed this decrease the most. Similar results were reported in the control batch of papaya cubes by García et al.¹⁶

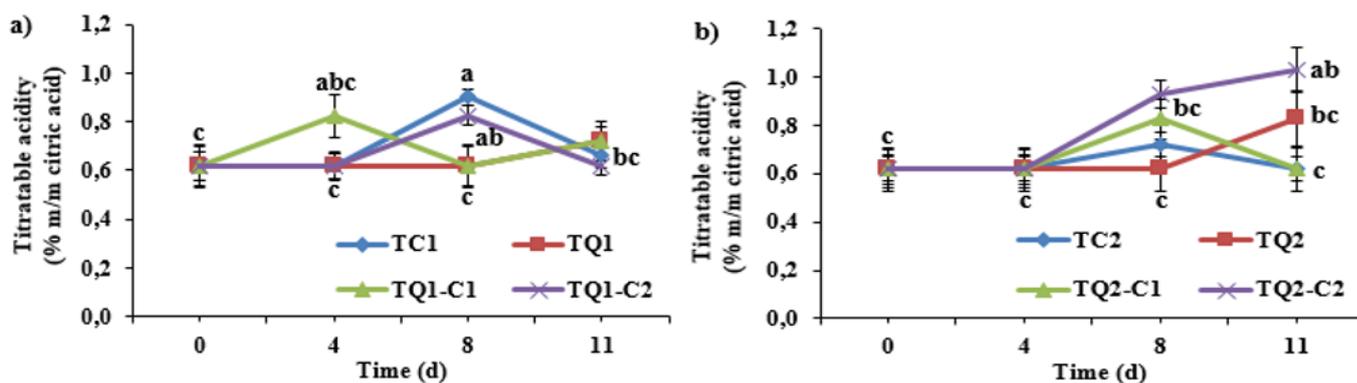


Fig. 3. Behavior of minimally processed papaya acidity during storage according to the treatments: a) chitosan coatings at 1.5% (m/v); b) chitosan coatings at 2.0% (m/v) with the addition of turmeric hydroalcoholic extract at 0.2 and 0.4% (v/v). Error bars indicate standard deviation (n= 3). Different letters indicate a significant difference ($p \leq 0.05$) according to the Duncan multiple range test.

The pH of MP papaya during storage plays a crucial role in maintaining its quality and shelf life. Research indicates that pH affects enzymatic activity and microbial growth in papaya, influencing its texture, flavor, and color.³³ Monitoring pH levels is essential for controlling microbial stability, as suitable pH conditions can inhibit spoilage and pathogenic bacteria.³⁴ Furthermore, pH directly influences enzymatic processes that impact fruit ripening and softening, which are critical factors affecting papaya's shelf life. Optimal pH levels also contribute to desirable taste perception, ensuring a pleasant eating experience for consumers.³⁵ Understanding and managing pH levels during storage are imperative for preserving the quality, safety, and marketability of MP papaya.

Table 5 shows the trend of treatments with chitosan coating at 1.5% (m/v) with EHC; the pH increases due to the ripening of the papaya cubes and then decreases as the stage of maturity of the papaya cubes varies. papaya cubes or by fermentative metabolism of the fruit microbiota and decomposition of sugars.¹⁶ TQ1-C1 and TQ1-C2 maintained relatively stable pH values over time, although the variation in pH in all cases, with values between 5 and 5.7 in general, does not influence, in the practice, the stability of MP papaya.

Table 5. Variation in the pH of MP papayas during storage

Treatment	Time (d)			
	0	4	8	11
TC1	5.35 ± 0.05 cd	5.28 ± 0.06 d	5.21 ± 0.1 de	5.03 ± 0.05 de
TQ1	5.35 ± 0.05 cd	5.8 ± 0.1 b	5.95 ± 0.09 a	5.34 ± 0.02 cd
TQ1-C1	5.35 ± 0.05 cd	5.70 ± 0.08 bc	5.6 ± 0.1 bc	5.5 ± 0.1 cd
TQ1-C2	5.35 ± 0.05 cd	5.74 ± 0.16 bc	5.75 ± 0.02 bc	5.5 ± 0.1 cd
TC2	5.60 ± 0.24 bc	4.95 ± 0.27 e	5.17 ± 0.06 de	5.2 ± 0.1 de
TQ2	5.60 ± 0.24 bc	5.3 ± 0.1 cd	5.23 ± 0.05 de	5.25 ± 0.1 d
TQ2-C1	5.60 ± 0.24 bc	5.34 ± 0.24 cd	5.4 ± 0.2 cd	5.2 ± 0.2 de
TQ2-C2	5.60 ± 0.24 bc	5.46 ± 0.07 cd	5.2 ± 0.2 de	5.20 ± 0.09 de

Mean ± Standard deviation; n= 3.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$), according to Duncan's multiple range test.

The significant differences presented by the treatment with chitosan coatings at 2.0% (m/v), so these coatings delayed the increase in pH and thus the ripening of the papaya cubes during storage. Similar results were obtained by García et al.¹⁶ when minimally processing papayas and coating them with chitosan at 1.5% (m/v); with the difference that after 10 days of storage, there were no significant differences between the samples of their treatments, but after 15 days all their treatments presented significant differences.

Table 6 shows the behavior of aerobic microorganisms at 30 °C total for both treatments (chitosan coating at 1.5 and 2.0% (m/v) at the beginning and at the end of storage. It shows an increase in the microbial load in both treatments at the end of storage. Table 6 shows that there are no significant differences between the 1.5% (m/v) chitosan coating treatments at the beginning of storage, this shows that the application of the treatments was carried out hygienically, avoiding contamination of the samples. The same happened for the treatments with 2.0% (m/v) chitosan coating, although the initial microbial load registered was slightly lower.

Table 6. Total count of aerobic microorganisms at 30 °C (log ufc/g) during storage of MP papayas

Treatment	Time (d)	
	0	11
TC1	1.98 ± 0.02 cd	2.19 ± 0.15 abc
TQ1	1.98 ± 0.02 cd	1.9 ± 0.1 d
TQ1-C1	1.98 ± 0.02 cd	2.0 ± 0.06 cd
TQ1-C2	1.98 ± 0.02 cd	2.04 ± 0.06 bcd
TC2	1.9 ± 0.1 d	2.3 ± 0.1 a
TQ2	1.9 ± 0.1 d	2.29 ± 0.01 a
TQ2-C1	1.9 ± 0.1 d	2.0 ± 0.06 cd
TQ2-C2	1.9 ± 0.1 d	2.24 ± 0.04 ab

Mean ± Standard deviation; n= 3.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$), according to Duncan's multiple range test.

The results of the statistical processing of the total count of aerobic microorganisms at 30 °C indicate that there are significant differences between the values at the beginning and the end of the treatments

with chitosan coating at 1.5% (m/v) except for treatments TQ1-C1 and TQ1-C2 (chitosan coatings at 1.5% and THE at 0.2 and 0.4% (v/v)) that their microbiological values at the beginning and the end of storage did not show significant differences between them. The same thing happens for the treatments with 2% chitosan coatings, which showed significant differences in all treatments between the values at the beginning and at the end of storage, except for treatment TQ2-C1 (2% chitosan coatings (m/v). and 0.2% (v/v) THE). This behavior agrees with the studies carried out by García et al.¹⁵, where the effectiveness of 1.5% (m/v) chitosan coatings applied to pineapple slices was demonstrated, slowing microbial growth during 15 days of refrigerated storage. According to studies carried out by Díaz et al.²⁸ and Gonzales-Aguilar et al.³⁰, who applied chitosan coatings at different concentrations (1 and 2% m/v) on papaya cubes and demonstrated that the 2% chitosan coating was the best for preserving the physical properties, chemicals and microbial growth retardation. Therefore, when comparing these results with those presented in Table 6, it can be stated that the turmeric concentration of 0.4% (v/v), in the 2.0% (m/v) chitosan coating, negatively affects the antimicrobial activity of chitosan coating-forming solutions, causing an antagonistic interaction.

Papaya is a fruit susceptible to fungal and yeast infection, since it has a high water content and an optimal pH for the growth of these microorganisms, this being one of the main causes of its deterioration. Taking into account that NC 585³⁶ recommends the investigation of certain microbial groups for each category of food, that the product is considered a ready-to-eat food, total mesophiles and total and thermotolerant coliforms are established as parameters to evaluate. However, the fungal and yeast count was evaluated at the beginning and end of the application of the different treatments, observing a slight increase in fungal contamination, although it was not qualitatively important.

The presence of fungi was greater in the control treatment, undoubtedly attributed to possible contamination of the sample during its handling, since in general it was observed that the presence of the chitosan coatings retarded the growth of the rest of the microorganisms during storage time, which corresponds to González-Aguilar et al.³¹, who evaluated the effectiveness of the application of chitosan coatings at 1 and 2% (m/v) on cut papaya stored at 5 °C for 15 days. Similar results were obtained by García et al.¹⁶ when applying chitosan coatings at 1.5% (m/v) on pineapple slices stored between 4 and 6 °C for 15 days.

In the treatments carried out at the beginning and end, no growth of total coliforms was observed in any of the samples; which indicates that the handling was correct throughout the process and that the sanitary standards for food handling were met. Similar results were obtained by Díaz et al.²⁸ in the detection of these microorganisms in papaya cubes coated with 1 and 2% (m/v) chitosan coatings.

Conclusions

The application of chitosan and EHC coatings did not influence the physical-chemical characteristics of the minimally processed papayas, although in general, the samples treated with coatings presented greater firmness and a lower maturity index. The 1.5% (m/v) chitosan coating with the addition of 0.2% (v/v) EHC was more effective in inhibiting the development of the product's contaminating microbiota.

Author Contributions: Conceptualization, M.G., and A.C.; methodology, D.R. and M.N.; software, M.G., and M.N.; validation, M.G., and A.C.; formal analysis, M.N., and D.R.; investigation, M.N., D.R., M.G., and A.C.; data curation, M.G., and M.N.; writing—original draft preparation, D.R. and M.G.; writing—review and editing, M.G.; visualization, M.N., and M.G.; supervision, M.G.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

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

References

1. Hassoun, A.; El-Din Bekhit, A.; Režek Jambrak, A.; Regenstein, J.M.; Chemat, F.; Morton, J.D.; Gudjónsdóttir, M.; Carpena, M.; Prieto, M.A.; Varela, P.; Naveed Arshad, R.; Muhammad Aadil, R.; Bhat, Z.; Ueland, Ø. The fourth industrial revolution in the food industry—part II: Emerging food trends. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2024**, *64*:2, 407-37. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2106472>
2. Xiao, Ch.; Zhu, L.; Luo, W.; Song, X.; Deng, Y. Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality of fresh-cut pears. *Food Chem.* **2010**, *121*, 1003-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.038>
3. Hou, Z.; Zhang, M.; Liu, B.; Yan, Q.; Yuan, F.; Xu, D.; Gao, Y. Effect of chitosan molecular weight on the stability and rheological properties of β -carotene emulsions stabilized by soybean soluble polysaccharides. *Food Hydrocoll.* **2012**, *26*, 205-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.013>

4. Schreiber, S.B.; Bozell, J.J.; Hayes, D.G.; Zivanovic, S. (2013). Introduction of primary antioxidant activity to chitosan for application as a multifunctional food packaging material. *Food Hydrocoll.* **2013**, 33, 207-14. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.006>
5. Anraku, M., Gebicki, J. M., Iohara, D., Tomida, H., Uekama, K., Maruyama, T.; Hirayama, F.; Otagiri, M. (2018). Antioxidant activities of chitosans and its derivatives in in vitro and in vivo studies. *Carbohydr. Polym.* **2018**, 199, 141-9. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.016>
6. Xie, W.; Xu, P.; Liu, Q. Antioxidant activity of a water-soluble chitosan derivatives. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2001**, 11, 1699-1701. [https://doi.org/10.1016/S0960-894X\(01\)00285-2](https://doi.org/10.1016/S0960-894X(01)00285-2)
7. Xing, R.; Liu, S.; Guo, Z.; Yu, H.; Wang, P.; Li, C.; Li, Z.; Li, P. Relevance of molecular weight of chitosan and its derivatives and their antioxidant activities in vitro. *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, 13, 1573-7. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2004.12.022>
8. Casettari, L.; Gennari, L.; Angelino, D.; Ninfali, P.; Castagnino, E. ORAC of chitosan and its derivatives. *Food Hydrocoll.* **2012**, 28, 243-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.005>
9. Rodríguez, M.; Osés, J.; Ziani, K.; Maté, J.I. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch-based edible films. *Food Res. Int.* **2006**, 8(39), 840-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.04.002>
10. Muñoz-Tebar, N.; Pérez-Álvarez, J.A.; Fernández-López, J.; Viuda-Martos, M. Chitosan Edible Films and Coatings with Added Bioactive Compounds: Antibacterial and Antioxidant Properties and Their Application to Food Products: A Review. *Polymers (Basel)* **2023**, 15(2), 396. <https://doi.org/10.3390/polym15020396>
11. Vilvert, J.C.; de Freitas, S.T.; Ferreira, M.A.R.; Costa, C.d.S.R.; Leite, R.H.d.L.; dos Santos, F.K.G.; Aroucha, E.M.M. Preservation of Quality and Bioactive Compounds in Mangoes Using Chitosan-Graphene-Oxide-Based Biodegradable Packaging. *Horticulturae* **2023**, 9, 1145. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101145>
12. Galindo-Pérez, M.J.; Martínez-Acevedo, L.; Vidal-Romero, G.; Serrano-Mora, L.E.; Zambrano-Zaragoza, M.d.I.L. Preservation of Fresh-Cut 'Maradol' Papaya with Polymeric Nanocapsules of Lemon Essential Oil or Curcumin. *Polymers* **2023**, 15, 3515. <https://doi.org/10.3390/polym15173515>
13. Prasad, K.; Akshatha, H.; Pradhan, J.; Singh, S.K.; Udit, K.; Saroj, N.; Mukhim, C.; Lal, M.K.; Tiwari, R.K.; Ravinder, K. Eco-safe composite edible coating of hydrocolloids with papaya leaf extract improves postharvest quality and shelf life of papaya fruit under ambient storage. *J. Food Sci.* **2024**, 89, 1114-26. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16885>

14. Rodríguez, D.; García, M.A.; de la Paz, N.; Badillo, P.A.; Castro, C.; Casariego, A. Effect of the Addition of Turmeric Hydroalcoholic Extract on Physicochemical Properties of Chitosan Films and Shelf Life Extension of Minimally Processed Pineapple. *J. Package Technol. Res.* **2021**, *5*, 185-200. <https://doi.org/10.1007/s41783-021-00122-3>
15. Santamaría, F.; Sauri, E.; Espadas, F.; Díaz, R.; Larqué, A.; Santamaría, J.M. Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia* **2009**, *34*(8), 583-8.
16. García, M.A.; García, Y.P.; Calderín, L.; de la Paz, N. Empleo de coberturas de sales ácidas de quitosana en la conservación de piña mínimamente procesada. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, **2015**, *25*(1), 31-6.
17. De la Paz, N.; Fernández, M.; López, O.D.; Nogueira, A.; García, C.M.; Pérez, D.; Tobella, J.L.; Montes de Oca, Y.; Díaz, D. Optimización del proceso de obtención de quitosana derivada de la quitina de langosta. *Rev. Iberoam. Polím.* **2012**, *13*(3), 103-16.
18. NC-ISO 2173. Productos de frutas y vegetales. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2001.
19. NC-ISO 1842. Productos de frutas y vegetales. Determinación del pH. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2001.
20. NC-ISO 750. Productos de frutas y vegetales. Determinación de la acidez valorable. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2001.
21. NC-ISO 4833-1. Conteo total de microorganismos a 30 °C. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2014.
22. NC-ISO 6887-1. Determinación de coliformes totales. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2002.
23. Oliveira, J.G.d.; Duarte, L.G.R.; Silva, Y.B.B.; Milan, E.P.; Santos, H.V.; Moura, T.C.; Bandini, V.P.; Vitolano, L.E.S.; Nobre, J.J.C.; Moreira, C.T.; Mitsuyuki, M.C.; Bogusz Jr., S.; Ferreira, M.D. Novel approach for improving papaya fruit storage with carnauba wax nanoemulsion in combination with *Syzigium aromaticum* and *Mentha spicata* essential oils. *Coatings* **2023**, *13*, 847. <https://doi.org/10.3390/coatings13050847>
24. Alam, M.; Hasan, M.M.; Debnath, M.K.; Alam, A.; Zahid, A.; Alim, A.; Rahman, N.; Molla, M.M.; Khan, M.R.; Biswas, M. Characterization and evaluation of flour's physico-chemical, functional, and nutritional quality attributes from edible and non-edible parts of papaya. *J. Agric. Food Res.* **2024**, *15*, 100961. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100961>
25. Muñoz-Tebar, N.; Pérez-Álvarez, J.A.; Fernández-López, J.; Viuda-Martos, M. Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: antibacterial and antioxidant properties and

- their application to food products: a review. *Polymers (Basel)* **2023**, 5(2), 396. <https://doi.org/10.3390/polym15020396>
26. Zhou, Y.; Hu, L.; Chen, Y.; Liao, L.; Li, R.; Wang, H.; Mo, Y.; Lin, L.; Liu, K. The combined effect of ascorbic acid and chitosan coating on postharvest quality and cell wall metabolism of papaya fruits. *LWT* **2022**, 171, 114134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114134>
27. García, M.; Díaz, R.; Martínez, Y.; Casariego, A. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Res. Int.* **2010**, 43, 1656-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.002>
28. Díaz, R.; Casariego, A.; Rodríguez, J.; Martínez, A.; García, M. Coberturas de quitosana como método de envasado activo en vegetales enteros y cortados. *Cienc. Tecnol. Aliment.* **2010**, 20 (2), 31-6.
29. El-Ghaouth, A.; Arul, J.; Ponnampalam, R.; Boulet, M. Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *J. Food Proc. Preserv.* **1991**, 15, 359-68. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1991.tb00178.x>
30. Soliva-Fortuny, R.C.; Oms-Oliu, G.; Martín-Belloso, O. Effects of ripeness stage on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *J. Food Sci.* **2002**, 67, 1958-63. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08752.x>
31. González-Aguilar, G.A.; Monroy-García, I.N.; Goycoolea-Valencia, F.; Díaz-Cinco, M.E.; Ayala-Zavala, J.F. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. *Nuevas Tecnologías de Conservación y Envasado de Frutas y Hortalizas* **2005**, 1, 121-33.
32. Cruaños, M.C.; Locaso, D.E. Quitosano: antimicrobiano biodegradable en postcosecha de arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.). *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* **2011**, 12(1), 57-63.
33. Morais, A.M.M.B.; Argañosa, A. Quality during storage of fresh-cut papaya (*Carica papaya* L.) in various shapes. *The Philippine Agricultural Scientist* **2010**, 93, 88-96.
34. Mashitoa, F.M.; Akinola, S.A.; Manhevi, V.E.; García, C.; Remize, F.; Slabbert, R.M.; Sivakumar, D. Influence of fermentation of pasteurised papaya puree with different lactic acid bacterial strains on quality and bioaccessibility of phenolic compounds during in vitro digestion. *Foods* **2021**, 10(5), 962. <https://doi.org/10.3390/foods10050962>
35. Vargas, Y.B.; Díaz, A.E.; Congo, C.D.; Tinoco, L.A.; Viera, W.F. Comparison of fruit quality traits of papaya (*Carica papaya* L.) genotypes from Shushufindi and La Joya de los Sachas, Ecuador. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria* **2021**, 22(1), e1930. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1930

36. NC 585. Contaminantes microbiológicos en alimentos. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2015.

/ Received: 25 June 2024 | Accepted: 26 August 2024 | Published: 15 September 2024 /

Citation: García, M.A.; Nariño, M.; Rodríguez, D.; Casariego, A. Preservation of minimally processed papaya by using chitosan coatings with turmeric hydroalcoholic extract. *Bionatura*, 2024; Vol (9) No 3.

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 Impactos del cambio climático en la integridad funcional del Bosque nublado de la Sierra Maestra, Cuba

Impacts of climate change on the functional integrity of the Sierra Maestra cloud forest, Cuba

Euclides Fornaris Gómez^{1} (<https://orcid.org/0000-0001-6061-0765>), Orlando Joel Reyes Domínguez¹ (<https://orcid.org/0000-0001-7486-5508>), Luz Margarita Figueredo Cardona² (<https://orcid.org/0000-0002-0834-6327>)*

¹*Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (Bioeco)/ Santiago de Cuba /Cuba); euclides.fg42@gmail.com*

²*Agencia de Medio Ambiente (AMA); e-mail@e-mail.com*

**Correspondence: euclides.fg42@gmail.com; Tel.: +53 53213276*

Resumen

La alta diversidad florística y notable endemismo del Bosque nublado de la Sierra Maestra le confieren elevada importancia como sitio clave para la conservación. Su distribución espacial, las condiciones edafoclimáticas y su propio funcionamiento ecológico, lo convierte en un ecosistema muy frágil. El cambio climático contribuye a exacerbar su vulnerabilidad, pudiendo ocasionar migraciones de las principales especies y las afectaciones en su estructura y composición. En este trabajo se evalúan las posibles afectaciones del cambio climático sobre las áreas de idoneidad ecológica de este bosque y la incidencia sobre su funcionamiento ecológico. Se emplean dos modelos de circulación global: MIROC-ES2L y CanESM5-CanOE, dos escenarios climáticos: de mitigación ($2,6 \text{ W m}^{-2}$) y de alta emisión ($8,5 \text{ W m}^{-2}$), en dos horizontes temporales: 2060 y 2100. Según los análisis podría esperarse una notable reducción del área de idoneidad ecológica del Bosque nublado, estimándose las peores consecuencias ante un escenario de alta emisión para el 2100. El aumento de la temperatura tendrá un impacto negativo en su funcionamiento ecológico, afectando particularmente la estera radical embebida en matriz de humus presente en estos ecosistemas, siendo este uno de sus principales mecanismos adaptativos frente al déficit de materia orgánica que caracterizan los suelos que los sustentan.

Palabras clave: escenarios climáticos, funcionamiento ecológico, estera radical, matriz de humus, escenario de mitigación, escenario de alta emisión

Abstract

The high floristic diversity and remarkable endemism of the Sierra Maestra cloud forest make it a key site for conservation. Its spatial distribution, the edaphoclimatic conditions, and its own ecological functioning make it a very fragile ecosystem. Climate change contributes to exacerbating its vulnerability, which could cause migrations of the main species and affect its structure and composition. This study evaluates the possible effects of climate change on the areas of ecological suitability of this forest and the impact on its ecological functioning. Two global circulation models are used: MIROC-ES2L and CanESM5-CanOE, two climate scenarios: mitigation (2.6 W m^{-2}) and high emission (8.5 W m^{-2}), in two time horizons: 2060 and 2100. According to the analyses, a notable reduction in the area of ecological suitability of the Cloud Forest could be expected, with the worst consequences being estimated for a high emission scenario by 2100. The increase in temperature will have a negative impact on its ecological functioning, particularly affecting the root mat embedded in the humus matrix present in these ecosystems, this being one of its main adaptive mechanisms to the organic matter deficit that characterizes the soils that support them.

Key words: climate scenarios, ecological functioning, ecological suitability areas, root mat, humus matrix, mitigation scenario, high-emission scenario

Introducción

Las actividades humanas, intensificadas en el último siglo, han impulsado un aumento sin precedentes de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, lo que ha derivado en un notable ascenso de la temperatura media global. Diversas instituciones internacionales especializadas en la modelización climática¹ han desarrollado proyecciones para las próximas décadas que contemplan diferentes escenarios en función del esfuerzo de mitigación de las emisiones por parte de los gobiernos. El escenario más favorable se caracterizaría por un compromiso global para reducir la concentración de GEI, mientras que el escenario más crítico se vería condicionado por la inacción de los principales emisores, perpetuando la tendencia actual de calentamiento².

El aumento de la temperatura media anual y la alteración de los patrones de precipitación a diferentes latitudes se encuentran entre las principales preocupaciones de los expertos en el ámbito del cambio climático³. Se pronostica un aumento en las precipitaciones en latitudes altas, mientras que se espera una disminución en las regiones tropicales, lo que intensificará las precipitaciones e inundaciones en algunas zonas y provocará sequías severas en otras. Las temperaturas experimentarán un aumento progresivo, con estimaciones que podrían superar los 5°C para finales del siglo actual^{4,5}. Entre los

ecosistemas terrestres más vulnerables se ubican los bosques húmedos de alta altitud, como los del macizo Sierra Maestra en Cuba.

La variedad de condiciones ecológicas presentes en el macizo, producto de sus características geológicas, geomorfológicas, edáficas y climatológicas⁶, genera la existencia de ecotopos únicos⁷ y lo convierte en uno de los mayores centros de endemismo y diversidad biótica de todo el archipiélago cubano⁸. Entre sus ecosistemas, destacan las diversas comunidades vegetales que han evolucionado hasta constituir expresiones únicas. La complejidad estructural de sus bosques, en su mayoría, y los procesos ecológicos que rigen su funcionamiento los hacen altamente sensibles a las condiciones naturales presentes. Los cambios de uso del suelo, las prácticas agrícolas y silviculturales inadecuadas, la pobreza de los suelos y las fuertes pendientes han favorecido procesos de degradación con repercusiones negativas en todos los ecosistemas. El cambio climático, a su vez, exacerba esta degradación.

Las investigaciones sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas terrestres son de gran relevancia, considerando que la mayoría de estos ya se encuentran alterados y solo un pequeño porcentaje conserva sus condiciones originales^{9,10,11}. Los cambios climáticos previstos, tanto graduales (aumento de la temperatura, elevación del nivel medio del mar), como extremos (tormentas, huracanes, sequías), suponen un desafío para silvicultores y ecólogos^{12,13,14}. En el contexto cubano, a pesar de la necesidad imperante de profundizar en esta temática, los estudios que abordan el impacto del cambio climático sobre las formaciones vegetales, especies o grupos de especies aún son escasos^{15,16}.

El presente estudio evalúa el impacto del cambio climático sobre el Bosque nublado (Bn), un ecosistema singular que se extiende por encima de los 1 400 m s.n.m. hasta la cima del macizo Sierra Maestra (1972 m s.n.m.). A partir de los requerimientos ecológicos del sitio donde se distribuye (áreas de idoneidad ecológica), su estado actual de conservación y su funcionamiento ecológico, se analizan los posibles cambios en su distribución espacial, frente al aumento de la temperatura media anual y las variaciones en los regímenes de precipitación. Para ello, se utilizarán dos modelos de circulación global¹⁷ para proyectar dos escenarios futuros del cambio climático, en dos horizontes temporales: 2060 y 2100. La información generada permitirá comprender mejor las posibles consecuencias del cambio climático sobre este ecosistema vulnerable y contribuir a la toma de decisiones para su manejo y conservación.

Materiales y Métodos

Distribución del Bosque nublado en la Sierra Maestra

La distribución del Bn en la Sierra Maestra se determina a partir de imágenes Sentinel-2 del año 2018, con una resolución espacial de 10 m en el espectro visible. Se implementan técnicas de teledetección para generar índices de vegetación y compararlos con clasificaciones supervisadas y no supervisadas. Se consideran variables adicionales a partir de mapas base, como precipitación, temperatura, altitud, litología, exposición de la ladera y uso del suelo. La integración de estos datos, junto con la información cartográfica a escala 1:25 000 (altimetría, litología, hojas cartográficas, ordenación forestal), permite la elaboración de un mapa a esta misma escala con la distribución espacial de este bosque en la Sierra Maestra.

Áreas de idoneidad ecológica del Bosque nublado

Para determinar las áreas de idoneidad ecológica (AIE) se utilizan como variables predictoras las bioclimáticas disponibles en la serie climática de 1970-2000, del sitio WorldClim versión 2.1¹⁷, consideradas como clima de referencia^{17,18}. Entre las variables relacionadas con la precipitación se consideró la precipitación anual, el rango anual de precipitación, la precipitación del trimestre más lluvioso y la precipitación del trimestre menos lluvioso. De la temperatura se tuvo en cuenta la temperatura media anual, rango anual de temperatura, la temperatura media del trimestre más cálido y la temperatura media del trimestre más frío. Estas variables son, según criterio de expertos consultados, las de mayor influencia sobre el funcionamiento ecológico del ecosistema estudiado.

A través de la estadística zonal (herramienta de los SIG) se realiza el análisis de la distribución potencial de este ecotopo, basado en patrones climáticos y espaciales definidos previamente. Este procedimiento se fundamenta en el manejo integrado de datos estadísticos y cartográficos del área estudiada, considerando las características ecológicas idóneas para la presencia de un tipo de formación vegetal. De esta manera, se puede predecir con un alto grado de certeza su presencia, generando mapas de idoneidad de hábitats que resultan herramientas valiosas para la gestión y conservación de la biodiversidad. Adicionalmente se tomó en cuenta la altitud media sobre el nivel del mar, obtenida del Modelo Digital del Terreno¹⁹ con una resolución espacial de 25 m.

Escenarios futuros del cambio climático

Los escenarios futuros del cambio climático se definen a partir de los resultados de Modelos de Circulación General (MCG) disponibles en WorldClim¹⁸. De ellos se emplean los datos de las proyecciones climáticas futuras reducidas de CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Projects Phase 6) de dos MCG: CanESM5-CanOE²¹ y MIROC-ES2L²², teniendo en cuenta dos horizontes temporales: 2060 y 2100, empleando dos de las cuatro vías socioeconómicas compartidas: 2,6 W m⁻²

² (mitigación) y $8,5 \text{ W m}^{-2}$ (alta emisión). Se procesan las mismas variables bioclimáticas empleadas para el clima de referencia (de temperatura y precipitación), esta vez de las proyecciones futuras.

La selección de los MCG se basa en su amplia aceptación y uso en la comunidad científica para proyectar cambios climáticos futuros. Los modelos CMIP6 representan el estado del arte en modelización climática, incorporando avances significativos en la representación de procesos físicos y biogeoquímicos²⁹. La elección de los MCG CanESM5-CanOE²¹ y MIROC-ES2L²² permite explorar una gama de posibles respuestas climáticas, dado que muestran proyecciones de temperatura que se encuentran por encima y por debajo del promedio de los modelos CMIP6. Esta diversidad en las proyecciones es importante para evaluar la incertidumbre asociada a las predicciones climáticas futuras.

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados de las modelaciones de la temperatura media anual para un escenario de máxima emisión (2100), según el Atlas interactivo del IPCC^{20,23}. Como se observa, los valores se sitúan por encima y por debajo de la media de todos los modelos. Esta disparidad permite realizar un análisis de escenarios futuros donde se contemplan variables climáticas por encima y por debajo de los valores promedios esperados según los reportes del IPCC¹⁸.

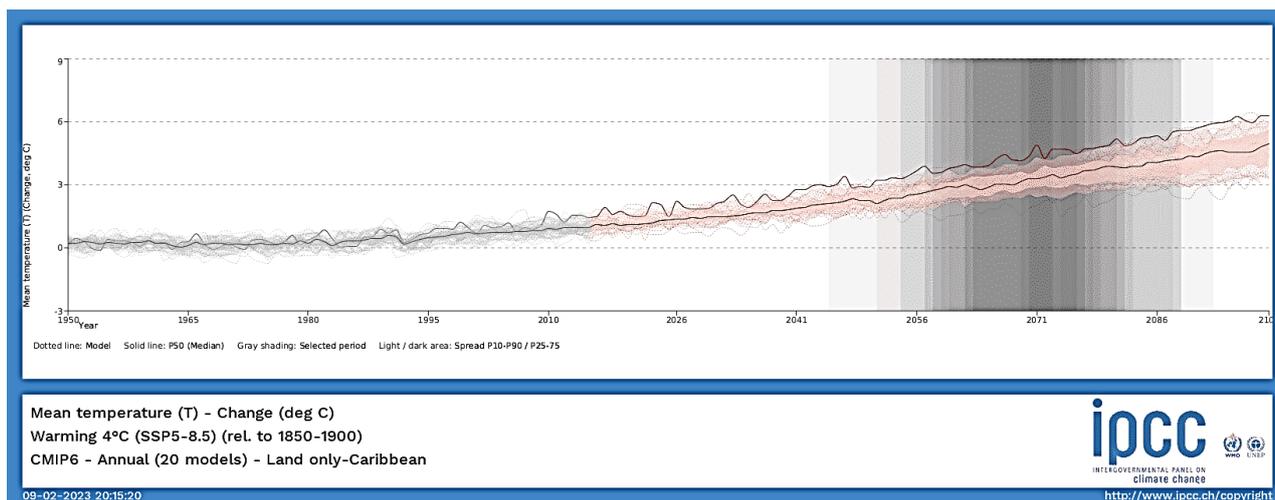


Figura 1. Atlas interactivo. La curva superior muestra la proyección de la temperatura media anual para el 2100 (escenario de alta emisión), según el modelo CanESM5-CanOE. Curva central: promedio de todos los modelos.

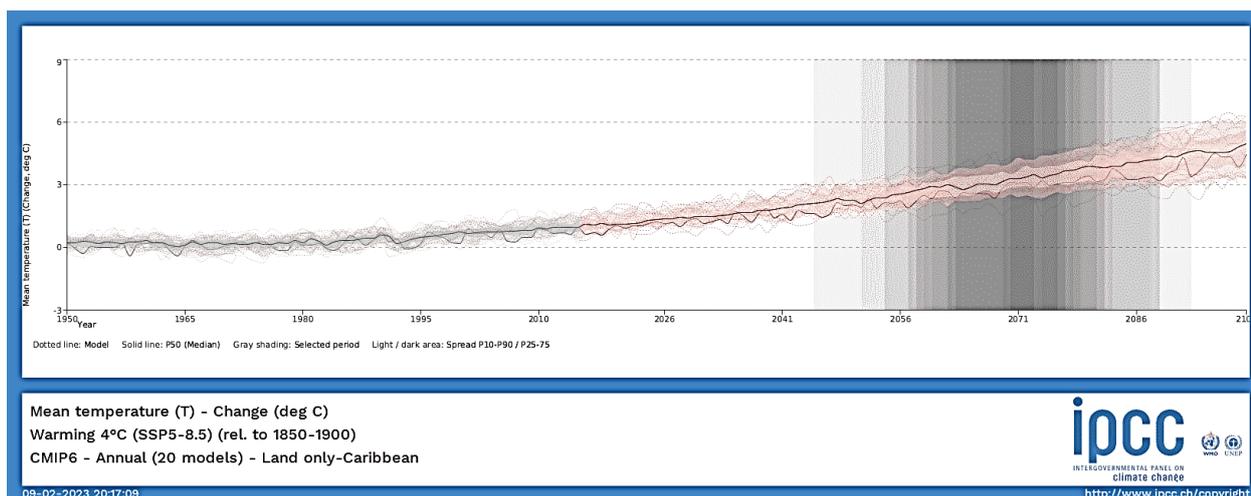


Figura 2. Atlas interactivo. La curva inferior muestra la proyección de la temperatura media anual para el 2100, ante un escenario de alta emisión según el modelo MIROC-ES2L. Curva central: promedio de todos los modelos.

Modelación de la distribución espacial del Bosque nublado frente a los escenarios climáticos futuros

Para modelar la distribución actual del bosque estudiado frente al cambio climático, se utiliza la cobertura vegetal (capa vectorial) del Bn y las capas ráster de WorldClim (precipitación y temperatura) para los escenarios futuros. Posteriormente, a través de la estadística zonal (herramienta SIG), se obtienen los estadísticos (promedio, mínimo, máximo, moda y desviación estándar) de los valores proyectados para el área del Bn (AIE). Posteriormente, con la herramienta Raster calculator (herramienta SIG), se calcula la diferencia entre los valores de las variables (actual y futuro), permitiendo evaluar los cambios entre el clima de referencia y clima futuro dentro del AIE.

Efectos del cambio climático sobre el funcionamiento ecológico del Bosque nublado

Para ello se examinan los impactos potenciales del cambio climático sobre las características del funcionamiento ecológico del Bn descrito por Reyes *et al.*, (2011). Se analizan las proyecciones de precipitación y temperatura para el área de estudio bajo diferentes escenarios climáticos, tanto para el año 2060 como para 2100. A partir de ello, se evalúa cómo estas modificaciones ambientales podrían afectar las estrategias adaptativas que configuran su funcionamiento ecológico. El análisis se centra en comprender cómo los cambios en los patrones climáticos pueden influir en la dinámica del bosque estudiado, así como la estructura y composición del ecosistema.

Resultados

Distribución del Bosque nublado de la Sierra Maestra

El mapa con la cobertura del Bn en el macizo montañoso Sierra Maestra permite una precisa delimitación espacial y caracterización de sus hábitats (Figura 3). Este bosque se extiende desde una altitud de 1 455 m s.n.m. hasta la cima del Pico Real del Turquino (1972 m s.n.m.), ocupando una superficie de 13,48 km², equivalente al 0,23 % del área total del macizo. Si bien representa una pequeña porción del mismo, alberga una notable diversidad de especies, constituyendo un ecosistema clave dentro de los ecosistemas de montaña⁸.

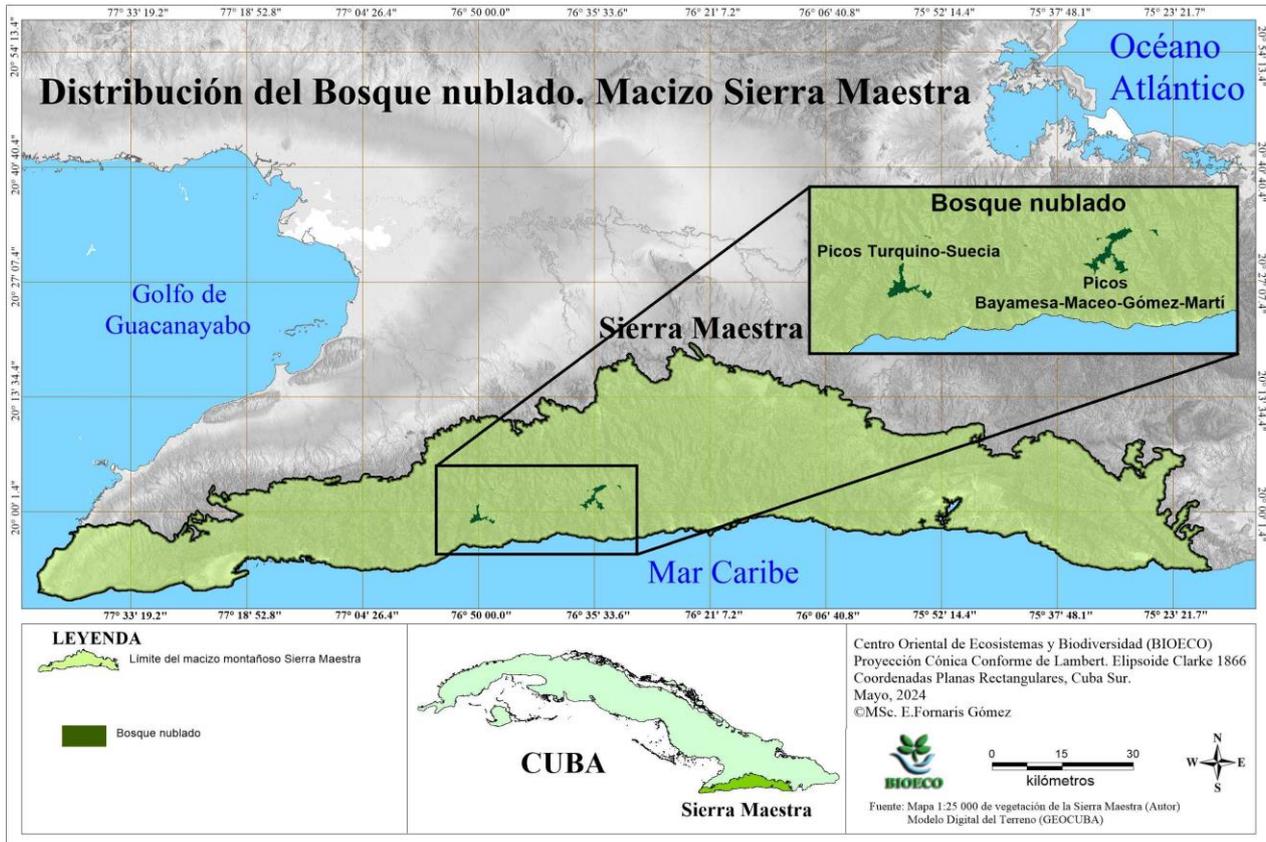


Figura 3. Distribución espacial del Bosque nublado dentro del macizo montañoso Sierra Maestra

Áreas de Idoneidad Ecológica (AIE) del Bosque nublado

Mediante la estadística zonal se obtuvieron los valores de las variables bioclimáticas (predictoras) del hábitat del Bn (Tabla 1 y 2) y los valores altimétricos obtenidos del modelo digital del terreno (Tabla 3).

Tabla 1. Valores de precipitación (mm) para el Bosque nublado, período 1970-2000

Variables	Mín	Máx	Rango	Media	STD
Precipitación anual	1 911	2 035	124	1 985	35,12359
Rango anual de precipitación	234	256	22	245	5,50561

Precipitación del trimestre más lluvioso	705	754	49	733	13,49131
Precipitación del trimestre menos lluvioso	177	206	29	193	8,73053

Donde: Mín- Valores mínimos, Máx- Valores máximos, STD- Desviación estándar

Fuente: Procesados por el autor a partir del WorldClim

En la siguiente tabla se muestran los valores de las variables bioclimáticas relacionadas con las temperaturas (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de temperaturas (0C) para el Bosque nublado, período 1970-2000

Variables	Min	Máx	Rango	Media	STD
Temperatura media anual	16,0	17,4	1,5	16,6	0,42881
Rango anual de temperatura	12,8	12,9	0,1	12,9	0,04875
Temperatura media del trimestre más cálido	17,7	19,1	1,4	18,3	0,42651
Temperatura media del trimestre más frío	13,9	15,4	1,5	14,6	0,44002

Donde: Mín- Valores mínimos, Máx- Valores máximos, STD- Desviación estándar

Fuente: Información procesada por el autor, 2024

Tabla 3. Valores altimétricos de la Pluvisilva montana de la Sierra Maestra

Variable altitudinal	Bosque nublado
Altitud máxima	1 972
Altitud mínima	1 455
Rango	517
Media	1 592

Fuente: Información procesada por el autor, 2024

El Bn se distribuye desde los 1 455 m s.n.m., hasta la cima del Pico Real del Turquino, la parte más elevada de la Sierra Maestra y de todo el archipiélago cubano, con un rango de distribución de poco más de 500 m. Ello le confiere características particulares al funcionamiento ecológico de este ecosistema montañoso. Las nubes bajas aportan humedad al interior del bosque, la que es absorbida por el mantillo y las epífitas. Es frecuente un déficit de saturación convirtiéndose en un factor de estrés a la vegetación, lo cual explica la alta microfilia y esclerofilia de esta vegetación²⁴. Otro factor tensionante es el viento, principalmente sobre el estrato arbóreo, actuando con más fuerza en las partes expuestas al Norte.

Comportamiento de la precipitación y la temperatura en dos escenarios climáticos futuros, según los modelos MIROC-ES2L y CanESM5-CanOE, para los horizontes temporales 2060 y 2100

A continuación, se presenta una síntesis del comportamiento de las variables bioclimáticas relacionadas con la precipitación y la temperatura para el ecotopo del Bn, para los años 2060 y 2100, en los dos escenarios climáticos analizados.

Análisis del comportamiento de la precipitación:

a). Horizonte temporal 2060

Escenario de mitigación:

Mientras que el modelo MIROC-ES2L estima una disminución de la precipitación anual en 10,6 mm en comparación con el período de referencia y aumentos discretos en los trimestres lluviosos y menos lluviosos (10,1 y 4,9 mm respectivamente), el modelo CanESM5-CanOE predice un aumento de 110,0 mm en la lluvia total anual y aumentos en los trimestres lluviosos y menos lluviosos (35,5 y 30,7 mm respectivamente).

Escenario de alta emisión:

En este escenario el modelo MIROC-ES2L pronostica una reducción de 79,2 mm en la precipitación anual y 35,2 mm el trimestre más lluvioso, sin embargo, el modelo CanESM5-CanOE estima una reducción de 41,6 mm anuales, con un aumento de 31,5 mm en el trimestre menos lluvioso. El resto de las variables no tendrán cambios importantes.

b). Horizonte temporal 2100

Escenario de mitigación:

En este escenario el modelo MIROC-ES2L estima una reducción de la precipitación anual en 40,7 mm, con un comportamiento discreto del resto de las variables. Por el contrario, el modelo CanESM5-CanOE predice un aumento de la precipitación anual de 133,6 mm, con aumentos también del trimestre más lluvioso y menos lluvioso, de 42,2 y 26,3 mm respectivamente.

Escenario de alta emisión:

En este escenario, ambos modelos pronostican notables reducciones de la precipitación anual. El modelo MIROC-ES2L estima una reducción de 307,2 mm de lluvia en el año, mientras que, el modelo CanESM5-CanOE estima 542,1 mm, lo que representa una disminución del 27,3 % en comparación con el período actual. Estos son los mayores valores de reducción de las precipitaciones de todos los escenarios analizados. Respecto a las precipitaciones del trimestre más lluvioso, que ocurre desde agosto a octubre, el primer modelo predice una disminución de 70,9 mm y el modelo CanESM5-CanOE, estima una reducción 169,9 mm. Respecto a las cantidades de lluvias en el trimestre menos

lluvioso, MIROC-ES2L predice reducciones de 20,3 mm, sin embargo, el segundo modelo estima un aumento de 34,8 mm de lluvia total anual.

Análisis del comportamiento de la temperatura:

a). Horizonte temporal 2060

Escenario de mitigación:

Según el modelo MIROC-ES2L para un escenario de mitigación podría esperarse un incremento de la temperatura media anual de 0,9°C; de igual manera se incrementa la temperatura del trimestre más cálido en 1,1°C y del trimestre más frío en 0,7°C. Por su parte el modelo CanESM5-CanOE estima un aumento de la temperatura media anual en 1,5°C y del trimestre más cálido en 5,7°C, sin embargo, este modelo estima una disminución de 2,8°C para el trimestre más frío.

Escenario de alta emisión:

Según MIROC-ES2L, para un escenario de alta emisión podría esperarse un aumento de la temperatura media anual en 1,4°C; para el trimestre más cálido disminuiría en 2,4°C y para el más frío tendría un aumento de 3,4°C. El modelo CanESM5-CanOE estima un aumento de la temperatura media anual de 2,4°C, mientras que, la temperatura del trimestre más cálido y más frío, los aumentos serían de 2,7 y 2,3°C respectivamente.

b). Horizonte temporal 2100

Escenario de mitigación:

El modelo MIROC-ES2L proyecta un aumento de la temperatura media anual de 0,9°C para finales de siglo XXI y similares aumentos podrían registrarse para el trimestre más cálido y más frío, siendo de 1,1°C y 0,7°C, respectivamente. El modelo CanESM5-CanOE, por su parte, estima un aumento de la temperatura media anual de 1,5°C y de 5,6°C para el trimestre más cálido, sin embargo, una disminución de 2,8°C para el trimestre más frío.

Escenario de alta emisión:

Frente a un escenario de alta emisión, según el modelo MIROC-ES2L, la temperatura media anual se incrementa considerablemente hasta alcanzar 3,3°C. Aunque el modelo estima una disminución de la temperatura media del trimestre más frío de 1,2°C, el aumento en el trimestre más cálido podría ser de 7,9°C. En este escenario, el modelo CanESM5-CanOE estima para el 2100 un aumento de 5,1°C para la temperatura media anual, a su vez, la temperatura media del trimestre más cálido podría aumentar a 9,8°C, aunque el aumento del trimestre más frío podría ser de solamente 0,5°C. Estos aumentos son consistentes con las tendencias actuales de las políticas climáticas de los principales emisores de GEI, coincidiendo además con las predicciones publicadas por el IPCC¹.

Discusión

Estrategias de conservación del Bosque nublado y su resiliencia

La efectividad de las estrategias de conservación del Bn no se limita solo a la preservación de las especies, también busca mantener sus roles ecológicos clave dentro del ecosistemas. El análisis de su función ecológica se centra en preservar su estructura, los procesos bioquímicos y la resiliencia. De este modo, las estrategias de conservación se enfocan en prevenir la extinción de especies, priorizando indicadores que permitan la interrelación intra e interespecífica, condicionando el mantenimiento de la estructura y su función dentro del ecosistema, lo cual es común para todas las comunidades vegetales²⁵.

El Bn alberga en su interior diversos microecosistemas que ocupan superficies variables. Su configuración depende principalmente de dos elementos: edáficos y microclimáticos. Al someterse a variaciones climáticas, su composición estructural y fisonomía podrían varían en el tiempo. Si, a pesar de estas variaciones, el ecosistema se mantiene dentro de parámetros naturales y es capaz de regresar a su estado original mediante su propio funcionamiento, se considera un ecosistema resiliente. Su resiliencia depende, por tanto, de su integridad ecológica.

Cuando el conjunto de elementos que la conforman sufre un desequilibrio, incluso solo algunos de ellos y es de tal magnitud que impacta en su funcionamiento y persiste en el tiempo, el ecosistema tiene tres posibilidades: adaptarse mediante un cambio rápido de su funcionamiento (estrategias adaptativas), migrar a otra zona con condiciones ecológicas similares (AIE) o degradarse hasta desaparecer. Si mantiene más o menos intacto sus grupos funcionales, compuesto por un conjunto de especies que juegan un rol clave dentro del ecosistema, este puede mantener eficientemente sus procesos funcionales.

Efectos del cambio climático sobre el área de idoneidad ecológica del Bosque nublado relacionado con el aumento de la temperatura

Los resultados obtenidos evidencian la vulnerabilidad del Bn ante los escenarios de cambio climático proyectados. Dada la estrecha relación entre la distribución altitudinal del bosque y la temperatura, el incremento térmico previsto podría ocasionar una contracción significativa de su área de distribución. El gradiente térmico promedio de 0,63°C por cada 100 m de ascenso, característico de la región, sugiere que el bosque nublado, al encontrarse en las cotas altitudinales superiores de la Sierra Maestra, posee un margen de maniobra limitado para migrar hacia zonas más frías. En este contexto, el aumento de la temperatura desplazaría el rango altitudinal óptimo para el desarrollo del bosque hacia

mayores elevaciones, reduciendo drásticamente el área potencialmente apta para su establecimiento. La limitada extensión actual del bosque nublado en la región, sumada a la restricción topográfica impuesta por la altitud, acentúa su vulnerabilidad ante estos cambios ambientales, incrementando el riesgo de pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos asociados.

Se expone a continuación el análisis de las alteraciones superficiales del Bn en función de las variaciones de temperatura estimadas por los MCG en cada período temporal. Los resultados obtenidos se presentan mediante un gráfico bidimensional y un modelo digital de elevación tridimensional (MDT), generados con los software MapInfo Professional 12.01 y Vertical Mapper 3.1.1. Las zonas cubiertas por el Bn en los extremos occidental y oriental de las figuras corresponden, respectivamente, a los picos Turquino (1 972 m s.n.m.) y Suecia (1 734 m s.n.m.) y a los picos Bayamesa (1 752 m s.n.m.), Maceo (1 739 m s.n.m.), Gómez (1 681 m s.n.m.) y Martí (1 727 m s.n.m.), donde se aprecian las modificaciones en el Bn representadas en tonalidad naranja.

a). Pérdida de superficie para el año 2060, según el modelo MIROC-ES2L, en los escenarios climáticos estudiados

En un escenario de mitigación, con un aumento de la temperatura media anual de 0,9°C, el límite inferior del ecosistema debería ascender 143 m, desde 1 455 m s.n.m. hasta 1 598 m s.n.m. Esto implicaría una reducción de su superficie actual de 13,48 km² a 8,47 km², con una pérdida del 62,8 %. En un escenario de alta emisión, las consecuencias serían aún más graves: un aumento de 1,4°C obligaría a una migración de 222 m hacia las zonas altas, con una reducción de 11,71 km² de la superficie actual, quedando solo 1,77 km² (una pérdida del 86,9 %). La Figura 4 ilustra estos cambios de forma más detallada.

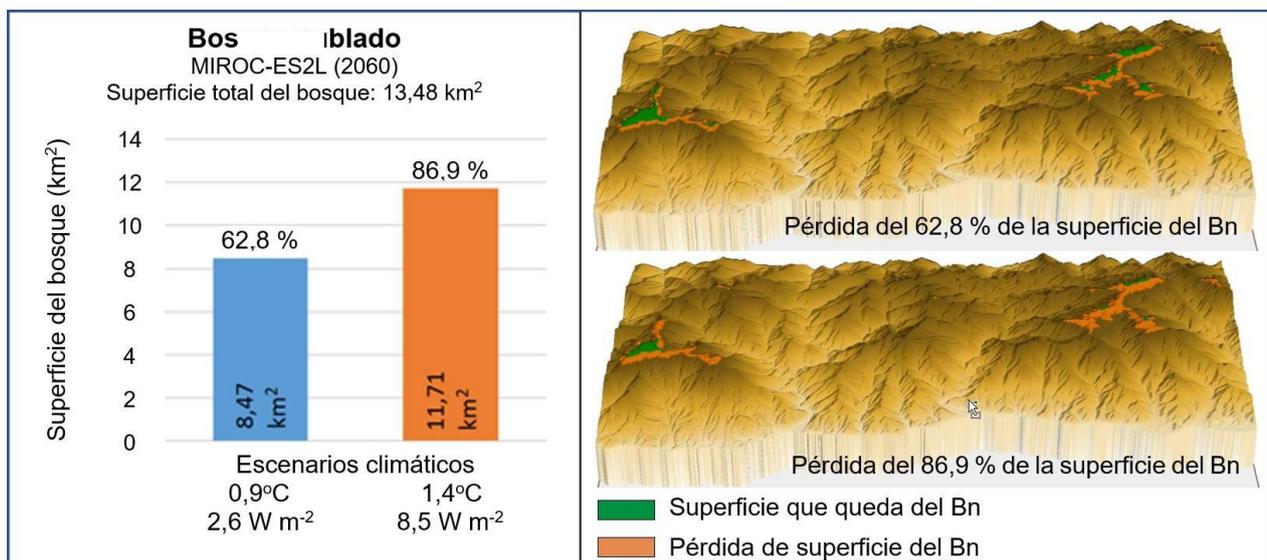


Figura 4. Pérdida de superficie del Bn según el MCG MIROC-ES2L (2060). Fuente: Autor, 2024

b). Pérdida de superficie del Bosque nublado para el año 2100, según el modelo MIROC-ES2L, en los escenarios climáticos estudiados

Bajo un escenario de mitigación, con un aumento de 0,9°C (similar al período anterior para este modelo), el Bn debería migrar 143 m altitudinales (hacia altitudes más altas), lo que implica una reducción de su extensión a 5,01 km² (una pérdida del 62,8 %). Sin embargo, en un escenario de altas emisiones, con un aumento de la temperatura media anual de 3,3°C, el bosque tendría que migrar 524 m, lo que conllevaría a su pérdida total y, por ende, a su potencial desaparición. Estos resultados se ilustran en la Figura 5.

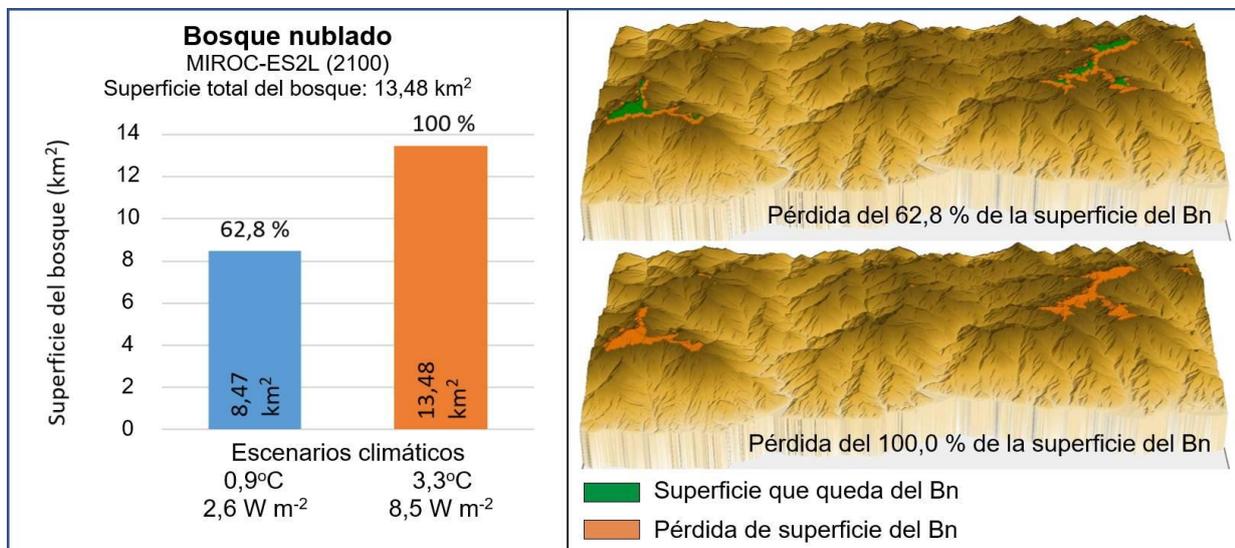


Figura 5. Pérdida de superficie del Bn según el MCG MIROC-ES2L (2100). Fuente: Autor, 2024

c). Pérdida de superficie del Bosque nublado para el año 2060, según el modelo CanESM5-CanOE, en los escenarios climáticos estudiados

Un escenario de mitigación, con un aumento de 1,5°C en la temperatura media anual, obligaría al Bn a migrar 238 m s.n.m. como mecanismo de adaptación. Esto significaría una reducción del 89,4 % de su superficie actual (12,06 km²), quedando solo 1,42 km². En un escenario de alta emisión, con un aumento de 2,4°C, la migración necesaria sería de 381 m s.n.m., lo que conllevaría a una pérdida del 98,1 % de su superficie, reduciéndose a solo 0,25 km². La Figura 6 ilustra estos resultados de manera gráfica.

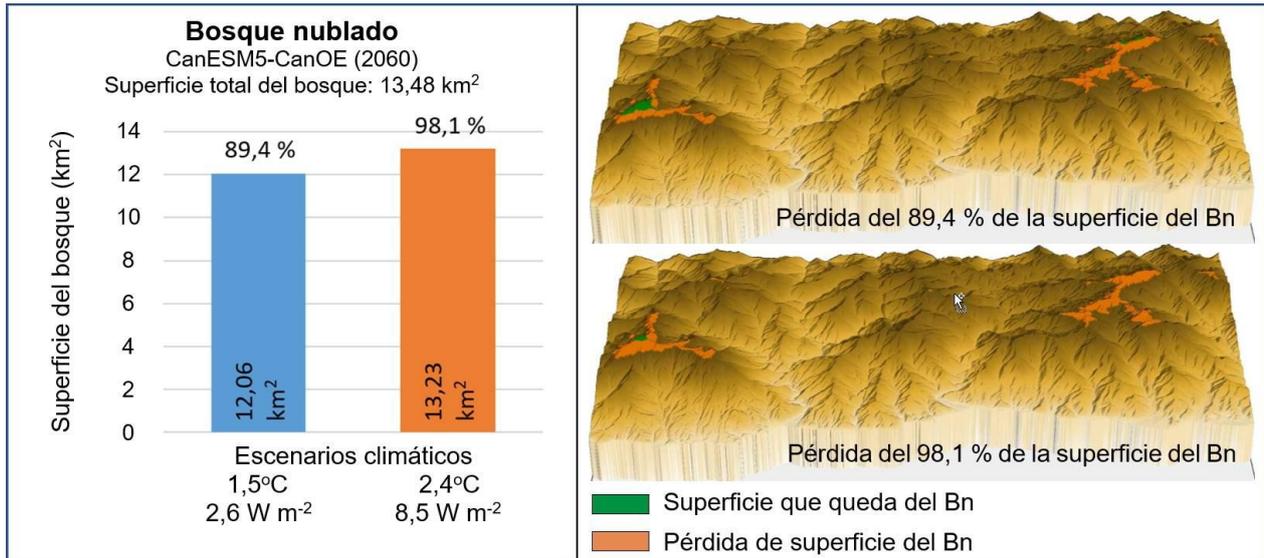


Figura 6. Pérdida de superficie del Bn según el MCG CanESM5-CanOE (2060). Fuente: Autor, 2024

d). Pérdida de superficie del Bosque nublado para el año 2100, según el modelo CanESM5-CanOE, en los escenarios climáticos estudiados

El modelo predice un aumento de la temperatura media anual para el Bn de 1,5°C en un escenario de mitigación, lo que requeriría una migración altitudinal de 238 m para mantener su AIE. Esto conllevaría a una pérdida de 12,06 km² (88,4 %) de este bosque, quedando solo 1,42 km². En un escenario de alta emisión, el aumento de la temperatura media anual se estima en 5,1°C para el período 2081-2100. Para compensar este aumento, el Bn necesitaría migrar 809 m hacia la cima del macizo, lo que resultaría en la pérdida total de su AIE (Figura 7).

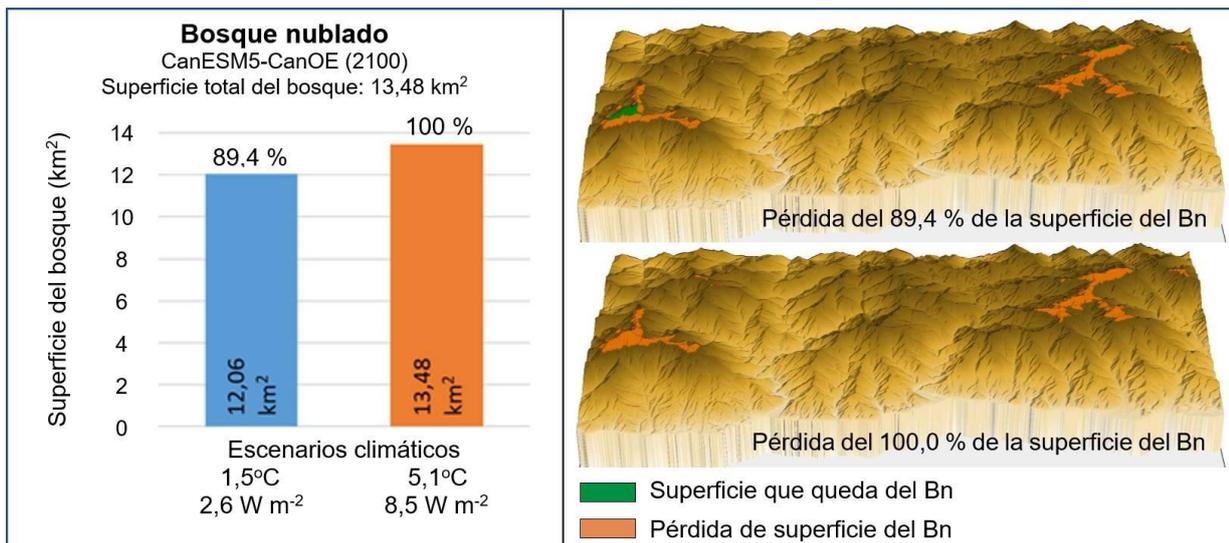


Figura 7. Pérdida de superficie según el MCG CanESM5-CanOE (2100). Fuente: Autor, 2024

Efectos del cambio climático sobre el funcionamiento ecológico del Bosque nublado

Precipitación y ciclos fenológicos:

Las proyecciones climáticas indican que la precipitación en el Bn se verá afectada con diferentes magnitudes según el escenario de emisiones. La disminución de la precipitación, especialmente en el escenario de alta emisión, podría tener repercusiones negativas sobre los procesos ecológicos del ecosistema. La alteración de los ciclos fenológicos, como la floración, la fructificación y la dispersión de semillas, afectaría la reproducción, la supervivencia de las poblaciones y la perpetuación del ecosistema. Los cambios en los patrones de lluvia impactarían directamente la estructura, composición y dinámica del Bn.

Precipitación, temperatura y funcionamiento ecológico:

El aumento de la temperatura también afectaría el funcionamiento ecológico del Bn. Se observaría una incidencia negativa en la actividad de los descomponedores, la acumulación de detritus, las respuestas fenológicas, la regeneración natural y las tasas de evapotranspiración. Las magnitudes de aumento de temperatura previstas para el Bn, coincidentes con las del IPCC²⁷, podrían desencadenar efectos en cascada como el aumento de la probabilidad de incendios forestales e incidencias de plagas y enfermedades.

El Bn ha desarrollado una estera radical como un eficiente mecanismo adaptativo para el ciclaje de nutrientes y la absorción y retención del agua. En este ecosistema, la mayor parte de los nutrientes se encuentran almacenados y circulando dentro de la biomasa²⁸. Su existencia depende de un contenido suficiente de humedad ambiental y actúa como un eficiente mecanismo de conservación y reciclaje de los nutrientes. Este bosque posee una gran cantidad de raicillas finas, concentrando la actividad nutricional en la descomposición del material orgánico en descomposición.

Este bosque depende de la estera radical y del mantillo para su supervivencia. Su ciclo de liberación de nutrientes es muy lento, lo que implica una baja productividad. La estera radical permite el desarrollo del Bn en condiciones ambientales altamente estresantes. Es importante destacar que los ecosistemas donde la estera radical es el principal mecanismo de supervivencia son altamente frágiles. Su formación toma mucho tiempo y su destrucción rompe la vía de alimentación, dejando a la vegetación sin posibilidades de subsistencia²⁸. Cualquier perturbación prolongada de las variables climáticas analizadas podría ocasionaría un daño irreparable a este eficiente mecanismo adaptativo.

Escenario climático de alta emisión:

Se proyecta que para 2100, en un escenario de alta emisión, el aumento de la temperatura media anual y la disminución de la precipitación en más de 300 mm anuales podrían tener efectos sinérgicos y negativos sobre el funcionamiento ecológico del Bn. Esta interacción intensificaría el riesgo para este ecosistema, afectando negativamente los procesos de fotosíntesis, evapotranspiración y dinámica del Bn. La capacidad de adaptación del ecosistema se vería comprometida, con el consecuente riesgo de pérdida de biodiversidad y alteración de los servicios ecosistémicos que este proporciona.

Impactos:

La sinergia de los factores analizados anteriormente amenaza con destruir el Bn como ecosistema viable, ocasionando la pérdida de su biodiversidad asociada y un impacto negativo en sus servicios ecosistémicos. Los resultados sugieren que el cambio climático tendrá repercusiones significativas en su funcionamiento ecológico, incluso en un escenario de mitigación, el cual, si bien es menos drástico, también podría generar alteraciones importantes en el ecosistema. Este estudio resalta la urgente necesidad de implementar medidas para minimizar los efectos del cambio climático y proteger la integridad de estos ecosistemas, los cuales son altamente vulnerables a los potenciales cambios ambientales.

Conclusiones

- Los análisis de los escenarios climáticos pronostican una reducción significativa de las superficies de bosque nublado, principalmente debido al aumento de la temperatura y la alteración en la distribución y frecuencia de las precipitaciones. Para finales de siglo XXI, bajo escenarios de mitigación, se espera una drástica reducción del hábitat del bosque nublado. Sin embargo, en escenarios de alta emisión, donde estas dos variables experimentan cambios más severos, se proyecta la pérdida total del área de idoneidad ecológica del Bosque nublado, lo que conduciría a su desaparición.
- El cambio climático, caracterizado por el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones, podría tener un impacto significativo sobre el funcionamiento ecológico del Bosque nublado, según los resultados del presente estudio. Se anticipa una reducción en la productividad primaria, la diversidad de especies y la resiliencia del ecosistema. La alteración en la dinámica del agua y la temperatura afectaría negativamente la fenología, la composición florística y la estructura del bosque. La implementación de medidas para proteger estos ecosistemas frágiles es crucial.

Author Contributions: Las contribuciones realizadas por los autores se detallan a continuación en la siguiente declaración: la conceptualización de la investigación, la metodología, el manejo de

software, la investigación, los recursos, escritura original, revisión de literatura de apoyo y la dirección y administración del proyecto fueron realizados por el autor: Euclides Fornaris Gómez. La validación, análisis formal, revisión de datos, escritura revisión y edición y supervisión fueron sido realizadas por los autores; Orlando Joel Reyes Domínguez y Luz Margarita Figueredo Cardona. Ambos autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito

Funding: Esta investigación no recibió financiamiento externo. La misma fue financiada con recursos del propios.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional: La investigación contenida en este manuscrito forma parte de una tesis doctoral del autor Euclides Fornaris Gómez, la cual ha sido revisada y aprobada por el Consejo Científico de la institución de origen.

Informed Consent Statement: No aplicable.

Data Availability Statement: Los datos originales necearaios para la conformación del clima de referencia, así como los datos del clima futuro, están publicados en el sitio web de WorldClim (Historical climate data: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html#> y Future climate data: <https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>).

Acknowledgments: Los autores agradecen al Consejo Científico del Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (Bioeco) y a la Dra.C. Liliana Gómez Luna del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) por la revisión y acertadas recomendaciones.

Conflicts of Interest: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

1. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
<https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
2. United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Adaptation Gap Report 2023: Underfinanced. Underprepared. Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed.* Nairobi.
<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43796>

3. Abdissa, T., T. Adugna, F. Saathoff & A. Gebissa. (2023). Evaluation of General Circulation Models CMIP6 Performance and Future Climate Change over the Omo River Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 15(8), 6507.
<https://doi.org/10.3390/su15086507>
4. IPCC. (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change. 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. 3 949 pp.
5. Firpo, M. Â, BdS. Guimarães, L. G. Dantas, M. G. Barbosa da Silva, L. M. Alves, R. Chadwick, M. P. Llopart & GSd., Oliveira. (2022). Assessment of CMIP6 models performance in simulating present-day climate in Brazil. *Frontiers in Climate*. 4:948499. 27 pp.
<https://doi: 10.3389/fclim.2022.948499>
6. Viña, N. y colectivo de autores. (2000). *Diversidad biológica del macizo montañoso Sierra Maestra. Programa Científico-Técnico Nacional Desarrollo Sostenible de la Montaña. Tomo 1. Bioeco, Santiago de Cuba. (Inédito).*
7. Mateo, J. M., M. Celeiro, P. Acevedo & D. Hernández. (2019). *Regionalización del Paisaje. En Atlas Nacional de Cuba LX Aniversario, Sección 2 Naturaleza, Epígrafe 2.9 Paisaje. Instituto de Geografía Tropical, La Habana. Formato digital (multimedia).*
8. Borhidi, A. (1991). *Phytogeography and Vegetation Ecology of Cuba. Akadémiai Kiadó. Budapest. 857 pp.*
9. Castillo, R., R. Montero, J. Amador & A. M. Durán. (2018). Cambios futuros de precipitación y temperatura sobre América Central y el Caribe utilizando proyecciones climáticas de reducción de escala estadística. *Revista de Climatología*. Vol. 18:1-12.
10. Plumptre, A., D. Baisero, R. Travis et al. (2021). *Where Might We Find Ecologically Intact Communities?. Edited by Center for International Forestry Research (CIFOR), Indonesia. Vol 4. 13 pp.*
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.626635>
11. Rodríguez, H. (2021). ¿Quedan rincones vírgenes la Tierra? No más de un 3 % según un nuevo estudio. *National Geographic (España).*

12. IPCC. (2011). Summary for Policymakers, en: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., Midgle, P.M. (Eds).
13. Hong, J., X. Lu., X. Ma & X. Wang. (2021). Five-year study on the effects of warming and plant litter quality on litter decomposition rate in a Tibetan alpine grassland. *Science of The Total Environment*. 750. 142306.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142306>
14. Tian, L., Y. Tao, W. Fu, F. Ren & M Li. (2022). Dynamic Simulation of Land Use/Cover Change and Assessment of Forest Ecosystem Carbon Storage under Climate Change Scenarios in Guangdong Province, China. *Remote Sens*. 2022, 14(10), 2330.
<https://doi.org/10.3390/rs14102330>
15. Fuentes, I., L. González-Oliva, I. Baró, M. T. González & C. A. Mancina. (2019). Efecto potencial del cambio climático sobre la distribución de plantas asociadas a bosques húmedos del oriente de Cuba. *Acta Botánica Cubana*. ISSN 2519-7754 RNPS 2402. Vol. 218, No.2 (julio-diciembre): 160-170.
16. Beyris, A., J. Reyes, J. Costa & A. González. (2020). Efectos del incremento de la temperatura debido al cambio climático en la Pluvisilva montana en la Reserva de la Biosfera Baconao, Cuba Suroriental. *Ciencia en su PC*, vol. 1(3). pp. 18-35.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181365138002>
17. Fick, S. E. & R. J. Hijmans. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
18. WorldClim. 2024. Future Climate Data.
https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.ht
19. GEOCUBA. 2014. Mapa topográfico de la República de Cuba. Shapefiles de ArcGIS. GEOCUBA.
20. Iturbide, M., J. Fernández, J. M. Gutiérrez, J. Bedia, E. Cimadevilla, J. Díez-Sierra, R. Manzanás, A. Casanueva et al. (2021). Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas. Zenodo.
DOI: 10.5281/zenodo.3691645
Disponible en: <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas>

21. Swart, N. C., J. Cole, N. S. Jason; V. V. Kharin, M. Lazare, J. F. Scinocca, N. P. Gillett, P. Nathan, J. Anstey, V. Arora, J. R. Christian, Y. Jiao, W. Lee, F. Majaess, O. A. Saenko, C. Seiler, C. Seinen, A. Shao, L. Solheim, K. von Salzen, D. Yang, B. Winter, M. Sigmond. (2019). CCCma CanESM5-CanOE model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp585. Version 2022. Earth System Grid Federation.
<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.10276>
22. Hajima, T., M. Watanabe, A. Yamamoto, H. Tatebe, M. A. Noguchi, M. Abe, R. Ohgaito, A. Ito, D. Yamazaki, H. Okajima, A. Ito, K. Takata, K. Ogochi, S. Watanabe and M. Kawamiya. (2020). Development of the MIROC-ES2L Earth system model and the evaluation of biogeochemical processes and feedbacks, *Geosci. Model Dev.*, 13. pp. 2197-2244.
doi.org/10.5194/gmd-13-2197-2020
23. Gutiérrez, J. M., R. G. Jones, G. T. Narisma, L. M. Alves, M. Amjad, I. V. Gorodetskaya *et al.* (2021). Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Interactive Atlas.
Disponibile en: <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
24. Reyes, O., E. Portuondo, V. Elena & E. Fornaris. (2011). Características fisonómicas y funcionales del bosque nublado de la Sierra Maestra. *Moscosa* 17. pp. 138-149.
25. Brodie, J., K. Redford & D. Doak. (2018). Ecological Function Analysis: Incorporating Species Roles into Conservation. *Trends in Ecology & Evolution*. 33.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.08.013>.
26. Montenegro, U. (1990). Temperatura media anual. En *Atlas de Santiago de Cuba*. p. 26.
27. IPCC. (2019). Resumen para responsables de políticas. En: *El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres* [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira,

- P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)). 40 pp. ISBN 978-92-9169-354-2
28. Reyes, O. J. & E. Fornaris. (2011). Características funcionales de los principales bosques de Cuba Oriental. En Polibotánica. México. No. 32. pp. 89-105.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000200005&lng=es.
29. Meehl, G. A. (2023). The Role of the IPCC in Climate Science. National Center for Atmospheric Research. 35 pp.
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.933>
30. Reyes, O., E. Portuondo, V. Elena & E. Fornaris. (2011). Características fisonómicas y funcionales del bosque nublado de la Sierra Maestra. En Moscosoa 17. pp. 138-149.
En: <https://www.redalyc.org/pdf/497/49719770002.pdf>

/ Received: 18 June 2024 | Accepted: 26 August 2024 | Published: 15 September 2024 |

Citation: *Fornaris-Gómez, E., Reyes-Domínguez, O., Figueredo-Cardona, L. Impactos del cambio climático en la integridad funcional del Bosque nublado de la Sierra Maestra, Cuba. Bionatura. 2024; Volume (9). No 3.*

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 Caracterización ambiental del ecosistema marino-costero bahía de Guantánamo en Cuba

Environmental characterization of the marine-coastal ecosystem of Guantánamo Bay in Cuba

Anielis García González ^{1*}, Liliana María Gómez Luna ², Yinet Marzo Manuel ³, Esvillel Ferrer Pozo ⁴

¹Subdelegación de Medio Ambiente, Delegación Territorial CITMA, Guantánamo, Cuba; anielis1975@gmail.com. ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-8293-3960>)

²Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Universidad de Oriente. Laboratorio de Ecotoxicología y Servicios Ambientales. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>

³Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Guantánamo. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6605-5838>

⁴Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Guantánamo. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1011-7424>

* Correspondence: anielis1975@gmail.com; Tel.: + 53 53210655

DOI:

Resumen

Se presenta un diagnóstico de la situación ambiental actual de la Bahía de Guantánamo, Cuba y sus áreas de influencia, considerando el análisis de las principales características, problemas, conflictos, impactos ambientales y temas claves de gestión. Se utilizaron diagnósticos situacionales con un enfoque de gestión de riesgos, aplicando la metodología del estudio de escenarios previos al desastre. Se describieron los usos, recursos y acciones modificadoras del ecosistema; se desarrolló el modelo de taxonomía de los usos de la bahía y se desarrollaron matrices cualitativas de interacción e impacto. En la bahía confluyen múltiples conflictos, el escenario de gestión es complejo debido a los conflictos jurisdiccionales, que dividen el ecosistema en dos lóbulos: el externo, bajo jurisdicción norteamericana, y el lóbulo interno, que corresponde a jurisdicción cubana, separados por una barrera física. Este hecho confiere singularidad al ecosistema y su gestión, pero también una vulnerabilidad ambiental, y la imposibilidad de un análisis integral. La contaminación es un tema clave en el lóbulo interno del ecosistema. En esta zona existen conflictos de intereses y vacíos de información científica, lo que limita el manejo del ecosistema. Se identificaron los principales impactos; principalmente

asociado a la contaminación del agua, siendo relevante la alta vulnerabilidad social, demostrando que las acciones humanas a nivel de cuenca influyen negativamente en la integridad del ecosistema.

Palabras clave: gestión costera; conflictos; calidad ambiental

Abstract

A diagnosis of the current environmental situation of Guantánamo Bay, Cuba and its influences areas is presented, considering the analysis of the main characteristics, problems, conflicts, environmental impacts and key management issues. Situational diagnoses were used with a risk management approach, applying the pre-disaster scenario study's methodology. The uses, resources and modifying actions on the ecosystem were described; developing the taxonomy model of the bay uses, and qualitative interaction and impact matrices were developed. Into the bay multiple conflicts converge, the management scenario is complex due to the jurisdictional conflicts, which divide the ecosystem into lobes: the external one under North American jurisdiction and internal lobe, which correspond to Cuban jurisdiction, separated by a physical barrier. This fact gives uniqueness to the ecosystem and its management, but also an environmental vulnerability, and the impossibility of integral analysis. The contamination is a key issue in the internal lobe of the ecosystem. In this zone, there are conflicts of interest and scientific information gaps, which limits the ecosystem management. The main impacts were identified; mainly associate to water contamination, being relevant the high social vulnerability, demonstrating that human actions at the basin level influence negatively in the ecosystem integrity.

Keywords: coastal management; conflicts; environmental quality

Introduction

El aumento de las amenazas y los riesgos relacionados con el cambio climático, convierten las áreas costeras en zonas altamente vulnerables bajo los perfiles tanto socio-económicos como físicos – naturales (1,2). Debido a su dinamismo, papel socio-económico estratégico, variedad de usos y presiones, y problemas como el nivel de contaminación, la pérdida de la biodiversidad (3), los cambios de uso de suelo, la deforestación, sobreexplotación de recursos, introducción de especies exóticas invasoras, destrucción o fragmentación de hábitats (arrecifes, pastos marinos, manglares, humedales, vegetación hidrófila y dunas) (4) las bahías son ecosistemas costeros muy vulnerables. Estas ocupan un lugar especial, en términos de desarrollo, y están sometidas a un acelerado ritmo de deterioro (5, 6).

Entre las bahías priorizadas de Cuba, por su importancia socioeconómica y ambiental se encuentra la bahía de Guantánamo; una de las más grandes de la región, con un área total de 122 km², de los cuales 59 km² corresponden a los lóbulos interiores, bajo jurisdicción cubana (7). Este ecosistema localizado

en la costa suroriental de Cuba presenta características ecológicas y geográficas únicas, y un mosaico de hábitats relativamente extensos, entre los que destacan manglares, pastizales y arrecifes de coral. Debido a sus múltiples conflictos, incluido el jurisdiccional, esta es una zona especial, ocupada parcialmente por una base militar de los Estados Unidos de América (EUA), lo que, sin dudas, tiene implicaciones en su manejo.

Los problemas ambientales que hoy presenta la bahía de Guantánamo, en su mayoría provienen de las actividades y presiones humanas, además de la incidencia de los fenómenos naturales. Además, es relevante el enfoque integrador del manejo de zonas costeras y de cuencas, por su interdependencia y, en este caso específico, la influencia de los procesos de la cuenca hidrográfica, de primer orden, Guantánamo-Guaso y otras cuencas de 2^{do} orden como Hondo y Seco (8) es relevante en términos causales, asociado a su gran deterioro.

El objetivo de la investigación fue caracterizar la situación ambiental actual que presenta el ecosistema marino costero bahía de Guantánamo (lóbulos interiores), con la integración de categorías de riesgo, análisis de los problemas e impactos ambientales, conflictos, vulnerabilidades, amenazas y asuntos claves de manejo.

Materials and methods

Tipo de estudio y referentes teóricos

Se realizó un estudio exploratorio y de intervención, en el período comprendido entre septiembre de 2017 y diciembre de 2023, para evaluar los principales impactos de la contaminación ambiental en la bahía de Guantánamo, considerando análisis previos de la calidad del agua, así como aspectos sociodemográficos, económicos y ambientales de los lóbulos interiores (jurisdicción cubana).

El referente metodológico asumido en la investigación fue el propuesto por Gómez et. al, 2020 (9) modificado; siguiendo los pasos recomendados por la metodología de Manejo Integrado de Zonas Costeras de Colombia (COLMIZC) (10), a partir de la cual se toman las etapas de preparación, caracterización (general) y diagnóstico (socio-ambiental) del área; las que corresponden, a su vez con la etapa 1 propuesta por el Grupo de Expertos sobre los aspectos científicos para la protección ambiental marina (GESAMP) (11, 12). Se consideró además el enfoque desde las políticas públicas a la gestión de costas y mares a partir del llamado Decálogo para la Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) desarrollado por Barragán, aplicado al contexto cubano (13).

Se incluye el análisis previo de los problemas ambientales y conflictos, y la elaboración de matrices de interacción e impactos (14). Se consideran las dimensiones ambiental, sociocultural, económica-productiva y física a nivel local, municipal, territorial, provincial y nacional, así como las amenazas reales y los impulsores de riesgos (Figura 1).

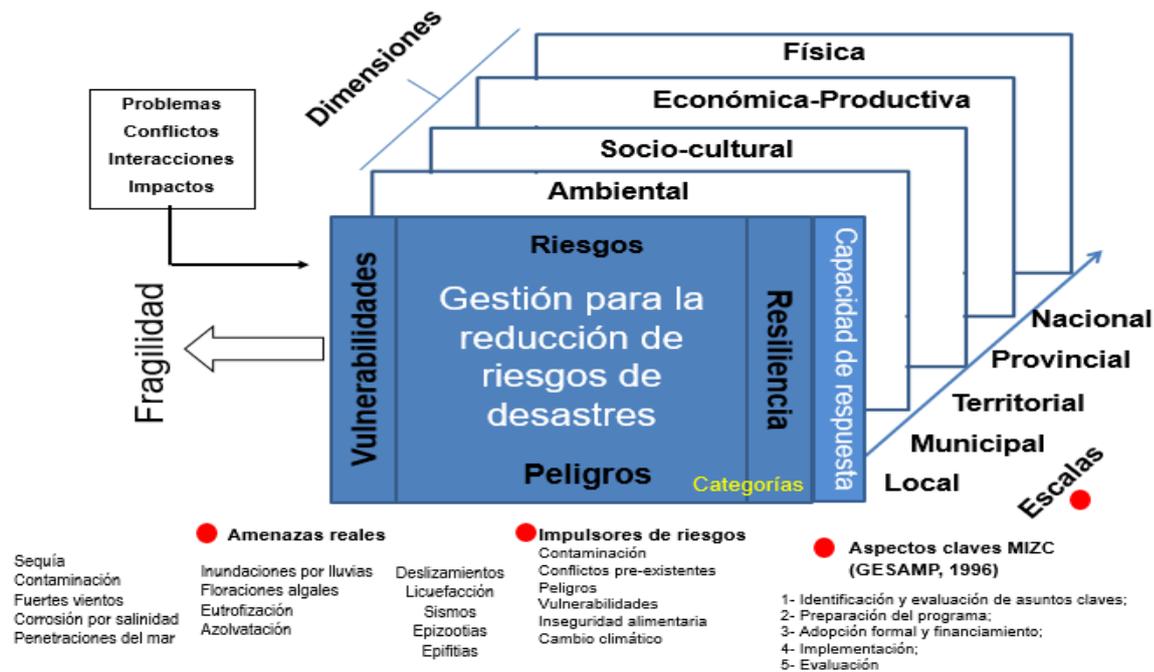


Figura 1. Categorías, dimensiones y escalas en el proceso de gestión para la reducción de riesgos de desastres (Modificado a partir de Gómez et. al, 2020) (9).

8.1 Ubicación, delimitación y descripción del área de estudio

La bahía de Guantánamo constituye el accidente geográfico más importante de la provincia homónima y de la costa sur oriental de Cuba. Limita al Norte con las terrazas aluviales de los ríos Guaso y Hondo, al Sur con el Mar Caribe, al Este con las alturas de Boquerón y al Oeste con las alturas de Hatibonico (15). El ecosistema tiene un largo y un ancho máximos de 20 y 9 km, respectivamente (16); su relieve submarino presenta una profundidad estimada de 60 m aproximadamente en la entrada, y luego asciende abruptamente hasta los 14 m de profundidad, para después elevarse con una pendiente suave.

En la jurisdicción cubana la mayor profundidad es de 12,8 m, la que disminuye de forma progresiva hacia el N, en dirección a las ensenadas de Joa y Cerro Guayabo, en las que el relieve es aplacerado (17). El ecosistema tiene en general, características naturales especiales que le confieren valores excepcionales debido a su profundidad, seguridad y capacidad para recibir grandes flotas (18).

Para la delimitación del área estudio se utilizó el Decreto- Ley no. 77 “De Costas” del año 2023 (19); el cual establece las disposiciones para la delimitación, protección y uso sostenible de la zona costera y su zona de protección, conforme a los principios del manejo integrado, entendida ésta como la franja marítimo-terrestre de ancho variable, donde se produce la interacción de la tierra, el mar y la atmósfera, mediante procesos naturales. En la misma se desarrollan formas exclusivas de ecosistemas frágiles y se manifiestan relaciones particulares económicas, sociales, ambientales y culturales (19).

Los límites del área de estudio se establecieron atendiendo a la estructura y configuración de los distintos tipos de costas que la conforman. Costa baja de manglar: con un límite hacia tierra dado por la penetración máxima del bosque de mangle. En el caso de las playas, el límite establecido fue la línea ubicada a 40 m hacia tierra, medidos a partir del inicio de la franja de vegetación natural consolidada más próxima al mar; para la desembocadura de los ríos (Guantánamo, Guaso, Hondo y Seco) la zona costera se extendió trescientos metros en línea recta hacia tierra. Se consideraron, además, los límites en la costa acantilada, cuya cima no está afectada por las marejadas o penetraciones del mar, estableciendo 20 metros hacia tierra (Figura 2).

Para la confección de los esquemas de representación se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis Versión 10.2, con una escala de 1: 200 000 de las capas cartográficas elaboradas por el Grupo Empresarial GEOCUBA (relieve, asentamientos humanos, división político-administrativa y línea de costa), según Proyección Cónica Conforme de Lambert- Cuba Sur.

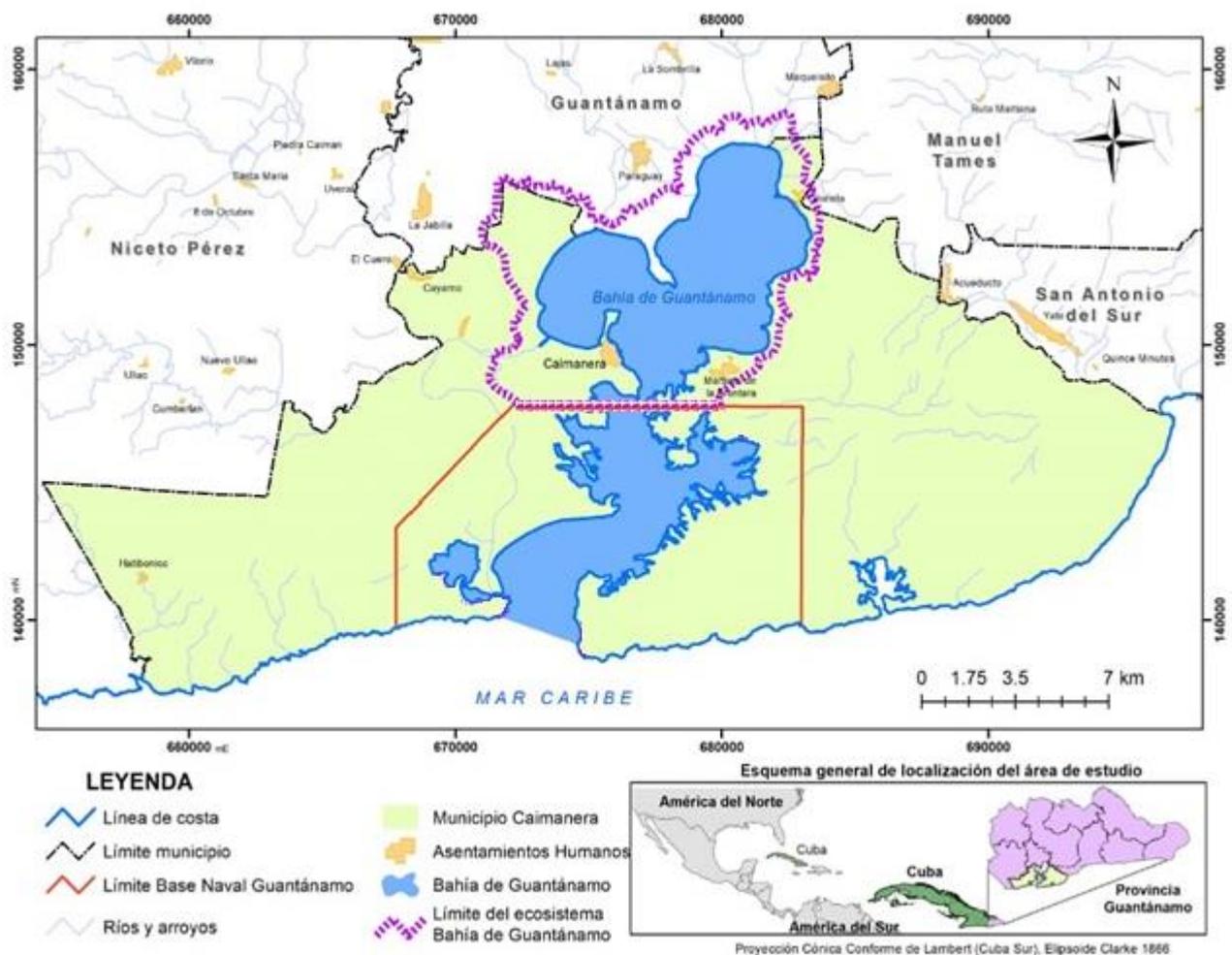


Figura 2. Delimitación del área de estudio: ecosistema marino costero Bahía de Guantánamo, Cuba
Elaborado por M.Sc. Anielis García González y M.Sc. Yinet Marzo Manuel

La bahía posee una doble administración política; sin embargo, el estudio sólo se limita al territorio cubano, si bien se pueden considerar comparaciones específicas entre ambas zonas jurisdiccionales, con el objetivo de realizar una aproximación al enfoque integrado.

Metodología

El trabajo se realizó en tres etapas: delimitación del área de estudio (19), análisis histórico de la contaminación ambiental del ecosistema mediante el estudio de publicaciones e informes no publicados sobre la calidad del agua en el acuatorio en 2022 y 2023. Además, se realiza un muestreo para conocer la situación ambiental actual, en la Figura 3 se muestra el diagrama metodológico de la investigación.

ESQUEMA METODOLÓGICO

Estudio exploratorio, descriptivo, experimental

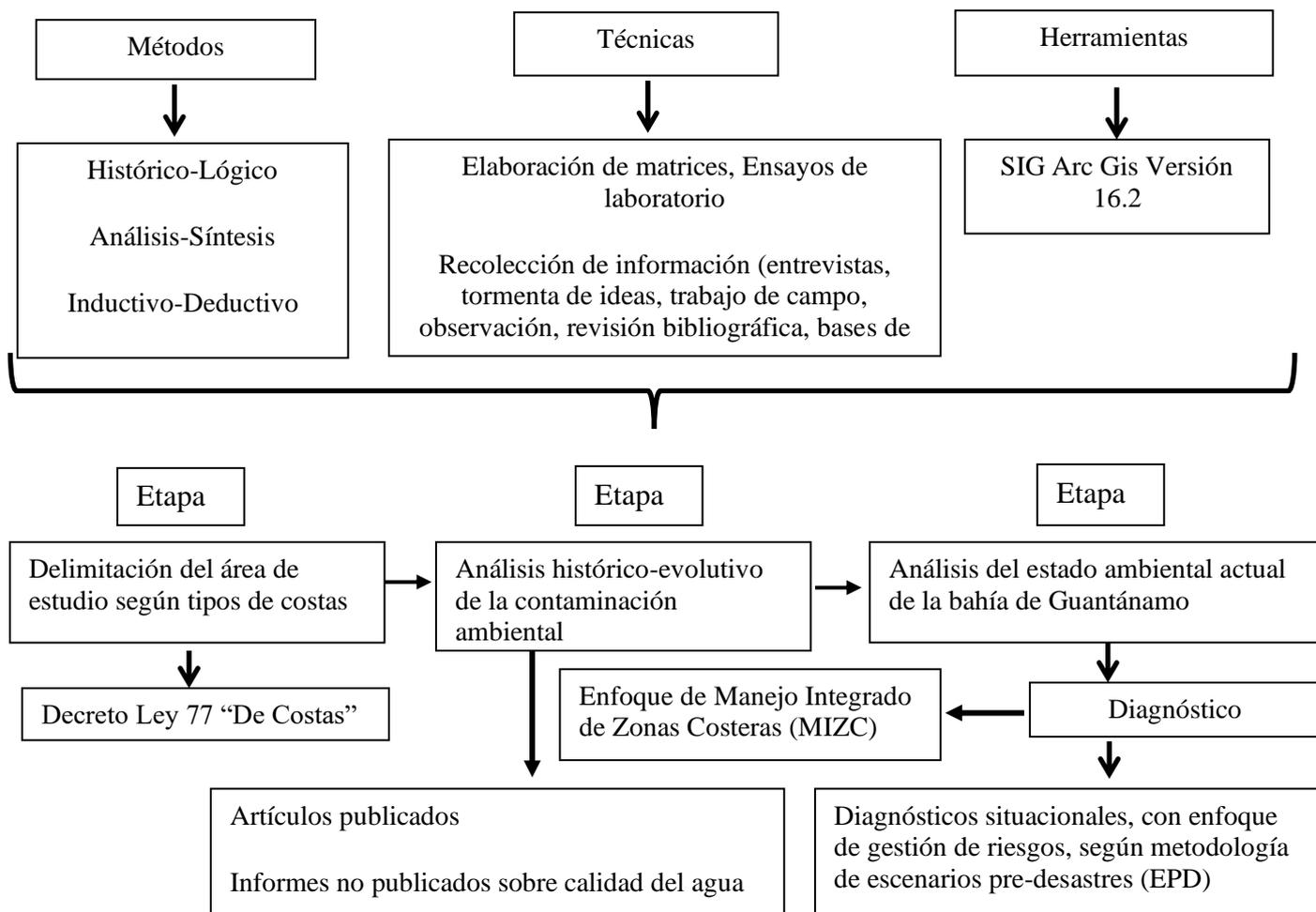


Figura 3. Diagrama metodológico de la investigación

Caracterización y diagnóstico

Se realizó la caracterización de la zona, teniendo en cuenta que la misma es un espacio físico-biogeográfico, social, económico y cultural (20). Se consideraron diferentes criterios para dicha caracterización, reconociendo que el ambiente urbano es la conjunción de varios subsistemas en los cuales se producen múltiples interacciones (4,21,22).

Se realizan viajes exploratorios, talleres, entrevistas y grupos focales, para definir y precisar los intereses de cada uno de los actores claves. El criterio de selección de los principales focos contaminantes fue la categoría de cuerpos receptores, carga contaminante generada y dispuesta, así como la ubicación de acuerdo a su cercanía a fuentes de abasto de agua, zonas de protección sanitaria

y bahías, según información disponible en la Subdelegación de Medioambiente de la Delegación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) de la provincia Guantánamo.

Se identificaron usos, recursos y acciones modificadoras sobre el ecosistema; elaborando el modelo de taxonomía de usos para la bahía. (23) Se elaboraron matrices cualitativas de interacción e impacto (14, 24), a partir de la consolidación de un mínimo de 15 matrices realizadas en diferentes horarios y períodos.

Análisis de la evolución ambiental del ecosistema

Se realizó un análisis de la evolución ambiental del ecosistema considerando antecedentes relevantes sobre caracterización de agua, a partir de diferentes fuentes (6,25,26), así como el conocimiento de la tendencia y estado actual del ecosistema, a través de un análisis evolutivo que incluye los resultados de los análisis realizados para evaluar la situación actual (2023). Los análisis evolutivos se realizaron a partir de la data histórica existente de parámetros físico-químicos y biológicos disponibles.

Identificación y jerarquización de problemáticas ambientales y niveles de percepción

Se identifican problemas ambientales a partir de viajes exploratorios y entrevistas a profesionales involucrados en la gestión ambiental de la provincia de Guantánamo. Los instrumentos fueron diseñados a partir de preguntas abiertas (27) relacionadas con la identificación de problemas socio-ambientales y la percepción sobre la incidencia de la calidad ambiental en el bienestar social, lo que facilitó el diagnóstico situacional realizado, el que consideró el enfoque de manejo integrado de zonas costeras (MIZC) (28).

El enfoque sistémico-estructural-funcional (29,30) fue utilizado para relacionar las causas, problemas e impactos, y a partir de esta información se elaboró un diagrama de interrelación de impactos, utilizándose como referente metodológico los trabajos de Gómez *et al.* (2009) (31). Los problemas fueron agrupados, definiendo y jerarquizando varias problemáticas (22,31), todo lo que permitió identificar prioridades o asuntos claves de manejo.

Resultados

Caracterización y diagnóstico

La bahía de Guantánamo es un ecosistema semiárido ubicado al Sur de la cuenca Guantánamo Guaso, con una ciénaga costera de unas 1455,68 ha. Posee un clima semidesértico, siete meses con registros inferiores a los 60 mm, cinco de ellos en formas consecutivas e inferiores a 40,0 mm, desde diciembre hasta abril. Presenta una precipitación media anual de 646,0 mm y una marcada distribución estacional con el 65,8 % del acumulado anual en el período mayo-octubre (32). Esta bahía constituye

el cierre de la estructura geológica depresión Guantánamo, la que presenta características que se relacionan con las particularidades de la zona geosinclinal Caribe de plegamiento alpino. Está situada en los límites de la parte Oriental del sinclinorium central, formado por una importante capa de sedimentos terrígenos carbonatados y terrígenos del paleógeno y post paleógeno (33).

Destaca por la presencia de diferentes condiciones de acumulación de los sedimentos y su compleja estructura tectónica debido a la acción de procesos neotectónicos de diferentes direcciones y tiempo sobre el territorio, además, por la situación de la cuenca de Guantánamo entre las zonas estructuro-faciales Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, y el surgimiento de una tectónica reciente de variada intensidad. La edad de las rocas según el corte litológico oscila entre el eoceno y el cuaternario (33). La vegetación típica son los matorrales espinosos semidesérticos costeros, matorrales secundarios xerofíticos y suculentas, herbazal de ciénaga y manglares (34). Los suelos son muy poco agro-productivos (35), y el factor degradativo fundamental es la salinidad (36).

En la zona de estudio se asienta una población aproximada de 8681 habitantes, distribuidos en el municipio Caimanera, en los asentamientos Glorieta, Boquerón y Caimanera (37), declarándose que unos 2345 habitantes (27%) reciben el impacto directo de la región semiárida de Guantánamo (38).

Entre las principales actividades económicas asociadas a los recursos del humedal, destacan la esfera de los servicios, específicamente la industria salinera y pesquera (37). La elaboración de sal se realiza por evaporación solar en extensas áreas ubicadas en el litoral, en las ensenadas Joa y Cerro Guayabo, se encuentran en esta zona la mayor salina del país con 120,0/50,0 (T/año) de sal extraída y elaborada respectivamente (39, 40). Existe una actividad turística limitada debido a los conflictos jurisdiccionales, por lo que se permite la entrada con restricciones a estos asentamientos; la principal infraestructura es el Hotel "Caimanera", de la Cadena Isla Azul.

La actividad marítimo-portuaria está dentro de las fuentes no puntuales de contaminación de la bahía ya que la actividad en el puerto de Boquerón (único en la rada) se encuentra deprimida, según se constata en informes del CITMA (41) y en entrevistas realizadas a autoridades del territorio. No obstante, se explica que esta se basa en el cabotaje con embarcaciones de 2000 T y patanas de 800 T (41), dedicadas a la transportación de productos alimenticios, materiales de la construcción y exportación de sal, fundamentalmente (41).

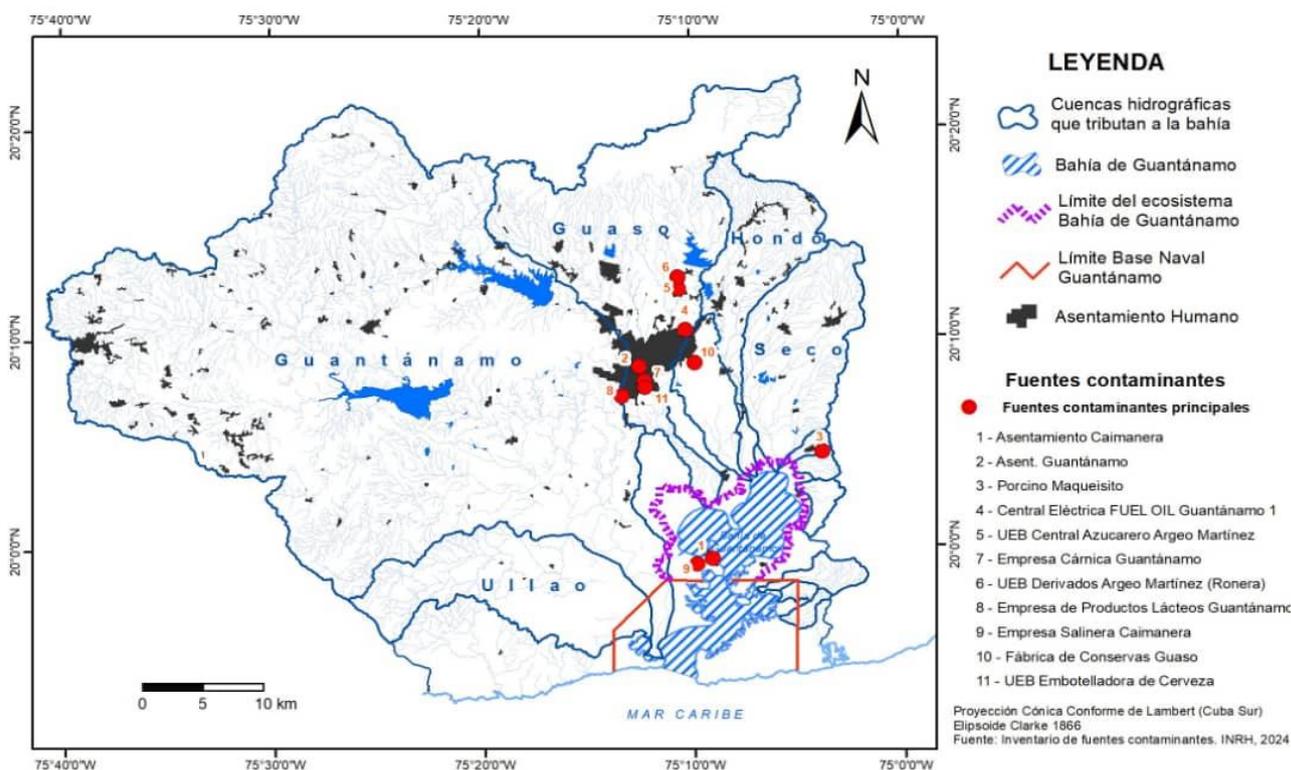
La transportación por tierra se realiza a través de las vías de acceso que están en buen estado, desde la cabecera provincial (Ciudad de Guantánamo): la "Vía Azul" (Carretera Guantánamo-Baracoa, sector oriental de la bahía); y la vía "Ciudad de Guantánamo-Caimanera", que comunica el sector occidental de la misma. La tipología de los asentamientos de Glorieta, Boquerón y Caimanera, como asentamientos humanos, clasifican en la categoría de pueblos, atendiendo al rango de población

existente en todo el municipio (42), por lo que 10608 habitantes cuentan con transporte colectivo (ómnibus y tren). Existe, además, una ruta marítima entre Caimanera y Boquerón, recorrida por una patana (embarcación) (37).

El deterioro de la calidad del agua de los ríos que vierten a la bahía se relaciona con la existencia de numerosas fuentes contaminantes que descargan en la cuenca, identificándose 11 fuentes contaminantes que afectan a la bahía de Guantánamo, del total existente en la cuenca hidrográfica Guantánamo-Guaso (43). En la Tabla 1 y Figura 4 se muestran las fuentes contaminantes priorizadas que inciden en el ecosistema.

Tabla 1. Fuentes contaminantes priorizados que descargan sus residuales a la bahía de Guantánamo

Fuentes Contaminantes	Principales Residuos (tipos)
Asentamiento Caimanera	Excretas humanas, Aguas de Lavado con Detergente y desechos de alimentos
Asentamiento Guantánamo	Excretas humanas, Aguas de Lavado con Detergente y desechos de alimentos
Porcino Maqueisito	Desechos de alimentos, Excretas Humanas, Aguas de Lavado con Desinfectantes y Detergentes
Central Eléctrica FUEL OIL Guantánamo 1	Compuestos Tóxicos Hidrocarburos (Diésel), Grasas, Desechos de Alimentos, Excretas humanas
Unidad Empresarial de Base (UEB) Central Azucarero Argeo Martínez	Hidrocarburos, Grasas, Mieles, Alcoholes, Productos Químicos (Tóxicos), Agua de Lavado con Detergentes, Desinfectantes
UEB Derivados Argeo Martínez (Ronera)	Sustancias Químicas, Alcoholes, Grasas, Detergentes
Empresa Cárnica Guantánamo	Grasas, Aguas de Lavado con Detergentes, Hidrocarburos, Desinfectantes
Empresa de Productos Lácteos Guantánamo	Grasas, Aguas de Lavado con Detergentes, Hidrocarburos, Desinfectantes
Empresa Salinera Caimanera	Grasas, Aguas de Lavado con Detergentes, Hidrocarburos, Desinfectantes
Fábrica de Conservas Guaso	Grasas, Aguas de Lavado con Detergentes, Hidrocarburos, Desinfectantes
UEB Embotelladora de Cerveza	Químicos, Aguas de Lavado con Detergentes



8.2

Figura 4. Fuentes contaminantes priorizadas que afectan la calidad del agua de la bahía de Guantánamo. [Fuente: Elaboración propia](#)

8.3 Principales ecosistemas, recursos, usos e interacciones

La cuenca Guantánamo-Guaso ocupa una superficie total de 2 347,2 km². En el área de estudio, además de la bahía, pueden identificarse playas, manglares, matorral xeromorfo costero, con la mayor presencia de matorrales cactáceos, así como una zona boscosa con importantes recursos forestales (24). El ecosistema presenta recursos naturales singulares entre los que se pueden mencionar aves, reptiles, e importantes recursos pesqueros como: moluscos (*Melongena melongena*) (44), jaibas (*Callinectes sapidus* y *C. similis*) y peces (lisas- *Mugilcephalus*, corvinas- *Micropogonias furnieri*, mojarras- *Diplodus vulgaris*, pataos- *Diapterus rhombeus*, *D. auratus*, chopas- *Spondylios omacantharus*, boquerones- *Opisthognathus spp.* y machuelos- *Opisthonema oglinum*). Algunas de estas especies han sido reportadas en ambos lóbulos (externos e interno) (45).

En la Tabla 2 se presenta la matriz de interacción entre los 13 usos identificados. De las 169 interacciones potenciales relevantes del área de estudio, solo se constatan 134 para un 79,28%.

Tabla 2. Matriz de interacción entre usos

Usos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Pesca	NA	Verde											
2. Recreación y deporte	Verde												
3. Navegación	Verde												
4. Portuario	Verde												
5. Transporte terrestre	Verde												
6. Transporte marítimo	Verde												
7. Industrial	Verde												
8. Turístico	Verde												
9. Protección y defensa	Verde												
10. Asentamiento poblacional	Verde												
11. Arqueológico	Verde												
12. Disposición de residuales	Verde												
13. Investigación/Conservación	Verde												

Leyenda: Verde: Compatibles, Rojo: Incompatibles, Amarillo: Compatibilidad con restricciones, NA: no aplica

El 6,71% de las 134 interacciones reales no son compatibles, lo que sin dudas genera conflictos en el ecosistema, asociados fundamentalmente a la disposición de residuales y el uso industrial, y se adiciona un alto porcentaje de interacciones que muestran compatibilidad con restricciones (49,25%). Ello viene dado, fundamentalmente, por el conflicto jurisdiccional. El 44,02% de las interacciones son de total compatibilidad.

El uso de mayor conflicto fue la disposición de residuales vs uso pesquero, recreación y deporte, industrial, turístico y asentamientos poblacionales. En la Tabla 3 se presenta la taxonomía de los usos de recursos principales del ecosistema.

Tabla 3. Taxonomía de usos de recursos principales en la bahía de Guantánamo

Uso de recursos	Extractivos		Investigación	Pesquería	Producción de carbón	Etnobotánico (manglar)	Flora y Fauna	Calidad de agua y sedimentos	Geomorfología, procesos y dinámica del ecosistema	4	4
	Vivos	Biológicos									
	No vivos										

		Suelos		
		Industrial	Producción de sal	
	Vivos	Asentamiento de poblaciones	Puertos Caimanera y Boquerón Poblados de Caimanera, Boquerón y Glorieta	4
		Ecosistemas y recursos (Conservación/Protección)	Bosque de manglar Flora y Fauna	
No extractivos	No vivos	Paisajísticos	Bosques de manglares y fauna asociada Paisaje sumergido Patrimonio arqueológico, patrimonio construido	7
		Transportación, viales y líneas férreas Portuario Conflictos jurisdiccionales/ Protección y defensa	Explotación y mantenimiento de carreteras y líneas férreas Explotación de Puertos Ecosistema marino costero Asentamientos poblacionales	
Aditivos	Móviles	Vertimiento de disposición de residuos líquidos y sólidos	Calidad del agua Flora y fauna	2
No uso de recursos	No aditivos	Recreación (Paseos, contemplación, fotografías)	Litoral Bahía Playas Tokio, Náutico, El Cañito Playa Boquerón Playa Glorieta Instalación hotelera Paisaje emergido	8
		Deporte Investigación	Litoral Bahía Zona costera	

Las interacciones y taxonomía de usos explican la complejidad del ecosistema. Siete recursos no aditivos están comprometidos debido a las afectaciones que provocan otros usos, por lo que se necesita un modelo de gestión de riesgos de desastres que considere todas las categorías, tipo y complejidad de dichas interacciones, las que involucran el litoral de la bahía, las playas Tokio, Náutico, El Cañito; los asentamientos Boquerón, Glorieta, la instalación hotelera, y en general la zona costera y el paisaje emergido.

En la Tabla 4 se presenta la matriz cualitativa de impactos (usos vs recursos), en la que se reflejan las diferentes interacciones.

Tabla 4. Matriz cualitativa de impactos (usos vs recursos)

Recursos		Hídricos	Flora y Fauna	Pesqueros	Industriales	Ecosistemas	Humanos
Categorías de uso	Actividades						
Biológicos	Pesquería	●	●	●	▲	●	▲
	Producción de carbón	NA	●	NA	▲	●	▲
	Elaboración de medicamentos naturales (manglar)	●	●	●	▲	●	▲
Investigación/conservación	Estudios de la dinámica de ecosistema	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Estudios de calidad del agua y sedimentos	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Gestión de riesgos	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Asentamientos Poblacionales	Gestión ambiental	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Poblados de Caimanera	●	●	●	▲	●	▲
Recreativo	Poblado Boquerón y Glorieta	●	●	●	▲	●	▲
	Playas: Tokio, Boquerón y Glorieta	●	●	▲	●	●	▲
Industrial	Litoral bahía	▲	▲	▲	●	▲	▲
	Instalación hotelera	●	▲	▲	●	▲	▲
Portuario	Producción de sal	●	●	●	▲	●	▲
	Puertos Caimanera y Boquerón	●	●	●	▲	●	▲
Transportación, viales	Explotación y mantenimiento de carreteras y líneas férreas	NA	●	NA	▲	●	▲
	Paisajísticos y de reserva	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Paisaje emergido, sumergido, patrimonio arqueológico, patrimonio construido	▲	▲	▲	▲	▲	▲

Vertimiento y disposición de residuales	Vertimientos provenientes de asentamientos poblacionales, industrias, agricultura, turismo, vertederos, microvertederos	●	●	●	●	●	●
Protección y defensa	Salvaguarda de la población, manejo de conflictos jurisdiccionales	▲	▲	▲	▲	●	▲
	Total	9●	10●	7●	4●	11●	1●

Leyenda: ▲ Interacciones mutuamente beneficiosas, ● Interacciones potencialmente peligrosas, NA: no aplica

De las 108 interacciones potenciales solo se excluyen 4, lo que significa que se materializa el 96% de estas, de las cuales, el 40% resultan ser potencialmente peligrosas, lo que explica el compromiso de los recursos y servicios ambientales de la bahía, en las condiciones actuales. Los recursos más impactados son los ecosistemas, flora y fauna y los hídricos. Las categorías de uso que mayores interacciones beneficiosas poseen son: investigación/ conservación, recreativo, paisajísticos, de reserva y protección, y defensa. Las actividades que mayores impactos pueden ocasionar son la pesquería, la elaboración de medicamentos naturales que utiliza el manglar; los poblados y playas de Caimanera, Boquerón y Glorieta, la producción de sal, y la actividad portuaria de Caimanera y Boquerón, además de los vertimientos provenientes de asentamientos poblacionales, industrias, agricultura, turismo, incluidos los vertederos y microvertederos.

8.4 Problemas ambientales e impactos

Los problemas ambientales clave en el ecosistema y los impactos asociados identificados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Problemas ambientales e impactos en la bahía de Guantánamo

Problemas ambientales claves	Impactos asociados
1. Deterioro de la calidad del agua e indisponibilidad	– Disminución del valor de uso de la bahía
	– Pérdida de la biodiversidad
	– Aumento de fragilidad del ecosistema
	– Afectaciones en la dinámica del ecosistema
	– Disminución en la calidad de los servicios ecológicos
	– Disminución en la calidad de recursos pesqueros
	– Pérdida de valores paisajísticos

	<ul style="list-style-type: none">– Inseguridad alimentaria– Aumento de conflictos económicos y sociales– Afectaciones a la producción de sal
2. Deterioro condiciones higiénico-sanitarias en asentamientos humanos	<ul style="list-style-type: none">– Afectaciones a la salud humana y/o deterioro de indicadores de salud relacionado con la proliferación de vectores– Deterioro de la calidad ambiental– Degradación del ecosistema de manglar
3. Pérdida de cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none">– Pérdida de biodiversidad– Contaminación atmosférica– Degradación del ecosistema de manglar– Fragmentación de hábitats
4. Salinización y degradación de los suelos	<ul style="list-style-type: none">– Pérdida de biodiversidad– Inseguridad alimentaria– Degradación y/o fragmentación de ecosistemas
5. Corrosión por salinidad	<ul style="list-style-type: none">– Deterioro del fondo habitacional y en general del patrimonio construido– Pérdidas económicas– Conflictos sociales
6. Azolvamiento de la bahía	<ul style="list-style-type: none">– Pérdida de biodiversidad– Pérdida de funcionabilidad social del ecosistema– Pérdidas económicas– Conflictos sociales
7. Problemas asociados al cambio climático	<ul style="list-style-type: none">– Aumento de frecuencia e intensidad de episodios de sequía y eventos hidrometeorológicos extremos– Aumento de inundaciones en zonas bajas– Inseguridad alimentaria– Aumento de la vulnerabilidad social

8.5 Principales conflictos

Los principales conflictos se manifiestan entre usos (14). En general existen conflictos entre los usuarios relacionados con el espacio, e incompatibilidades entre usos, con efectos negativos sobre la biodiversidad y la integridad del ecosistema, pudiéndose identificar entre los principales:

- Disposición y/o vertimiento de residuales *vs* pesca
- Disposición y/o vertimiento de residuales *vs* turismo y recreación
- Disposición y/o vertimiento de residuales *vs* asentamientos urbanos
- Asentamientos urbanos *vs* protección y defensa: poblados como Caimanera, Boquerón y Glorieta se encuentran representados en este conflicto que involucra el uso con restricciones de la zona costera, debido al conflicto jurisdiccional.
- Protección y defensa *vs* investigación
- Doble jurisdicción *vs* desarrollo local y aprovechamiento de recursos naturales
- Producción de sal (Salinera Guantánamo) *vs* pesca (UEB Caimar, Empresa Pesquera Guantánamo): El ostión ha sufrido mortandades masivas y baja tasa de fijación y crecimiento retardado (46).
- Producción de sal (Salinera Guantánamo) *vs* disposición de residuales

8.6 Análisis de la evolución ambiental del ecosistema

De acuerdo con estudios previos realizados a la bahía de Guantánamo, en el año 2006 se evidenció que, en términos de sólidos totales, el río arrastra más de 150 toneladas diarias de materia orgánica, lo que incide en la demanda química de oxígeno y la incorporación de más de 3 toneladas de nitrógeno total. Los valores de grasas y aceites y fósforo total son mucho menores. Según el inventario de fuentes terrestres de contaminación y los valores de carga contaminante obtenidos, se puede asegurar que existe un aporte contaminante de origen urbano – industrial del Río Guaso hacia la bahía, previamente mencionada (47). Al considerar los resultados de ensayos de calidad de agua de este ecosistema se confirma que la bahía está comprometida ambientalmente. En el año 2013 se evidenció la influencia de los aportes de nutrientes de los ríos Guaso y Hondo y se clasificaron las aguas con calidad dudosa a mala según la Norma Cubana NC-25:1999 consultada (48). La estación ubicada en la inmediación de la desembocadura del río Guaso, posee un Índice de Calidad de Agua (ICA) Pobre con el mayor deterioro de la calidad de sus aguas; las restantes 12 estaciones estudiadas clasifican con un ICA Marginal. Estos resultados muestran que el deterioro de la calidad de las aguas de la bahía se ha documentado desde el 2013 (49).

En el año 2016 se concluye que la calidad físico-química y biológica no era satisfactoria, teniendo en cuenta que los ICA obtenidos indicaron un deterioro sustancial. Los valores de pH y de nutrientes permitieron clasificar las aguas de calidad dudosa, β Mesotróficas, con una floración del fitoplancton, reconociéndose un aumento del índice trófico y concentraciones moderadas de clorofila-a (50). La calidad bacteriológica de la playa Tokio no fue satisfactoria, ya que la concentración de coliformes

termotolerantes superó el valor máximo permisible para contacto directo, según la NC 22: 1999 (51), y fue necesario restringir actividades de baño, al representar un riesgo para la salud (50).

En 2017 y 2018 los resultados fueron similares a los obtenidos en el 2016. Sin embargo, comenzó a clasificarse la calidad de dudosa a mala, atendiendo a los valores de nutrientes y pH; el ICA mostró resultados insatisfactorios, lo que estuvo relacionado con la baja transparencia de las aguas, altas concentraciones de nutrientes, sólidos y clorofila-a fitoplanctónica. (52) Lo que se mantuvo en 2018. Detectándose también la presencia de metales pesados en la desembocadura del río Guaso con altas concentraciones de Cu, Fe, Pb, V y Zn (52,53).

En el año 2019 los Índices de Calidad del Agua (ICAs) obtenidos mostraron un sostenido deterioro de las aguas superficiales de la bahía, las cuales, en sentido general, presentaron afectaciones en cuanto al contenido de nutrientes (amonio, nitrato, fosfato) y bajos valores de transparencia. En las playas Tokio y El Cañito se detectó contaminación fecal, y se volvió a restringir el uso recreativo (baño) (16). Sin embargo, en 2020, los estudios indicaron que la calidad físico-química del agua había experimentado cierta mejoría, según los ICA obtenidos. Las mayores afectaciones se debieron al contenido de amonio y nitrato, la influencia del pH y los bajos niveles de transparencia registrados. Las aguas superficiales, de acuerdo al valor medio hallado de clorofila-a fitoplanctónica, clasificaron como mesotróficas, indicativo de un cuerpo de agua con un nivel medio de productividad primaria. Se detectó contaminación de alcance moderado por hidrocarburos de origen mixto (antrópico/biogénico) en los sedimentos superficiales, reportándose los mayores valores en las zonas cercanas a la desembocadura del río Guaso. Las concentraciones de Co, Cr, Mn, y Zn disminuyeron con el transcurso del tiempo, aunque los contenidos de Cu y Fe se incrementaron (54).

Ya en 2022, se realiza un muestreo a conveniencia en dos puntos y en 2023 en ocho puntos para el análisis de la calidad de agua, los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de la calidad del agua del ecosistema bahía de Guantánamo, en el período 2022-2023

Cantidad de puntos muestreados	Años	pH (uds)	Salinidad (ups)	OD (mg L ⁻¹)	Turbidez	SST (mg/L ⁻¹)	
2	2022	6.63	-	-	0.165	19.54	
8	2023	8.37	38.37	2.25	6.75	46,32	
<u>Índices de Calidad</u>	Calidad	8.1	a	26 a 35	> 5	100 a 50	< 100
Obligatorios	y BUENA	8.3					
Complementarios	Calidad	6.5	a	10 a 25	3 a 5	50 a 20	100,0 a
según NC 25:1999	DUDOSA	8.0					300,0

		Calidad MALA					CTT	CT
		< 6.5	< 10	< 3	< 20	> 300		
Cantidad de puntos muestreados	Año	NO ₃ (mg/L ⁻¹)	NO ₂ (mg L ⁻¹)	NH ₄ (mg L ⁻¹)	PO ₄	EC	(NMP 100 mL ⁻¹)	(NMP/100 mL)
8	2023	267.37	1.83	1	1	< 1.8	< 1.8	12.675
Índices de Calidad Obligatorios y Complementarios según 25:1999	de Calidad BUENA	< 0,01	< 0,05	< 0,03	< 0,05	< 700	< 200	< 200
	de Calidad DUDOS A	0,01 a 0,60	0,05 a 1,50	0,03 a 0,05	0,05 a 0,20	700 a 1000	200 a 1000	200 a 1000
	de Calidad MALA	> 0.60	> 1.50	> 0.05	> 0.20	> 1000	>1000	>1000
	de Calidad BUENA	< 0,01	< 0,05	< 0,03	< 0,05	< 700	< 200	< 200

Diversidad de especies de fitoplancton identificadas			Puntos de muestreos							
No.	Grupos	Especies	2	4	7	8	9	10	11	13
1.		<i>Karlodinium</i> sp.		x	x	x	x	x		x
2.	Dinophyta	<i>Prorocentrum</i> sp.		x		x	x			x
3.		<i>Oxyrrhis marina</i>	x	x	x	x	x	x		x
4.	Heterokontophyta	<i>Coscinodiscus</i> sp.			x		x	x	x	x
5.		<i>Planktothrix aggardii</i>	x	x	x	x	x	x		x
6.		<i>Chroococcus limneticus</i>	x	x	x	x	x		x	x
7.	Cyanophyta	<i>Microcystis aeuginosa</i>	x	x	x	x	x	x		x
8.		<i>Synechococcus</i> sp.	x	x	x	x	x			x
9.		<i>Aphanothece chlartrata</i>	x		x	x	x	x		x

Al realizar el análisis evolutivo del estado que presenta la bahía, se evidencia que no hay recuperación en el espejo de agua, y que los mayores aportes de carga contaminante provienen del río Guaso, así como los asentamientos poblacionales y fuentes contaminantes prioritarias que realizan sus descargas al medio sin un tratamiento previo. Los resultados mostraron un deterioro progresivo de la calidad del agua, con alteraciones en los indicadores de pH, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, transparencia, indicadores bacteriológicos, Colorofila-a fitoplanctónica, así como el índice de calidad del agua, siendo la Ensenada Cerro Guayabo la más comprometida. Se considerará además que la hidrodinámica del ecosistema puede haber influido en su deterioro.

Discussion

La bahía de Guantánamo se inserta en una zona de conflicto debido a la doble administración política y los intereses compartidos en el ecosistema. Esta situación, si bien constituye un tema que genera conflictos de dimensiones políticas, compromete los estudios ambientales integrales en el ecosistema, fragmentando tanto la lógica analítica, como la interpretación de las problemáticas e impactos.

De acuerdo con los resultados obtenidos se evidenciaron problemas ambientales y conflictos, que expresan la complejidad en el manejo ambiental del ecosistema. Las amenazas, vulnerabilidades e impactos, permiten evaluar el estado ambiental que presenta el área objeto de estudio, de ahí la importancia de la realización de los estudios de calidad del suelo, el agua y sedimentos marino-costeros, entre otros.

La evaluación integral favorece la creación de un modelo para la gestión del riesgo de desastres enfocado a mitigar y/o eliminar los impactos ambientales negativos, la adaptación al cambio climático y que incluya, además, la identificación de vulnerabilidad del ecosistema.

La calidad de las aguas del ecosistema y los servicios ecológicos están comprometidos (26), debido fundamentalmente a los conflictos de uso existentes. La bahía ha devenido en depósito final del drenaje de la cuenca Guantánamo-Guaso, al mismo tiempo que se aprovechan sus recursos, y sostienen su uso recreativo. Este es un ecosistema visiblemente antropizado, producto del desarrollo urbano e industrial.

La calidad ambiental de la zona está comprometida debido a la carga contaminante que en ella se dispone, y su impacto sobre los recursos existentes, sus usos y los múltiples conflictos que en ella tienen lugar. Además, existen limitaciones para la implementación de adecuados mecanismos de gestión, en función de preservar la integridad y salud del ecosistema.

En la bahía de Guantánamo confluyen conflictos relacionados con el uso sostenible, protección de sus recursos y la calidad ambiental. Coexisten usos en conflicto, siendo claves los conflictos jurisdiccionales y la disposición y vertimiento de residuales líquidos, con interacciones

potencialmente peligrosas con los recursos de la zona, lo que compromete la integridad del ecosistema.

La contaminación de las aguas es la mayor problemática del ecosistema, vinculada a conflictos de uso e impactos que comprometen la calidad de vida de los habitantes, la actividad pesquera, y la producción de sal, con severas repercusiones socioeconómicas.

Es importante considerar la interacción cuenca-zona costera, con una marcada influencia del río Guaso en el ecosistema bahía (16), con aportes significativos de sedimentos y contaminantes que comprometen la calidad de los servicios ecosistémicos, lo que podría estar relacionado con la disminución de la talla comercial de las especies de interés económico, con repercusión económica, social y ambiental. Esta contaminación que se puede denominar secundaria o eutrofización cultural del agua es compleja en cuanto a su manejo; a ello habría que sumar el vertimiento directo y la disposición inadecuada de desechos sólidos en el litoral, con afectación del ecosistema manglar y en toda la trama que este ecosistema sostiene, comprometiendo los servicios del ecosistema.

El manejo de conflictos, de la contaminación y los riesgos asociados constituyen asuntos clave de manejo, agravados por impulsores de riesgo como el cambio climático, que se asocia a eventos extremos en el área de estudio (inundaciones y sequías). No obstante, es importante señalar que existen vacíos del conocimiento en relación con el impacto de la contaminación marina sobre la calidad de los recursos, el estado de los matorrales cactáceos y otros ecosistemas relevantes, que es preciso resolver a corto plazo.

Conclusions

La bahía de Guantánamo posee múltiples conflictos e impactos. Destacan su alta vulnerabilidad social y ambiental. El conflicto jurisdiccional constituye una singularidad de este ecosistema con implicaciones no solo políticas y sociales, sino ambientales, ya que los análisis del ecosistema no pueden ser integrados, sino parciales.

Para la gestión ambiental constituye un asunto clave la contaminación y sus efectos colaterales, con repercusión en los servicios ecosistémicos y la calidad de los recursos. Esta se agrava por impulsores de riesgo como el cambio climático y por problemas de manejo de las actividades tierra adentro que minimicen el impacto de la cuenca Guantánamo-Guaso.

Es necesario desarrollar modelos de gestión para la reducción de riesgos de desastres que se enfoquen en la solución de conflictos a nivel local, entre las partes interesadas y los recursos naturales que interactúan en la bahía de Guantánamo.

Author Contributions: delimitación del área de estudio, investigación, tomas de muestras, compilación y análisis histórico de la data experimental, identificación taxonómica de especies,

elaboración de la cartografía digital, redacción del borrador original, elaboración de matrices y taxonomía de usos, revisión y edición: Anielis García González y Liliana María Gómez Luna. Elaboración de la cartografía digital, compilación y análisis histórico de la data experimental, revisión del documento: Yinet Marzo Manuel y Esvilleg Ferrer Pozo. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Funding: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Institutional Review Board Statement: No aplicable a estudios en los que no participen seres humanos o animales.

Informed Consent Statement: No aplicable a estudios en los que no participen seres humanos o animales.

Data Availability Statement: El estudio no informó ningún dato.

Conflicts of Interest: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Acknowledgments: Especialmente a todos los colegas y amigos que colaboraron con el suministro de literatura para la revisión bibliográfica, a la Brigada de la Frontera por facilitar la entrada al ecosistema para la realización de toma de muestras de agua. A La Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos por facilitar estudios de calidad de agua. A todos los que hicieron posible la obtención de estos resultados. Muchas gracias.

References

/ Received: 19 June 2024 | Accepted: 29 August 2024 | Published: 15 September 2024 |

Citation: Anielis García-González, A., Gómez-Luna, L., Marzo-Manuel, Y., Ferrer-Pozo, E. Caracterización ambiental del ecosistema marino-costero bahía de Guantánamo en Cuba. *Bionatura*. 2024; Volume (9) No 3.

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 Escala para documentos científicos de estandarización médica

Comprehensive content evaluation scale for scientific documents

Mayelín de la Caridad Suárez González,^{1*} Silvia María Díaz Gómez,² Karell Rafael Vazquez Argote,³ Elisa Amparo Núñez Oduardo.⁴

¹Clínica Estomatológica 3 de Octubre, Las Tunas, Cuba, mcsuarez@ltu.sld.cu;

<https://orcid.org/0000-0002-1486-5481>

²Clínica Estomatológica La Vigía, Camagüey, Cuba, msilvia.cmw@infomed.sld.cu;

<https://orcid.org/0000-0002-6314-3434>

³Universidad de Ciencias Médicas Dr. Zoilo Marinello Vidaurreta, Las Tunas, Cuba; <https://orcid.org/0000-0003-3860-5702>

⁴Clínica Estomatológica 3 de Octubre, Las Tunas, Cuba, enoduardo@ltu.sld.cu;

<https://orcid.org/0000-0001-7171-8691>

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: mcsuarez@ltu.sld.cu

Resumen

El uso de escalas es de gran utilidad; se realizó una investigación de desarrollo y evaluación de marzo 2021 a mayo 2022 en la Clínica Estomatológica 3 de octubre de la provincia Las Tunas, Cuba, con el objetivo de crear una escala para la evaluación de documentos científicos de estandarización médica desde su contenido y realizar su validación por expertos. Se seleccionaron por muestreo simple aleatorio 15 profesionales de alto nivel científico, se consideró la metodología utilizada en documentos precedentes de la literatura científica y la validación fue realizada mediante el método Delphi. Se exploró la confiabilidad relacionada con la evaluación por diferentes personas, así como la validez de contenido con concordancia entre las evaluaciones de los jueces para el instrumento y la evaluación de la escala, mostrándose valores W de Kendall de 0.73 y 0.71, $p = 0,000$ respectivamente, aspecto que define a la escala creada como recomendada. Este instrumento permitirá evaluar documentos científicos desde su contenido, unificar criterios y elevar el grado de preparación de los profesionales de la salud en la contemporaneidad.

Palabras clave: escala de evaluación, escala de contenidos, validación, panel de expertos.

Abstract

The use of scales is very useful; a development and evaluation investigation was carried out from March 2021 to May 2022 at the 3 de Octubre dentistry clinic in the province of Las Tunas, Cuba; with the aim of creating a scale for the evaluation of scientific documents of medical standardization from their content and validating them by experts. 15 professionals of high scientific level were

selected by simple random sampling, the methodology used in previous documents from the scientific literature was considered and the validation was carried out using the Delphi method. The reliability related to the evaluation by different people was explored, as well as the content validity with agreement between the judges' evaluations for the instrument and the evaluation of the scale, showing Kendall's W values = 0.73 and 0.71; $p = 0,000$ respectively; and aspect that defines the scale created as recommended. This instrument will allow evaluating scientific documents from their content, unify criteria and raise the degree of preparation of health professionals in contemporary times.

Keywords: evaluation scale, content scale, validation, expert panel.

Introducción

La producción científica desde diversas disciplinas y escenarios ha crecido considerablemente en las últimas décadas. En este sentido, la evaluación de la calidad de los estudios se torna esencial por su transparencia, visibilidad, rigor e impacto de la producción y publicación científicas.¹

En lo que a ciencias sociales y humanas se refiere, se aprecia cada vez más la tendencia a ser lo más objetivo posible en la recolección de información de un determinado hecho; de esta manera, las escalas de medición han logrado un importante posicionamiento debido a que su utilización se viene generalizando no solo para evaluar las actitudes, sino también opiniones, comportamientos u otras características individuales.²

Las razones que impulsan al uso clínico de escalas, cuestionarios, tests, e índices pueden ser diversas, como son la ayuda al diagnóstico, el apoyo al umbral de tratamiento, la comunicación con otros profesionales, y el establecimiento de un referente poblacional.³

En la confección de las mismas, los expertos son necesarios, para comprender las verdaderas dimensiones del problema, desarrollar modelos alternativos, decidir qué datos utilizar o simplemente interpretar los resultados. En aquellas situaciones donde la solución de un problema o la adopción de decisiones sea muy importante, es mejor recoger opiniones de las personas con amplios conocimientos y experiencia contrastada en el área de interés y, por lo tanto, mejor cualificadas para responder a las cuestiones planteadas.⁴

De acuerdo con Castellano Serra,⁵ la necesidad de socializar resultados científicos de forma clara y transparente influye positivamente sobre la formación de nuevos conocimientos, y consecuentemente aumenta la confianza en las conclusiones cuando el estudio es realizado con rigor metodológico. Por lo tanto, la propagación de la utilización de las herramientas de evaluación metodológica y de información, califica y legitima cada vez más la producción científica, principalmente en el campo de los procedimientos de la asistencia médica.

Esto evidencia la necesidad constante de elaborar y llevar a cabo procesos para la validación de instrumentos teóricos y/o prácticos que proporcionen una serie de oportunidades en la recolección de la evidencia científica.⁶ Razón por la que se propone crear una escala para la evaluación de documentos científicos de estandarización médica desde su contenido y realizar su validación por expertos.

Material y Métodos

Se realizó una investigación de desarrollo y evaluación de marzo 2021 a mayo 2022 en la Clínica Estomatológica 3 de Octubre de la provincia Las Tunas, Cuba. La misma consistió en la construcción y validación de un instrumento con su escala para evaluar documentos científicos de estandarización médica desde su contenido.

Universo y muestra del grupo evaluador

De un universo de 20 profesionales de alto nivel científico, se seleccionaron por muestreo simple aleatorio 15 como expertos: doctores en ciencias y especialistas de segundo grado de diferentes programas de especialización dentro de las Ciencias Estomatológicas, con categoría docente principal e investigativa, se consideró la experiencia de trabajo, integración a equipos interdisciplinarios, a los que se le solicitó el consentimiento informado. Se realizó una encuesta de autodeterminación de competencia de experto que permitió caracterizar a los mismos, obtener una autovaloración de su grado de conocimiento en el tema y la influencia que han tenido diversas fuentes de argumentación. Se determinó el coeficiente de competencia (K) para la selección de los expertos.⁴

Los valores finales de K obtenidos permitieron clasificar a los expertos en tres grupos:

- Alta influencia de todas las fuentes, que son los que obtuvieron un valor K superior a 0,8.
- Influencia media, los que alcanzaron un valor comprendido entre 0,7 y 0,8.
- Baja influencia, los que lograron una valoración inferior a 0,7.

Técnicas y procedimientos

Para la obtención de la información necesaria en la construcción del instrumento y escala integral de evaluación de contenido para documentos científicos de estandarización médica (ECDOCE), se consideró la metodología utilizada en otros documentos científicos precedentes en la literatura científica, que se resumen en cuatro pasos:^{2,7,8}

- Definición y caracterización del objeto de estudio: abordada en la introducción de la investigación.
- Selección de los indicadores: basados en la literatura científica, instrumentos teóricos desarrollados por el equipo multidisciplinario de la consulta del tercer nivel de atención en salud de Oclusión y Articulación Temporomandibular de Camagüey y la experiencia clínica e investigativa de

profesionales miembros de la Cátedra multidisciplinaria para el estudio de la oclusión dentaria Plácido Ardanza Zulueta,⁸ así como de especialistas de experiencia en esta temática en el territorio. Se seleccionaron los ítems a tener en consideración.

- Construcción de los ítems: se tomó el tipo de pregunta cerrada, de selección única, con su escala nominal a la que se le otorgó una puntuación que permitió la realización de operaciones matemáticas, con las categorías: ausente (1), presente (2).

- Definición de la forma evaluativa del instrumento: se clasifica el resultado final del instrumento en una escala cualitativa ordinal, con el empleo de los cuartiles. Se consideraron las categorías: No recomendado, Parcialmente recomendado, Recomendado, Muy recomendado, en correspondencia con la puntuación obtenida.

Se diseñaron 16 ítems (variables del estudio), 15 correspondientes a los aspectos de observación del protocolo (variables cualitativas nominales) y una correspondiente a la forma de medición final del instrumento (escalas de cualitativa ordinal) que responden a las características del Sistema Nacional de Salud Pública en Cuba para la conformación del instrumento y su escala de evaluación para contenido. Estas fueron valoradas por el grupo de expertos para emitir un juicio valorativo mediante la escala Likert,⁹ de cinco categorías.

Las variables utilizadas fueron:

- Representatividad del problema de salud.
- Información teórico-práctica desde la evidencia científica.
- Conformación de un documento científico con la integración de saberes.
- Exposición de argumentos conciliadores pertinentes a la selección de los mejores procedimientos.
- Establecimiento de acciones clínicas con espacio para las individualidades.
- Inclusión de soluciones tangibles en el contexto histórico en que se implementan.
- Estructura y orden en las acciones o procedimientos médicos.
- Propuesta de alternativas específicas y cambio de procedimientos ante problemas identificados como limitaciones probables.
- Inclusión de elementos sustantivos propios de la educación.
- Prevención, diagnóstico y tratamiento del problema de salud identificado.
- Presentación y estratificación del método clínico.
- Empleo de tecnología y enfoque terapéutico desde el desarrollo científico-técnico.
- Proyección terapéutica en correspondencia con la etiología del fenómeno.
- Representación de técnicas y procedimientos clínicos con esquemas y/o algoritmos de trabajo.
- Distinción con precisión de las recomendaciones necesarias.

- Estipulación de los resultados relevantes de la discusión colectiva por etapas.
- Escala de evaluación del instrumento para evaluación de contenido.

Para la validación de la escala a partir de la experiencia de especialistas en el tema y complementada con las consideraciones individuales aportadas por los expertos, se aprobó en un primer momento el instrumento con cada uno de los ítems y luego se puso en consideración la evaluación de estos y la escala en cuestión. El análisis se realizó con el método Delphi.¹⁰ Se sometió a la valoración del panel de expertos mediante la escala Likert.^{7,9} La medición de los criterios se correspondió con cinco categorías que establecían 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, muy de acuerdo con valor cinco.

Se formuló una interrogante abierta para que cada experto pudiese expresar su juicio teórico con respecto a posibles modificaciones, así como brindar sugerencias al respecto. Para las sesiones de trabajo se empleó la comunicación en línea y presencial.

El instrumento se consideró validado cuando los expertos emitieron una calificación por ítem que en la suma total correspondiera a la aprobación de la escala, categoría Recomendado correspondiente a una puntuación de mayor de 60 puntos.

Posteriormente para validar este instrumento se exploró:

Confiabilidad: es capacidad que tiene el instrumento de arrojar siempre los mismos resultados cada vez que se aplica a la misma unidad de observación.¹¹

Validez: es capacidad del test de arrojar los mismos resultados ante nuevas aplicaciones, distinguen los siguientes componentes:

- **Validez de apariencia:** se examinó a través de consulta a expertos si los ítems que componen el instrumento fueron correctamente elaborados.
- **Validez de contenido:** los expertos evaluaron el cumplimiento de los criterios de Moriyama¹² para cada uno de los ítems mediante la escala Likert.⁹
- **Validez de constructo:** se evaluó mediante la construcción de una hipótesis que contrasta el grado de asociación entre el valor obtenido por el instrumento creado y contenido del protocolo. Para ello se consideró la sumatoria de las puntuaciones obtenidas con la escala, resultando No recomendado si resultó menor de 19 puntos, o Muy recomendado, entre 27 y 30.
- **Validez de criterio:** el instrumento construido surgió dada la necesidad de interpretar su aplicabilidad a documentos científicos de estandarización médica.

Tanto para la construcción como para la validación del instrumento, los datos se obtuvieron de fuentes

primarias con los que se confeccionó una base de datos. El procesamiento estadístico se realizó con medidas de resumen (mediana, desviación estándar), para la concordancia inter-expertos se emplearon, el test w de Kendall⁴ y el índice de concordancia V de Aiken.¹³ La correlación de elementos corregida se empleó para examinar la homogeneidad del aporte de los ítems y, para la medición de la confiabilidad el alfa de Cronbach,¹⁴ una confiabilidad del test en el 95 %, con el empleo del paquete estadístico SPSS 25.0 para Windows.

El cálculo del índice de concordancia V de Aiken¹³ (ecuación 1) con sus intervalos de confianza, para medir la concordancia inter-expertos, se realizó manualmente en la hoja de cálculo de Excel, (ecuaciones 2 y 3).

$$V_{Aiken} = \frac{\text{Mediana}-\text{Valor mínimo}}{\text{Valor Máximo}-\text{Valor mínimo}} \quad (1)$$

$$LIV_{Aiken} = \frac{2nkV+Z^2-Z\sqrt{4nkV(1-V)+Z^2}}{2(nk+Z^2)} \quad (2)$$

$$LSV_{Aiken} = \frac{2nkV+Z^2+Z\sqrt{4nkV(1-V)+Z^2}}{2(nk+Z^2)} \quad (3)$$

Para examinar la relevancia del coeficiente de correlación W de Kendall¹² se ejecutó el test chi-cuadrado¹⁵ (ecuación 4).

$$\chi^2 W = \frac{S}{\frac{1}{12}E^2(C^3-C)} \quad (4)$$

La calificación total de la escala presentó un margen de valores entre 15 y 75 puntos; para elaborar el criterio de aprobación se determinó el rango intercuartílico con los cuartiles 1 y 3 resultando:

- Menor de 30 puntos: No Recomendado
- 30-60 puntos: Recomendado con modificaciones
- Mayor de 60 puntos: Recomendado

Resultados

Es necesario incorporar instrumentos científicos que faciliten y normen la toma de decisiones interdisciplinarias a favor del desarrollo de la ciencia y propicien un método activo de aprendizaje desde la práctica. Con esta investigación se logró la creación de una escala para la evaluación de documentos científicos de estandarización médica desde su contenido.(figura 1)

ITEMS	Evaluación*										
1 Representatividad del problema de salud.(según objetivo propuesto)											
2 Información teórico-práctica desde la evidencia científica											
3 Conformación de un documento científico desde la integración de saberes											
4 Exposición de argumentos conciliadores pertinentes a la selección de los mejores procederes											
5 Establecimiento de acciones clínicas con espacio para las individualidades											
6 Inclusión de soluciones tangibles en el contexto histórico en que se implementan											
7 Estructura y orden en las acciones o procederes médicos											
8 Propuestas de alternativas específicas y cambios de procederes ante problemas identificados como limitaciones probables											
9 Inclusión de elementos sustantivos propios de la educación, prevención, diagnóstico y tratamiento del problema de salud identificado.											
10 Presentación y estratificación del método clínico											
11 Empleo de tecnología y enfoque terapéutico desde el desarrollo científico- técnico											
12 Proyección terapéutica en correspondencia con la etiología del fenómeno											
13 Representación de técnicas y procedimientos clínicos con esquemas y/o algoritmos de trabajo											
14 Distinción con precisión de las recomendaciones necesarias											
15 Estipulación de los resultados relevantes de la discusión colectiva por etapas											
Total de puntos											
* : 1= Ausente; 2= Presente											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Evaluación cualitativa</th> <th style="text-align: left;">Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No recomendado</td> <td>< 19</td> </tr> <tr> <td>Escala: Parcialmente</td> <td>19-22</td> </tr> <tr> <td>Recomendado</td> <td>23-26</td> </tr> <tr> <td>Muy recomendado</td> <td>27-30</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluación cualitativa	Puntaje	No recomendado	< 19	Escala: Parcialmente	19-22	Recomendado	23-26	Muy recomendado	27-30
Evaluación cualitativa	Puntaje										
No recomendado	< 19										
Escala: Parcialmente	19-22										
Recomendado	23-26										
Muy recomendado	27-30										

Figura 1. Escala integral de evaluación de contenido para documentos científicos de estandarización en las Ciencias Médicas. (ECDOCE)

En la tabla 1 se muestra la evaluación del coeficiente de competencia experta. En el presente estudio participaron 15 profesionales de la salud expertos con una puntuación superior a 0,8.

Tabla 1. Evaluación del coeficiente de competencia experta.

Expertos	Provincia	Grado		Kc ⁺	Ka ⁺⁺	K ⁺⁺⁺	Nivel
		científico académico	u docente principal				
E- 1	Camagüey	Dr.C.	Titular	1	1	1	A
E- 2	Camagüey	MSc	Titular	0,9	0,85	0,85	A
E- 3	Camagüey	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E- 4	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E- 5	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E-6	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	1	1	A

E-7	Las Tunas	MSc	Auxiliar	0,9	0,85	0,85	A
E-8	Las Tunas	MSc	Auxiliar	0,9	0,85	0,85	A
E-9	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E-10	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E-11	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	1	1	A
E-12	Las Tunas	MSc	Auxiliar	0,9	0,85	0,85	A
E-13	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A
E-14	Las Tunas	MSc	Auxiliar	0,9	0,85	0,85	A
E-15	Las Tunas	MSc	Auxiliar	1	0,9	0,95	A

+: Coeficiente de conocimiento

++: Coeficiente de argumentación

+++: Coeficiente de competencia

En la tabla 2 se muestra la evaluación del instrumento teórico por expertos según la escala de contenido propuesta, donde se utilizan el índice de correlación W de Kendall para la valoración de la significación de la concordancia entre los jueces; el criterio V de Aiken para evaluar la relevancia del contenido y la correlación de elementos corregida y el alfa de Cronbach para evaluar la consistencia entre la valoraciones de las calificaciones para validar el instrumento teórico.

Al examinar la concordancia entre las evaluaciones de los jueces. Acorde al estadístico W de Kendall, se aprecia que existe una concordancia de un 0.73 con un valor de $p= 0.000$ menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$.

El juicio valorativo sobre la relevancia del contenido de los ítems expresada mediante el criterio V de Aiken se estimó globalmente entre 0.63-0.84, exceptuando los ítems 2, 3, 6, 12 y 15 en lo que las estimación de dicho criterio oscilo entre 0-0.25.

Mientras que, la correlación ítem total se estimó por encima de 0.60 en todos los ítems alcanzando un máximo en los ítems 7 y 12 con 0.95, posibilitando que finalmente el alfa de Cronbach alcance una estimación de 0.96 para la totalidad el instrumento.

Tabla 2. Evaluación del instrumento teórico por expertos según la escala de contenido propuesta.

Ítem evaluado	Rango promedio	Media	Correlación		
			total elementos corregida ⁺	de V Aiken	IC 95%
1	11.17	3.87	0.74	0.75	0.63 - 0.84

2	3.07	1.67	0.65	0.25	0.16 - 0.37
3	4.33	2.07	0.91	0.25	0.16 - 0.37
4	8.67	3.27	0.69	0.75	0.63 - 0.84
5	8.33	3.07	0.91	0.75	0.63 - 0.84
6	3.37	1.53	0.88	0	0 - 0.06
7	9.5	3.47	0.95	0.75	0.63 - 0.84
8	9.93	3.53	0.88	0.75	0.63 - 0.84
9	9.83	3.53	0.83	0.75	0.63 - 0.84
10	11.17	3.87	0.85	0.75	0.63 - 0.84
11	10.73	3.73	0.88	0.75	0.63 - 0.84
12	4.57	2.2	0.95	0.25	0.16 - 0.37
13	11.17	3.87	0.60	0.75	0.63 - 0.84
14	11.47	3.93	0.74	0.75	0.63 - 0.84
15	2.7	1.47	0.94	0.25	0.16 - 0.37
Alfa de Cronbach					0.968
V Aiken Global				Puntual	0.75
				IC	0.63-0.84
W Kendall ⁺⁺					0.73
Chi Cuadrado 14gl					153.748
Significación asintótica					0.0000

⁺: procedente de hoja de estimación de la correlación total de elementos corregida.

⁺⁺: procedente de hoja de resultados test W de Kendall

gl: grados de libertad

En la tabla 3 se muestran los resultados del test W de Kendall, el índice de concordancia de V de Aiken, y la correlación de elementos corregida, para validar la escala de evaluación para la calificación del instrumento teórico.

La concordancia entre las evaluaciones de los jueces según al estadístico W de Kendall, se aprecia que existe una concordancia de un 0.71 con un valor de $p=0.000$ menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$.

La relevancia del contenido de los ítems expresada mediante el criterio V de Aiken se estimó globalmente entre 0.63-0.84, exceptuando los ítems 4,7,9,10 y 13 en los que la estimación de dicho criterio oscilo entre 0-0.25.

En cambio, la correlación ítem total se estimó por encima de 0.50 en casi todos los ítems alcanzando un máximo en el Ítem 2 y 5 con 0.81 excepto el ítem 4 (referido a la exposición de argumentos conciliadores pertinentes a la selección de los mejores procederes) con un 33 %, el alfa de Cronbach alcanza una estimación de 0.87 para la totalidad el instrumento.

Tabla 3. Evaluación de la escala de evaluación del instrumento teórico por expertos.

Ítem evaluado	Rango promedio	Media	Correlación		
			total de elementos corregida ⁺	V Aiken	IC 95%
1	9.80	3.53	0.67	0.75	0.63 - 0.84
2	11.17	3.87	0.81	0.75	0.63 - 0.84
3	10.73	3.73	0.64	0.75	0.63 - 0.84
4	5.00	2.33	0.33	0.25	0.16 - 0.37
5	11.17	3.87	0.81	0.75	0.63 - 0.84
6	11.20	3.87	0.83	0.75	0.63 - 0.84
7	2.70	1.47	0.67	0.25	0.16 - 0.37
8	11.17	3.87	0.81	0.75	0.63 - 0.84
9	3.03	1.67	0.62	0.25	0.16 - 0.37
10	4.30	2.07	0.56	0.25	0.16 - 0.37
11	8.67	3.27	0.65	0.75	0.63 - 0.84
12	8.33	3.07	0.53	0.75	0.63 - 0.84
13	3.37	1.53	0.55	0.00	0 - 0.06
14	9.47	3.47	0.62	0.75	0.63 - 0.84
15	9.90	3.53	0.51	0.75	0.63 - 0.84
Alfa de Cronbach				0.869	
V Aiken Global				Puntual	0.75
				IC	0.63-0.84
W Kendall ⁺⁺				0.712	
Chi Cuadrado 14gl				153.748	
Significación asintótica				0.0000	

⁺: procedente de hoja de estimación de la correlación total de elementos corregida.

⁺⁺: procedente de hoja de resultados test W de Kendall

gl: grados de libertad

Discusión

En la confección de escalas son los expertos quienes determinan si, en su concepto, el instrumento en apariencia mide las cualidades deseadas; es importante mencionar que al momento de seleccionar a las personas que participarán en la evaluación del instrumento de medición/evaluación se debe prever que conozcan el tema a tratar, ya sea por experiencia en el campo laboral, por su formación profesional o por su trayectoria académica.¹⁶

Los resultados que se exponen en la tabla 1, se corresponden con la investigación de Hidalgo Anias y Márquez Pérez,¹⁷ relacionada con la validación de una escala de trastornos neuróticos, donde el 100 % de los expertos obtuvo un coeficiente de competencia alto (entre 0,94 y 1). Es deseable que, como sucedió en la presente investigación, los expertos que participen en todo proceso evaluativo tengan el máximo nivel de competencia, pues ello aporta rigor y oportunidades de mejora.

Herrera Masó y colaboradores,¹² exponen que el método de consulta a expertos propicia el contexto adecuado para obtener la mayor cantidad de información posible de los evaluadores consultados, atenuando el efecto de aspectos que no pueden ser controlados por el investigador y de otros factores relacionados con la complejidad, dificultad u obviedad del contenido sometido a su consideración.

En la investigación se logró la participación de tres profesionales pertenecientes a la Cátedra de Oclusión Dentaria “Plácido Ardanza Zulueta” de la provincia Camagüey y que implica al territorio donde se desplegó el presente estudio. Tal elemento que concuerda con lo expresado en su investigación Urrutia Egaña y colaboradores,¹⁸ al hacer referencia a Ortega Mohedano, quien asegura que la distribución de expertos en el área geográfica o la actividad laboral son factores importantes para la elección de los profesionales en función de experto.

Al analizar las sugerencias de los expertos, se concluyó que estas estuvieron relacionadas con la redacción científica o con el empleo de algunos términos específicos más que con la propia conceptualización u operacionalización como tal de las variables. Teniendo en cuenta, además, los resultados cuantitativos, no se consideró necesario reformular ninguna de las pautas para una segunda ronda de intercambio. De este modo, se demostró la validez de contenido del instrumento.

La concordancia obtenida en la evaluación del instrumento teórico, sugiere que los jueces, en sus evaluaciones, consideran la pertinencia de conservar cada uno de los ítems propuestos dentro del instrumento; las estimaciones de los estadígrafos expuestos para el cálculo de la confiabilidad del instrumentos teórico son similares a los expuestos por Bonilla Algovia y colaboradores,¹⁹ que obtienen cuantías superiores a 0.80, al viabilizar la validación de una escala de enfoque diferente

dirigida a la medición de las actitudes sexistas hostiles y benévolas en la población adolescente de Castilla-La Mancha.

La validación del instrumento por expertos realizada por Fleites Did y colaboradores,¹¹ en Villa Clara, Cuba, evidenció que el 100 % de las preguntas fueron razonables y comprensibles, sensibles a variaciones, con suposiciones básicas justificables, con componentes claramente definidos y derivables de datos factibles de obtener; en la validación por *Delphi* el 100 % de las preguntas fueron evaluadas con las categorías de muy adecuado y bastante adecuado, esta no viene acompañada de un estadístico de concordancia propia de escalas ordinales; lo que puede considerarse prescindible cuando los juicios valorativos concuerdan en un 100 % único.

En la investigación “Validez de contenido por juicio de expertos de un instrumento para medir conocimientos, actitudes y prácticas sobre el consumo de sal en la población peruana” de Torres Malca y colaboradores,¹³ utilizaron la V de Aiken para calcular el grado de acuerdo entre los jueces, donde presentaron valores V superiores a 0,80, además, de un coeficiente de variación menor a 25 %, por tanto, ninguno de los ítems fue eliminado, resultados que coinciden con la presente investigación. En otro estudio realizado con Agudelo y colaboradores²⁰ donde de igual forma se evalúa la validez aparente de la escala por juicio de expertos los resultados expuestos se aprecian por encima del 0.8 hasta 1.

La valoración general de los jueces para el instrumento consideró como pertinente la permanencia de los ítems sugeridos, interpretado como una medida de coherencia y validez.

Según lo mostrado en la tabla 3, la valoración general de los jueces sobre la calificación del instrumento y su escala, resultó pertinente. También consideraron conservar la calificación mediante la escala cualitativa nominal dicotómica, (1- Ausente, 2- Presente) del ítem dentro del instrumento.

Los resultados en cuanto a la concordancia interevaluador no se corresponden con investigaciones realizadas por Lorca y colaboradores²¹ para evaluar las propiedades psicométricas de la escala de estado funcional post-COVID-19. Se reveló que hubo concordancia entre los evaluadores solamente para el aspecto de relevancia (W de Kendall = 0,111; p = 0,32) en el resto de aspectos evaluados (suficiencia, claridad y coherencia) no se logra concordancia inter evaluador.

Otros estudios realizados que se hacen propicio mencionar debido a que exponen el diseño y la validación de un instrumento lo constituyen Tenango Leyte y Solís Martínez.²² En ellos se aplicó la prueba de Kendall, a partir de las 38 valoraciones de expertos, el coeficiente de concordancia W = 0.498 con una significancia p < 0.000, por lo que el panel de expertos estuvo de acuerdo con la evaluación de todos los ítems incluidos.

Conclusiones

El instrumento creado permitirá evaluar documentos científicos desde su contenido, unificar criterios y elevar el grado de preparación de los profesionales de la salud en la contemporaneidad.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, MCSG, SMDG; metodología, MCSG, SMDG, KRVA; software, MCSG, KRVA; análisis formal, MCSG, SMDG, KRVA, EANO; escritura, revisión y edición, MCSG, SMDG, KRVA, EANO. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por los propios autores.

Declaración de la junta de revisión institucional

El estudio fue realizado respetando lo establecido en la Declaración de Helsinki.

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes involucrados en el estudio.

Declaración de disponibilidad de datos

Para obtener más información respecto a los datos puede comunicarse directamente con los autores de este estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a cada uno de los expertos que participaron en la validación del cuestionario y tomaron un poco de su tiempo para contribuir con este valioso trabajo.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Cascaes da Silva F, Valdivia Arancibia BA, da Rosa Iop R, Barbosa Gutierrez Filho PJ, da Silva R. Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. Rev Cuba Inf Cienc Salud [Internet]. 2013 [citado el 17 de junio de 2024];24(3):295–312. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-21132013000300007&lng=es.
2. Portocarrero Ramos CA, Bonifaz de Portocarrero RP. Diseño y Construcción de Escalas de Medición. Editorial [Portocarrero Ramos, Carlos Alberto](#). [Internet] Primera edición digital. 2021. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/354322263>
[BNP Diseño y construcción de escalas de medición](#)
3. López Alonso SR, Morales Asencio JM. ¿Para qué se administran las escalas, cuestionarios, tests e índices? Index Enferm [Internet]. 2005 [citado el 17 de junio de 2024];14(48–49):7–8. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962005000100001

4. Herrera Masó JR, Calero Ricardo JL, González Rangel MÁ, Collazo Ramos MI, Travieso González Y. El método de consulta a expertos en tres niveles de validación. Rev habanera cienc médicas [Internet]. 2022 [citado el 17 de junio de 2024];21(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2022000100014&lng=es
5. Castellanos Serra L. Las Buenas Prácticas de Publicación, su evolución y el impacto esperado en salud pública. Rev Cub Salud Publica [Internet]. 2012 [citado el 17 de junio de 2024];38:725–33. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662012000500006&lng=es
6. Flores-Girón H, Paz C, Paz-Maldonado E. Explorando las competencias conceptuales básicas: Validez de contenido de un cuestionario sobre Radiología Oral y Maxilofacial. Bionatura [Internet]. 2023;8(3):1–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21931/rb/2023.08.03.42>
7. Muñiz J, Fonseca-Pedrero E. Diez pasos para la construcción de un test. Psicothema. 2019;31(1):7–16. Disponible en: <https://doi.org/10.7334/psicothema2018.291>
8. Gómez SMD, Miralles MD. Segundo Taller Nacional de Oclusión de la Cátedra Multidisciplinaria “Plácido Ardanza Zulueta”, 2017. Rev Cubana Estomatol [Internet]. 2018 [citado el 17 de junio de 2024];55(2):56–8. Disponible en: <http://www.revestomatologia.sld.cu/index.php/est/article/view/1807>
9. De Gante C, González S, Ortega B, Castillo E, Fernández S, Escala De Likert A. Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social, 2020. Revista de la alta tecnología y sociedad. 2020;12(1). Disponible en: <file:///C:/Users/CUBA/Downloads/1.EscaladeLikert.pdf>
10. Cedeño C, Mena S. El Método Delphi Cualitativo y su Rigor Científico. Una revisión argumentativa. Revista Sociedad & tecnología. 2022:530-4. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8706211>
11. Pérez AMS, Piñero JP, Puig PL. Construcción y validación de un instrumento para evaluar el clima organizacional en el ámbito de la salud pública. Rev Cub Salud Publica [Internet]. 2015 [citado el 18 de junio de 2024];41(4). Disponible en: <https://revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/view/513>
12. Moriyama IM. Indicators of social change. Problems in the measurements of health status. New York: Russell Sage Foundation; 1968.p.593. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S0864-2125200900040000900005&lng=pt&pid=S0864-21252009000400009>
13. Torres-Malca JR, Vera-Ponce VJ, Zuzunaga-Montoya FE, Talavera JE, De La Cruz-Vargas JA. Validez de contenido por juicio pericial de un instrumento para medir conocimientos, actitudes y

prácticas sobre el consumo de sal en la población peruana. Rev Fac Med Humana [Internet]. 2022;22(2):273-9. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rfmh/v22n2/2308-0531-rfmh-22-02-27314>.

14. Frías-Navarro D. Apuntes de estimación de la fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. Universidad de Valencia. España. 2022. Disponible en: <https://www.uv.es/friasnav/AlfaCronbach>

15. Barrueta Gómez N, Peña Martínez S, Fernández Sánchez E. El estadígrafo Kendall y su aplicación. Un ejemplo práctico. Editorial A3Manos.La Habana, Cuba; [Internet].2022.vol. 9, núm. 16. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/784/7843889004/html/>

16. Rodríguez Medina MA, Poblano-Ojinaga ER, Alvarado Tarango L, González Torres A, Rodríguez Borbón MI. Validación por juicio de expertos de un instrumento de evaluación para evidencias de aprendizaje conceptual. RIDE Rev Iberoam Para Investig Desarro Educ [Internet]. 2021 [citado el 18 de junio de 2024];11(22). Disponible en: <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/960>

17. Hidalgo Anias NM, Márquez Pérez JF. Validación de una escala de trastornos neuróticos. Humanid médicas [Internet]. 2012 [citado el 18 de junio de 2024];12(1):9–21. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202012000100002&lng=es

18. Urrutia Egaña M, Barrios Araya S, Gutiérrez Núñez M, Mayorga Camus M. Métodos óptimos para determinar validez de contenido. Educ médica super (Impresa) [Internet]. 2014 [citado el 18 de junio de 2024];28(3):547–58. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412014000300014&lng=es

19. Bonilla-Algovia E, Ibáñez Carrasco M, Carrasco Carpio C. Validez de la Escala de Detección de Sexismo en Adolescentes (DSA) en Castilla-La Mancha, España. Psykhe (Santiago) [Internet]. 2022;31(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7764/psykhe.2021.28041>

20. Agudelo-Hernández F, Vélez-Botero H, Rojas-Andrade R. Traducción y adaptación de la Escala de Continuidad de Servicios de Salud Mental de Alberta en un contexto latinoamericano. Rev Chil Neuro-Psiquiatr [Internet]. 2023 [citado el 18 de junio de 2024];61(3):258–69. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92272023000300258&lng=es

21. Lorca LA, Leão Ribeiro I, Torres-Castro R, Sacomori C, Rivera C. Propiedades psicométricas de la escala Post-COVID-19 Functional Status para adultos sobrevivientes de COVID-19. Rehabil (Madr, Internet) [Internet]. 2022;56(4):337–43. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rh.2021.07.002>

22. Leyte CT, Martínez ES. Diseño y validación de un instrumento de evaluación del compromiso docente en educación media superior. *Ciencia Latina* [Internet]. 2022 [citado el 18 de junio de 2024];6(4):1201–23. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2656>.

/ **Received:** 18 June 2024 | **Accepted:** 15 August 2024 | **Published:** 15 September 2024 |

Citation: Suárez-González, M., Díaz-Gómez, S., Vazquez-Argote, K., Núñez-Oduardo, E. Escala para documentos científicos de estandarización médica. *Bionatura*. **2024**; Volume (9). No 3.

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 Hidrólisis enzimática de almidón con α -amilasa en la industria azucarera**Enzymatic starch hydrolysis with α -amylase in the sugar industry**

Saúl Dueñas Casas ^{1, *}, Héctor Luis Ramírez ², Leissy Gómez Brizuela ³, Jesús Luis Orozco ⁴

¹Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba; saul33dc@gmail.com. ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-8878-5484>).

²Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba; hectorl.ramirez@umcc.cu . ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-1383-5149>).

³Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba; leissy.gomez@umcc.cu. ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-4832-7160>).

⁴Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba; jesus.luis@umcc.cu. ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-6484-0672>).

*Correspondencia: saul33dc@gmail.com; Tel.: (53) 55061900

Resumen

El objetivo de la presente investigación es determinar la corriente de aplicación del proceso de hidrólisis enzimática con α -amilasa en la producción de azúcar crudo, para ello se desarrolló un análisis y diseño de experimentos de superficie de respuesta. Bajo las condiciones de estudio la enzima demostró ser efectiva en el desdoblamiento del almidón con porcentajes de remoción entre un 83 y 99 %. Se logró ajustar un modelo de regresión lineal múltiple que explica el 75,96 % de la variabilidad del contenido de almidón final respecto a su contenido inicial, temperatura, pH, °Brix y concentración de α -amilasa. Se determinó a partir de los gráficos de superficie de respuesta que, para una misma dosis de almidón inicial, las diferentes concentraciones de enzima no provocan una gran variación en la remoción de almidón, por lo que desde el punto de vista económico es favorable trabajar con una dosis de 0,01 %. A partir del estudio del proceso de hidrólisis enzimática en los jugos simulados, se determinó que la corriente más factible para la aplicación de la α -amilasa tanto técnica como económicamente es la meladura.

Palabras Claves: α -amilasa; hidrólisis enzimática; almidón; industria azucarera.

Abstract

The objective of the present investigation is to determine the current application of the enzymatic hydrolysis process with α -amylase in the production of raw sugar, for this an analysis and design of response surface experiments was developed. Under the study conditions, the enzyme proved to be effective in the splitting of starch with removal percentages between 83 and 99 %. A multiple linear

regression model was fitted that explains 75,96 % of the variability of the final starch content with respect to its initial content, temperature, pH, °Brix and α -amylase concentration. It is determined from the response surface graphs that, for the same initial starch dose, the different enzyme concentrations do not cause a large variation in starch removal, so from an economic point of view it is favorable work with a dose of 0,01 %. From the study of the enzymatic hydrolysis process in the simulated juices, it was determined that the most feasible stream for the application of α -amylase both technically and economically is honeydew.

Keywords: alpha amylase; enzymatic hydrolysis; starch; sugar industry.

Introducción

Dentro del sector industrial, la producción de azúcar crudo se considera uno de los procesos más importantes en el área de la industria alimentaria y el comercio, por los innumerables aportes que realiza a la economía. Uno de los parámetros que más afecta la calidad del mismo y del producto final es el contenido de polisacáridos, específicamente el almidón.

El almidón es un polisacárido que se incorpora al proceso por medio de la caña de azúcar que es la principal materia prima.¹ Su presencia en el proceso de producción de azúcar crudo demora o inhibe la cristalización y aumenta las pérdidas de azúcar en la miel final, causa demoras en el proceso debido a viscosidades excesivas y pérdidas de sacarosa por modificaciones en el crecimiento del cristal,^{1,2} tiene la tendencia de ocluirse en el cristal de azúcar crudo.²⁻⁴ En el proceso de refinación reduce la filtración y la afinación y constituye un impedimento para el proceso de decoloración.³ De aquí la importancia de la cuantificación del mismo en la producción, en aras de la toma de medidas que reduzcan su contenido.

Atendiendo al efecto negativo que provoca el almidón en la calidad del azúcar crudo Zhou *et al.* propusieron para su eliminación la selección de variedades de caña sobre la base del contenido de almidón.⁴ La utilización de métodos físicos de separación como la ultrafiltración u ósmosis inversa, funcionan correctamente a pequeña escala, pero están lejos de ser desarrollados para su aplicación en procesos reales. Numerosos autores coinciden en que el tratamiento más eficaz para su eliminación consiste en adicionar la enzima α -amilasa para hidrolizar el almidón presente en el jugo.^{5,6} Las α -amilasas son enzimas extracelulares que catalizan la hidrólisis de los enlaces α -1,4-glicosídicos del almidón y libera diferentes tamaños de oligosacáridos en una configuración α -anomélica,^{7,8}

contribuyen con casi una cuarta parte de las ventas totales anuales de enzimas en el mercado mundial.⁹⁻¹¹

Bruijn y Jennings reportaron para una dosis de 7,2 ppm de amilasa bacteriana, porcentajes de remoción de almidón entre un 78 y 93 % en jugo mezclado en 15 min de hidrólisis;¹² mientras que Cole *et al.* demostraron que para esta misma corriente un desdoblamiento eficiente puede ser logrado en 60 min con concentraciones de α -amilasa entre 0,5 y 500 ppm.¹³ Para una razón de 1-2,5 g de α -amilasa por tonelada de caña molida Penados, reportó una remoción de 30 a 50 % de almidón.² Namer *et al.* para dosis de 2 a 5 g por tonelada de caña molida lograron más de 65 % de remoción en el tanque de jugo clarificado; también obtuvieron buenos resultados en la meladura para una razón de 5 g por tonelada de caña molida.¹⁴

En los últimos años la presencia de almidón en la industria azucarera cubana ha tomado relevancia para la comercialización del azúcar crudo, por lo que se han realizado varias investigaciones sobre el comportamiento del mismo en el proceso, sus efectos negativos y el proceso de hidrólisis enzimática como tecnología para su control.¹⁵⁻¹⁷ Como parte de estas investigaciones en los laboratorios del Centro de Estudios Biotecnológicos de la Universidad de Matanzas, se caracterizó una α -amilasa industrial, que presentó una actividad específica de 86 U/mg, además de altos porcentajes de actividad enzimática para valores de temperatura entre 35 y 90 °C, y pH entre 5 y 8,¹⁶ características que permiten su aplicación en varias corrientes de la industria. Lo anterior sugiere la necesidad de cuantificar la efectividad del proceso de hidrólisis con la enzima caracterizada en dichas corrientes; para ello se parte de la hipótesis que si se realiza un diseño de experimentos para el estudio del efecto de la α -amilasa en la remoción de almidón en jugos simulados, será posible determinar bajo qué condiciones se favorece su acción. En función de lo anterior esta investigación tiene como objetivo determinar la corriente de aplicación de la enzima α -amilasa en el proceso de producción de azúcar crudo.

Este estudio es de carácter novedoso para la industria azucarera cubana, pues no existen evidencias de la aplicación de este tratamiento en el proceso de producción de azúcar crudo, de ahí la importancia que reviste determinar en qué momento o corriente del proceso es adecuado realizar el tratamiento, así como la dosis a emplear.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en los laboratorios del Centro de Estudios Biotecnológicos de la Universidad de Matanzas. Entre los materiales que se emplearon en los experimentos se encuentran: α -amilasa industrial proveniente del Laboratorio Biológico Farmacéutico (LaBiofam) en Cienfuegos,

almidón, ácido 3,5-dinitrosalisílico (DNSA), azúcar crudo proveniente del central azucarero “Mario Muñoz Monroy” en Matanzas, cloruro de calcio, yoduro de sodio, yodato de potasio, ácido clorhídrico, ácido acético, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y NaHPO_4 .

Para el proceso investigativo se emplearon jugos simulados, con la finalidad de evitar las interferencias que pudieran tener las impurezas presentes en los jugos industriales que enmascaren el efecto de la enzima sobre el desdoblamiento de los almidones, y poder valorar la incidencia del pH, la temperatura y la concentración de sólidos solubles en el proceso de hidrólisis. Esto permitirá determinar la corriente más adecuada para realizar el tratamiento. Estudios posteriores, a partir de los resultados obtenidos, tendrán implícito corregir las dosis obtenidas a aplicar en jugos industriales.

Los jugos se simularon a escala de laboratorio con agua destilada y azúcar crudo para obtener la concentración de sólidos solubles necesarios expresados en °Brix, el pH se ajustó utilizando como tampón acetato de sodio (1 mol/L, pH 5) y fosfato de sodio (1mol/L, pH 6,5 y 8). La molaridad final de los tampones en los jugos simulados fue de 100 mmol/L. El contenido de almidón se obtuvo añadiendo una solución al 2 % (2 g/100 mL) de almidón disuelto en agua destilada. Para lograr la concentración de almidón se tuvo en cuenta la concentración del mismo en la azúcar empleada (216,48 mg/kg) para la simulación de los jugos.

El estudio del efecto de la α -amilasa en la remoción de almidón en estos jugos se realizó mediante un diseño y análisis de experimentos, para determinar los factores experimentales (temperatura, pH, °Brix, contenido de almidón, dosis de enzima) del proceso de hidrólisis enzimática que más inciden en el desdoblamiento de almidón; además de permitir encontrar las condiciones de los factores que garantizan valores óptimos en la respuesta. En la Tabla 1 se muestran los intervalos de los factores que se tuvieron en cuenta en el diseño de experimentos, valores que obedecen al rango normal de trabajo en el que se mueven las corrientes industriales donde es posible aplicar la enzima:

Tabla 1. Estudio de los parámetros para el diseño de los experimentos.

Temperatura (°C)	pH	°Brix	Contenido de almidón (mg/L)	Concentración de enzima (%)
30 – 90	5-8	16-65	200-600	0,01-0,05

Para desarrollar el proceso de hidrólisis, se tomaron 50 mL del sustrato, y se adicionó la α -amilasa a diferentes concentraciones: 0,01 % (0,1 mg/mL), 0,03 % (0,3 mg/mL) y 0,05 % (0,5 mg/mL). Se incubó durante 30 minutos y se enfría a 4 °C con el objetivo de detener la reacción de hidrólisis.¹³ A

los jugos simulados y los hidrolizados obtenidos a partir de las condiciones del diseño de experimento se le determinó el contenido de almidón por la metodología propuesta por ICUMSA.¹⁹

Se realizó un diseño de experimentos de compuesto central para superficie de respuesta, tipo estrella, centrado en las caras, en el software *Statgraphics Centurion 16.2*. Para evaluar la calidad del modelo matemático se tuvieron en cuenta, para un nivel de confianza de 5 %, el coeficiente de determinación (R^2), la prueba de Fisher de bondad de ajuste y el estadístico de Durbin Watson (DW). La influencia de los factores experimentales en el contenido de almidón final se determinó a partir del análisis de varianza ANOVA y el diagrama de Pareto correspondiente. Los gráficos de superficie de respuesta permiten observar la variación del contenido de almidón en tres corrientes de la industria, cuyas condiciones se determinan a partir de datos históricos de la misma (ver Tabla 2).

Tabla 2. Condiciones de las Corrientes a partir de datos históricos de la industria.

Corrientes	Temperatura (°C)	CV (%)	°Brix	CV (%)	pH	CV (%)
Jugo Alcalizado	40	5,2	16	3,9	8	3,0
Jugo Clarificado	90	4,7	17	4,5	6,8	1,3
Meladura	65	5,0	63	5,0	6,8	0,2

Donde CV: coeficiente de variación de la muestra que se analiza.

Resultados y Discusión

Se realizó un diseño de experimento de compuesto central para superficie de respuesta mediante el software *Statgraphics Centurion 16.2*, con un total de 47 corridas experimentales, en función de las cuales se simulan los jugos, y se determinó el contenido de almidón a la muestra y su correspondiente hidrolizado. En la Figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de almidón final (a) y el porcentaje de remoción por experimentos (b).

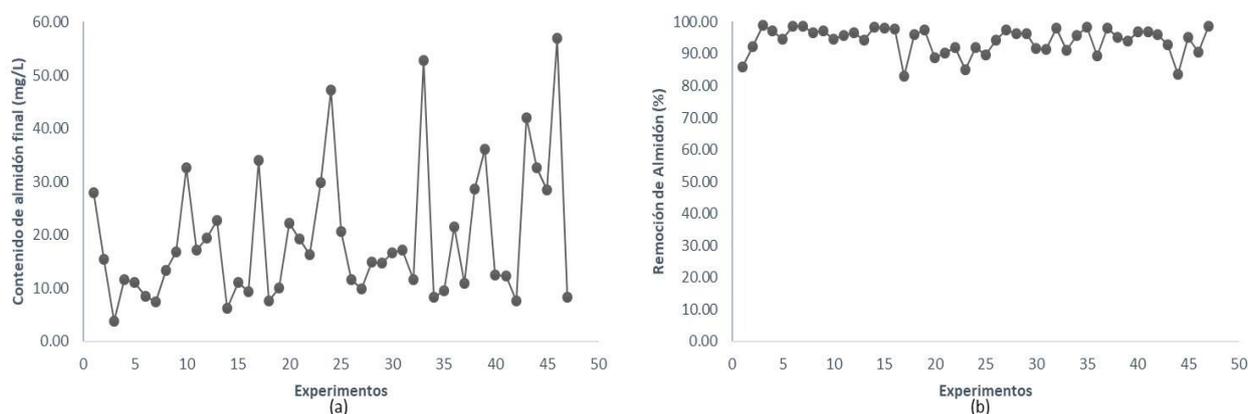


Figura 1. Proceso de hidrólisis del almidón: (a) Contenido de almidón final (mg/L) por experimentos; (b) Porcentaje de remoción de almidón por experimentos.

En la Figura 1a, se aprecia que el mayor valor de contenido de almidón corresponde al experimento 46 que se desarrolla a 30 °C, 16 °Brix, pH 8, dosis de enzima 0,01 % y 600 mg/L de almidón inicial, mientras que el menor valor de contenido de almidón corresponde al experimento 3 que ocurre a 60 °C, 16 °Brix, pH 6,5, dosis de enzima 0,03 % y 400 mg/mL de almidón inicial. En el experimento 3, las condiciones de hidrólisis fueron más favorables para la actividad de la enzima. La α -amilasa empleada en la investigación presenta su mayor actividad a pH 5 (pH óptimo) y retiene más de un 90 % de actividad a pH 6,5, en el intervalo de temperatura de 35 a 70 °C muestra un porcentaje de actividad superior al 75 % y su máxima actividad catalítica a una temperatura de 60 °C (temperatura óptima).¹⁶ Además, puede observarse que la dosis de enzima es menor en el experimento 46, para una mayor cantidad de sustrato.

En la Figura 1b, puede observarse que los valores de remoción de almidón varían entre un 83 y 99 % aproximadamente, el menor valor se alcanzó en el experimento 17 que se desarrolló a 30 °C, 16 °Brix, pH 5, una dosis de enzima de 0,01 % y 200 mg/L de almidón inicial, mientras que la mayor remoción ocurre bajo las condiciones del experimento 3.

En la Tabla 3 se muestran las condiciones a las que fueron realizados cada uno de los experimentos.

El estadígrafo R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 75,96 % de la variabilidad en contenido de almidón final, encontrándose por encima del 70 %, valor sugerido como mínimo para fines de optimización.²⁰ A través de la prueba de Fisher de bondad de ajuste se comprueba, por un estimador interno de la varianza del error experimental, que no existen evidencias de pérdida de la calidad de ajuste del modelo a partir de los errores experimentales, para una confianza del 95 % y que no se debe modificar o remover ningún término de este.

Al desarrollar el diseño de superficie de respuesta en el software Statgraphics Centurion 16.2, se obtiene el análisis de varianza ANOVA, el diagrama de Pareto, los gráficos de superficie de respuesta y el modelo matemático correspondiente al contenido de almidón final.

En la ecuación 1, se aprecia el modelo matemático que describe el efecto de la hidrólisis sobre el contenido de almidón.

$$\text{Contenido Almidón Final} = 24,7999 - 1,67544*A + 0,456219*B + 6,05966*C + 334,884*C + 0,0493306*E + 0,0118597*AA - 0,0722879*BC - 0,000399037*BE - 54,5672*CD - 0,566556*DE$$

(1)

Donde A: temperatura (°C); B: °Brix; C: pH; D: concentración de α -amilasa (%); E: contenido de almidón inicial (mg/L).

Tabla 3. Concentración inicial y % de remoción de almidón en función de los parámetros estudiados en los experimentos.

Exp.	Temperatura(°C)	Concentración (°Brix)	pH	Dosis de α -amilasa (%)	Almidón inicial (mg/L)	Remoción de almidón (%)	Exp.	temperatura (°C)	Concentración (°Brix)	pH	Dosis de α -amilasa (%)	Almidón inicial (mg/L)	Remoción de almidón (%)
1	30	16	8	0,05	200	86,03	25	30	65	5	0,01	200	89,66
2	90	65	5	0,01	200	92,31	26	90	16	8	0,05	200	94,20
3	60	16	6,5	0,03	400	99,03	27	60	40,5	6,5	0,01	400	97,53
4	60	40,5	6,5	0,03	400	97,08	28	60	40,5	6,5	0,03	400	96,28
5	60	40,5	6,5	0,03	200	94,50	29	60	40,5	6,5	0,03	400	96,31
6	90	16	8	0,05	600	98,58	30	30	16	5	0,05	200	91,72
7	90	65	5	0,05	600	98,76	31	90	16	5	0,01	200	91,40
8	60	40,5	8	0,03	400	96,65	32	60	40,5	6,5	0,03	600	98,05
9	90	16	5	0,01	600	97,19	33	90	16	8	0,01	600	91,19
10	30	65	8	0,01	600	94,55	34	90	65	5	0,05	200	95,88
11	60	65	6,5	0,03	400	95,70	35	90	16	5	0,05	600	98,43
12	90	65	8	0,01	600	96,75	36	30	65	8	0,05	200	89,29
13	30	40,5	6,5	0,03	400	94,34	37	90	65	8	0,05	600	98,17
14	90	40,5	6,5	0,03	400	98,45	38	30	16	5	0,05	600	95,22
15	90	65	5	0,01	600	98,15	39	30	65	5	0,01	600	93,99
16	60	40,5	5	0,03	400	97,68	40	60	40,5	6,5	0,03	400	96,88
17	30	16	5	0,01	200	83,03	41	60	40,5	6,5	0,05	400	96,91
18	90	65	8	0,01	200	96,15	42	90	65	8	0,05	200	96,15
19	60	40,5	6,5	0,03	400	97,51	43	30	16	5	0,01	600	93,00
20	90	16	8	0,01	200	88,92	44	30	16	8	0,01	200	83,65

21	30	65	5	0,05	200	90,36	45	30	65	5	0,05	600	95,26
22	90	16	5	0,05	200	91,87	46	30	16	8	0,01	600	90,52
23	30	65	8	0,01	200	85,04	47	30	65	8	0,05	600	98,63
24	30	16	8	0,05	600	92,12							

El software Statgraphics utiliza para la validación de este modelo los parámetros que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros estadísticos para la validación del modelo matemático.

Parámetros	Variable Respuesta
R² (%)	75,96
Estadístico Durbin-Watson (P-value)	2,19 (P=0,76)
F-Fischer (P-value)	26.21 (P=0)

En la Figura 2 se muestran los gráficos obtenidos en la validación del diseño de superficie de respuesta. No existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados y predichos, como se observa en la Figura 2a, lo que supone una correcta descripción de la realidad experimental y del buen ajuste del modelo de superficie respuesta.

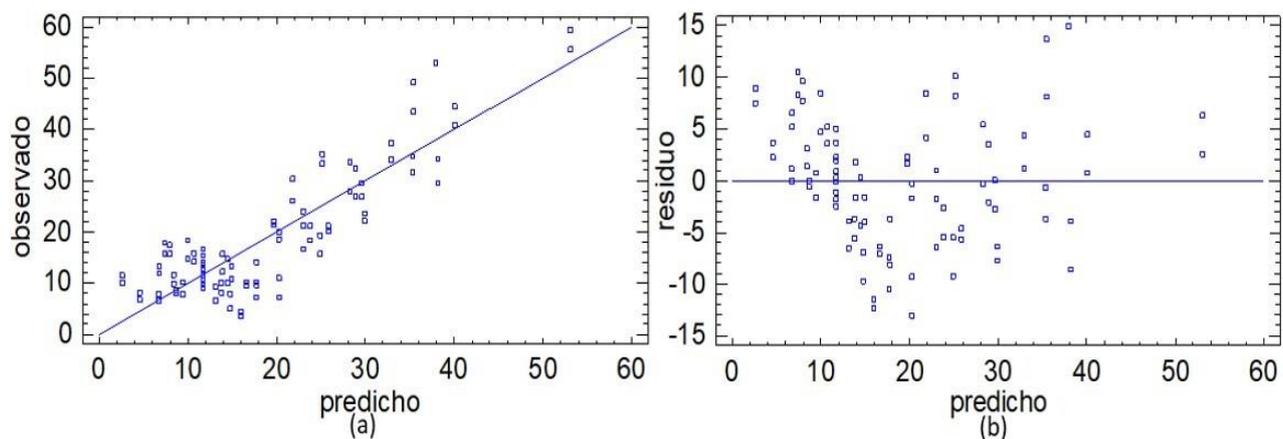


Figura 2. Validación del diseño de superficie de respuesta. (a) Valores de contenido de almidón final observados y predichos por el modelo; (b) Gráfico de residuos entre los valores de contenido de almidón final observados y del modelo ajustado.

El estadígrafo de Durbin-Watson (DW) es mayor que 0,05 para una confianza del 95 %, lo que permite inferir que los residuos no se encuentran correlacionados entre sí. Este análisis presenta gran importancia para evaluar la calidad del trabajo en la experimentación, puesto que señala que todos los factores que inciden sobre la variable respuesta se encuentran controlados o son considerados en la modelación experimental. Como el valor del estadígrafo es cercano a 2 puede decirse que los residuos varían aleatoriamente lo que se corrobora en la Figura 2b.

El análisis de varianza ANOVA que se muestra en la Tabla 5, permite evaluar si existe relación significativa entre los factores y la respuesta medida.

A partir de la Tabla 5, se puede apreciar que 10 efectos tienen un valor de probabilidad (p) menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95 %, siendo los más significativos la temperatura, los °Brix y la concentración de amilasa (p=0).

Tabla 5. Análisis de varianza para el contenido de almidón final.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	3895,14	1	3895,14	90,39	0,0000
B: °Brix	1225,8	1	1225,38	28,44	0,0000
C:pH	341,95	1	341,95	7,94	0,0061
D:Conc Amilasa	1651,72	1	1651,72	38,33	0,0000
E:Cont Almidón Inicial	711,45	1	711,45	16,51	0,0001
AA	2142,82	1	2142,82	49,73	0,0000
BC	451,67	1	451,67	10,48	0,0017
BE	244,68	1	244,68	5,68	0,0195
CD	171,50	1	171,50	3,98	0,0494
DE	328,68	1	328,68	7,63	0,0071
Bloques	2,57	1	2,57	0,06	0,8074
Error total	3533,43	82	43,09		
Total (corr.)	14701,0	93			

La influencia en la respuesta del sistema ante cambios en las condiciones puede ser observadas en el diagrama de Pareto (Figura 3). El mismo muestra cada uno de los efectos estimados de las variables y sus interacciones en orden decreciente de magnitud sobre el contenido de almidón final. La línea vertical permite determinar qué efectos son estadísticamente significativos.

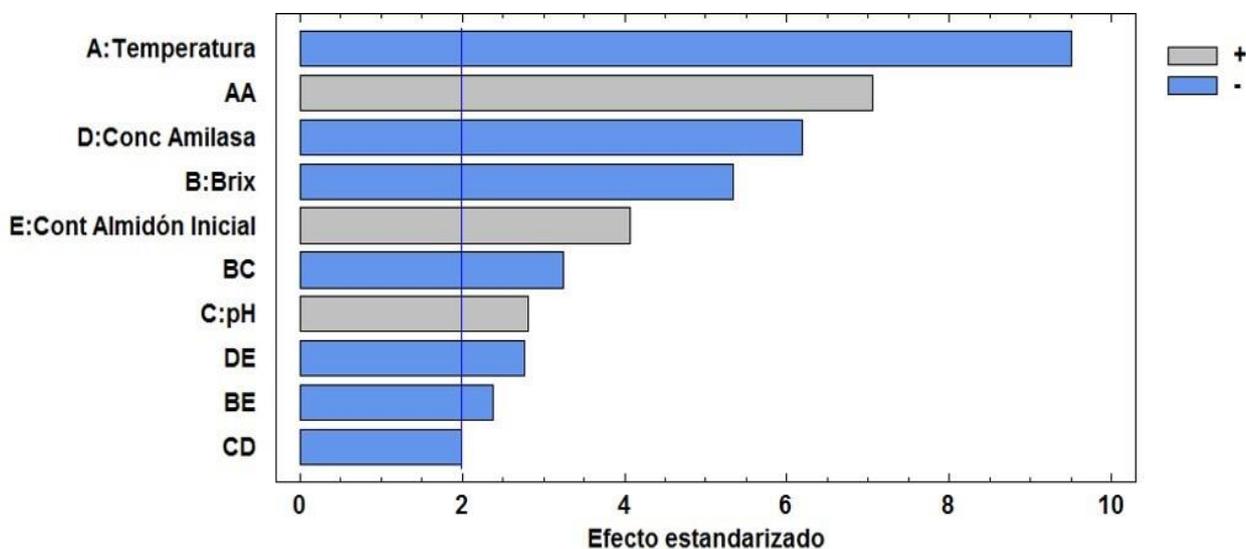


Figura 3. Efecto de los factores experimentales en el contenido de almidón (Diagrama de Pareto).

Como se observa en la Figura 3, la temperatura, la concentración de α -amilasa y el °Brix tienen una influencia estadísticamente significativa y un efecto negativo sobre la respuesta, es decir a medida

que aumentan, disminuye el contenido de almidón luego del proceso de hidrólisis. En cuanto al contenido de almidón inicial de la muestra y el pH, puede observarse en la figura que tienen una influencia significativa en la respuesta, pero en este caso un efecto positivo, a medida que aumentan se reduce la remoción de almidón.

Con el aumento de la temperatura aumenta la actividad catalítica de la enzima, lo que significa que se incrementa la capacidad de la misma de desdoblar el almidón, hasta alcanzar su máxima actividad a la temperatura óptima (60 °C), para luego decrecer rápidamente debido al proceso de inactivación térmica que sufren las enzimas.^{21,22} Gonzalez determinó que la enzima se mantiene estable en un rango de temperatura entre 35-50 °C, donde retiene más de un 90 % de su actividad, a temperaturas mayores de 60 °C la actividad decrece significativamente; a 80 °C la enzima perdió totalmente su actividad.¹⁶

Al aumentar la concentración de α -amilasa, se incrementa el grado de hidrólisis, pues se favorece la cantidad de sitios activos disponibles para la interacción enzima-sustrato, para una cantidad suficiente de almidón. A elevados niveles de °Brix a altas temperaturas, la actividad de la enzima se preserva debido a la reducción de la velocidad de reacción, al reducirse la velocidad de difusión de la enzima.²³

Al optimizar este modelo se obtiene que las condiciones que garantizan el mínimo contenido de almidón después del proceso de hidrólisis son las siguientes: 70,98 °C, 65 °Brix, pH 7,95, dosis de enzima de 0,05 % y contenido de almidón inicial de 581,28 mg/L. En el proceso de producción de azúcar crudo no existe una corriente específica que cumpla con estas condiciones de pH, °Brix y temperatura. Esto motiva que no se tenga en cuenta este óptimo para la aplicación de la enzima.

En la Figura 4, se muestran los graficos de superficie de respuestas estimados para cada una de las corrientes.

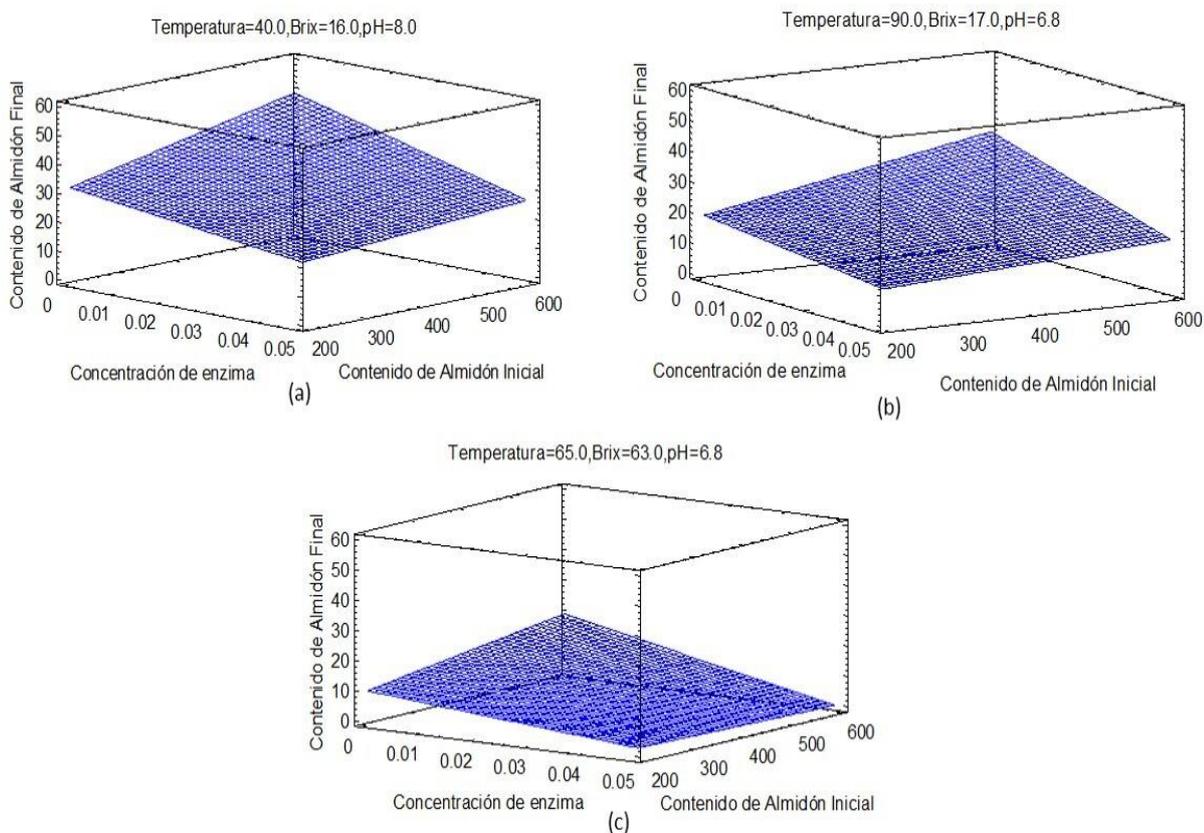


Figura 4. Superficie de respuesta estimada (a) Jugo Alcalizado; (b) Jugo Clarificado; (c) Meladura.

En la Figura 4, puede apreciarse de manera general que a medida que aumenta la dosis de enzima para un mismo contenido de almidón inicial, su contenido final se reduce, aunque no se observa una gran variación; mientras que para una misma dosis, al aumentar el contenido de almidón inicial, el contenido final del mismo es mayor, reafirmandose la influencia de los factores experimentales en la respuesta según el diagrama de Pareto. El contenido de almidón final varía entre 22 y 48 mg/L en el jugo alcalizado (Figura 4a), entre 12 y 35 mg/L en el jugo clarificado (Figura 4b) y entre 1 y 18 mg/L en la meladura (Figura 4c). La mayor remoción de almidón se alcanza en la meladura, los valores de temperatura y pH de la misma se encuentran cerca de los valores óptimos para la actividad de la enzima.¹⁶ Cole *et al.* obtuvieron que al aumentar los °Brix de 15 a 60 se triplicaba la actividad de la enzima a altas temperaturas (96 °C).²³

Para una misma corriente no existieron grandes diferencias entre la remoción a las distintas dosis de enzima aplicada, por lo que debe considerarse por criterios de costo de adquisición de la enzima emplear una dosis de 0,01 %. En la Tabla 6, se muestra el costo de aplicar la α -amilasa a esta dosis, en función de los flujos de las corrientes determinados a partir de datos históricos de la industria. Para este análisis se considera el costo unitario de la enzima de 15 \$/kg.²⁴

Tabla 6. Costo por concepto de enzima a aplicar en las corrientes objeto de estudio.

Corrientes	Flujo (kg/t de caña molida)	Dosis de enzima a aplicar (kg/t de caña molida)	Costo de aplicación (\$/año)
Jugo Alcalizado	1440,91	0,136	1 480 787,02
Jugo Clarificado	1336,39	0,125	1 367 808,07
Meladura	324,58	0,024	269 794,14
Tanto los flujos como las dosis de enzima se han expresado en función de la caña molida para permitir que los resultados sean extrapolables a otros procesos con diferente régimen de molienda			

En la Tabla 6, puede apreciarse que al ser el flujo de meladura a tratar inferior a las otras dos corrientes, el costo de aplicar la enzima en esta corriente es mucho menor. Si a este resultado se suma que los mejores porcentajes de remoción de almidón se lograron en esta misma corriente, se reafirma como la más adecuada para realizar el tratamiento enzimático. Estudios realizados por Penados,² Schoonees²⁵ y Zhou *et al.*⁴ corroboran el uso de la α -amilasa en esta corriente, confirmando el lugar de su dosificación.

Conclusiones

Bajo las condiciones del estudio, la α -amilasa demostró ser efectiva en el desdoblamiento del almidón al alcanzarse porcentajes de remoción entre un 83 y 99 %. Los porcentajes de remoción alcanzados en los experimentos son superiores a los reportados por Bruijn y Jennings,¹² Cole *et al.*,¹³ Penados,² y Namer *et al.*¹⁴ este resultado era de esperar, pues al ser simulados los jugos en el laboratorio no hay presencia de las impurezas propias de la industria azucarera. La corriente más factible para la aplicación de la α -amilasa tanto técnica como económicamente es la meladura. Sin embargo, estos criterios de selección no son suficientes, debido a que no se tienen en cuenta otros beneficios que provoca la hidrólisis enzimática, entre ellos se pueden mencionar: el aumento de la velocidad de sedimentación y la reducción del consumo de vapor.

Contribución de los autores: Conceptualización, Jesús Luis Orozco; Metodología, Héctor Luis Ramírez y Leissy Gómez Brizuela; software, Saul Dueñas Casas; validación, Saul Dueñas Casas; análisis, Jesús Luis Orozco y Saul Dueñas Casas; investigación, Saul Dueñas Casas, Héctor Luis Ramírez y Leissy Gómez Brizuela; recursos, Héctor Luis Ramírez y Leissy Gómez Brizuela; redacción, Saul Dueñas Casa; revisión y edición, Jesús Luis Orozco, Héctor Luis Ramírez y Leissy Gómez Brizuela.

Financiamiento: Esta investigación fue financiada por el proyecto “Aplicación de la enzima α -amilasa libre e inmovilizada en la producción de azúcar crudo” (PT211MT001-011), perteneciente al programa: Seguridad Alimentaria. Producción, Calidad y Sostenibilidad (01), del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de la provincia de Matanzas, Cuba.

Declaración del buró de revisión institucional: No aplicable.

Declaración del informe de consentimiento: No aplicable.

Acknowledgments: Los autores le agradecen al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y a la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC), por el apoyo provisto en el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de intereses: Los autores expresan que no hay conflicto de intereses.

Referencias

1. Castro, N. P. Determinación de la concentración de almidón por caracterización espectrofotométrica en el jugo de caña de azúcar de las variedades: Cp72-2086, Cp88-1165 y Cp73-1547 utilizadas en el ingenio trinidad Guatemala. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, febrero 2015.
2. Penados, M. Evaluación del impacto de adicionar la enzima alfa amilasa durante el proceso de evaporación en los niveles de almidón de azúcar crudo producido en un ingenio azucarero. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, febrero 2004.
3. Eggleston, G.; Viator, R.; Grisham, M. Glyphosphateripener effects on the processing quality of different sugarcane tissues. *Proc. ISSCT Congress South Africa 2007*, 26, 1460-1467.
4. Zhou, M.; Kimbeng, C.; Eggleston, G.; Viator, R.; Hale, A.; Gravois, K. Issues of starch in sugar cane processing and prospects of breeding for low starch content in sugar cane. *Sugar Cane International* 2008, 26, 3-17.
5. BeMiller, J.N.; Whistler, R.L. *Starch: Chemistry and Technology*, 3rd ed.; Academic Press: Purdue University, USA, 2009; pp. 629-655.
6. Patil, P.P.; Shinde, S.S.; Shaikh, T.I.; Trivedi, M.M. Properties of alpha-amylases & its industrial importance. *World Journal of Pharmaceutical Research* 2022, 11, 351-359.
7. Farooq, M.A.; Ali, S.; Hassan, A.; Tahir, H.M.; Mumtaz, S.; Mumtaz, S. Biosynthesis and industrial applications of α -amylase: a review. *Archives of Microbiology* 2021, 203, 1281–1292. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-02128-y>.

8. Savaner, S.; Sohani, S. Review on microbial α -amylase, types & their industrial application. *UGC Care Group-1 Journal* 2020, 23, No.04 (III).
9. Balakrishnan, D.; Kumar, S.S.; Sugathan, S., 2019. Enzymes in Industrial Food Processing in Green Bio-processes, 1st Ed.; Parameswaran, B., Varjani, S., Raveendran, S., Eds.; Springer, Singapore, 199 – 227. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3263-0>
10. Masina, N.; *et al.* A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydr. Polym.* 2017, 157, 1226-1236. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.094>.
11. Sindhu, R.; Binod, P.; Madhavan, A.; Beevi, U.S.; Mathew, A.K.; Abraham, A.; Pandey, A.; Kumar, V. Molecular improvements in microbial α -amylases for enhanced stability and catalytic efficiency. *Bioresour. Technol.* 2017, 245, 1740-1748. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.084>.
12. Bruijn, J.; Jennings, R.P. Enzymatic hydrolysis of starch in cane juice. *Proceedings of The South African Sugar Technologists Association* 1968, pp. 45-52.
13. Cole, M.R.; Eggleston, G.; Gilbert, A.; Chung, Y.J. Development of an Analytical Method to Measure Insoluble and Soluble Starch in Sugarcane and Sweet Sorghum Products. *Food Chemistry* 2016, 190, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.049>.
14. Namer, I., Rosa Pérez, J., Dávila, H., y Rivas, E. Caracterización de la producción y aplicación de enzimas en la industria azucarera cubana (1ra. Parte). ICIDCA 1988.
15. Alonso La Rosa, I. Influencia del contenido de almidón durante el proceso de producción de azúcar crudo. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de Matanzas, Cuba, julio 2017.
16. González, L. Estudio de las propiedades funcionales y operacionales de la α -amilasa inmovilizada en el proceso desdoblamiento de almidón. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de Matanzas, Cuba, julio 2018.
17. León Alonso, P. Estudio de las propiedades funcionales y operacionales de la α -amilasa inmovilizada en el proceso de desdoblamiento de almidón. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de Matanzas, Cuba, julio 2018.
18. Fadilah, R.; Syamsiah, H. Hydrolysis of starch in porang flour using alpha amylase. *Journal of Engineering Science and Technology* 2015, 6, 1-8.
19. ICUMSA. The determination of starch in raw sugar by a modified BSES method – Official. Berlin, Germany: Bartens, 2013.
20. Gutiérrez, H.; de la Vara Salazar R. *Análisis y diseño de experimentos*, 3rd ed.; McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, México, 2008.

21. Shukla, R.J.; Singh, S.P. Structural and catalytic properties of immobilized α -amylase from *Laceyella sacchari* TSI-2. *International Journal of Biological Macromolecules* 2016, 85, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.079>.
22. Kuddus, M. Introduction to Food Enzymes. In *Enzymes in Food Biotechnology* (Chapter 1). Academic Press, University of Hail, Saudi Arabia, 2019.
23. Cole, M.R.; Rose, I.; Chung, Y.J.; Eggleston, G. A structured approach to target starch solubilisation and hydrolysis for the sugarcane industry. *Food Chemistry* 2015, 166, 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.151>.
24. Alibaba. Disponible en: <https://www.alibaba.com/showroom/moto-bike.html?cps=v45jhkki&bm=cps&src=saf&msclkid=464e6011b7b61de3e89e069e4ed8d7f5> (Acceso el 10 de septiembre del 2019).
25. Schoonees, B.M. Starch hydrolysis using α -amylase: A laboratory evaluation using response surface methodology. *Proceedings of The South African Sugar Technologists Association* 2004, 78, 427-439.

/ **Received:** 20 June 2024 | **Accepted:** 30 August 2024 | **Published:** 15 September 2024 |

Citation: Dueñas-Casas, S., Ramírez, L., Gómez-Brizuela, L., Orozco, L. Hidrólisis enzimática de almidón con α -amilasa en la industria azucarera. *Bionatura*. 2024; Volume (9). No 3.

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 Optimización multiobjetivo con modelos multivariados en la producción de yogur natural batido

Multiobjective optimization with multivariate models in the production of natural milk shake yogurt

Ing. Eliany de la Caridad Valera Sterling^{1,2}, Dr.C. Eduardo García Noa^{2,*}, Dr.C. Lourdes Mariana Crespo Zafra³

1Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía, (Cubaenergía), La Habana, Cuba.

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6655-5637>

2Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae), La Habana, Cuba; egarcianoa@quimica.cujae.edu.cu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-9219>

3Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Fac. Ciencias Aplicadas, Universidad de Camaguey Ignacio Agramonte Loynaz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4799-3447>

*Correspondencia: egarcianoa@quimica.cujae.edu.cu; Telf.: (53) 5622 5798

DOI:

Resumen

En la producción de yogur natural hay un alto consumo de energía, no obstante, en algunas etapas del proceso no se hace un uso racional de los portadores energéticos; por lo que para reducir los consumos y disminuir las pérdidas, se definió como objetivo establecer las condiciones de operación con mayor eficiencia energética, integrando la optimización multiobjetivo con la simulación mediante modelos multivariados. Se estudiaron 10 producciones y el procedimiento incluyó el cálculo de los índices de consumo de vapor, de agua y el índice de pérdidas de materiales, dichos valores fueron 0,1384, 6,621 y 0,0192, respectivamente. Se aplicaron los métodos multivariados para establecer la relación entre la masa de yogur y los índices calculados con 14 variables de operación. Los modelos de Mínimos Cuadrado Parciales presentaron un error cuadrático de predicción inferior a 4,746. Para estimar la condición de operación de mayor eficiencia, se empleó la optimización multiobjetivo; lográndose el óptimo global en aquella en que la masa de yogur fue 3 582 kg. Debiéndose tener un control riguroso sobre el inóculo, la temperatura de refrescamiento del cultivo, la leche fermentada, y la masa de yogur ya que estas variables presentaron el mayor peso sobre las cuatro variables dependientes.

Palabras claves: optimización multiobjetivo, modelos multivariados, yogur natural batido, índices de consumo, pérdidas de materiales

Abstract

In the natural yogurt production there is a high consumption of energy; nevertheless, in some of the stages there are not a rational use of energy; To reduce the consumptions and reduce losses, the

objective was defined to establish operating conditions with high efficiency, integrating the multi-objective optimization with the multivariate models simulation. Were studied 10 productions and the procedure included the calculation of the total consumption rates of steam and water, and the material loss rate, these values were 0.1384, 6.621 and 0.0192, respectively. Multivariate methods were applied to establish the relationship between the yogurt mass and of the calculated rates with 14 operating variables; The models adjusted by Partial Least Squares were obtained with a lower quadratic prediction error equal to 4.746. Finally, to estimate the operating condition that increases efficiency, multi-objective optimization was used; where the operating condition in which the global optimum is achieved is that in which the mass of yogurt was 3 582 kg. Therefore, rigorous control must be taken during production on the inoculum, the cooling temperature of the technical culture, the fermented milk, and the whipped yogurt mass because these variables presented the greatest weight on the four dependent variables.

Keywords: multi-objective optimization, multivariate models, whipped natural yogurt, consumption rates, material loss rate.

Introducción

La producción de yogur natural batido conlleva un alto consumo energético, por lo que es importante que se utilice la energía racionalmente, no obstante, hay etapas del proceso que no hacen un uso óptimo de los portadores energéticos¹. Dada la potencialidad existente de reducir los consumos y las pérdidas, se partió de la hipótesis de que es posible con la integración de la optimización multiobjetivo^{2,3} y la simulación mediante modelos multivariados, establecer condiciones de operación que incrementen la eficiencia energética.

Para valorar el desempeño de un proceso se debe contar con índices que muestren las desviaciones en los consumos⁴ y, por otra parte, el análisis de datos puede incluir métodos multivariantes⁵ para estudiar variables correlacionadas. Entre ellos el análisis de conglomerados, el análisis de componentes principales y los mínimos cuadrados parciales^{6,7,8}.

Se debe tener en cuenta que la mejora de procesos tecnológicos requiere la optimización simultánea⁹ de varios objetivos que compiten entre sí; estos problemas se caracterizan por una gran complejidad del espacio de decisión, en estos casos puede ser útil la optimización multiobjetivo, que es una técnica¹⁰ que permite mejorar varios criterios en un proceso simultáneamente. Un modelo multiobjetivo puede transformarse en uno equivalente, mediante la maximización de la variable auxiliar en una función de pertenencia.

Las funciones de pertenencia lineales se expresan como en la ecuación (1).

$$\mu_1(z_1) = \int_0^1 \frac{z_1^u - z_1}{z_1^u - z_1^l} (1)$$

Donde:

$\mu_1(z_1)$: función de pertenencia de z_1

z_1^u y z_2^u : son los valores máximos de las funciones objetivo

z_1^l y z_2^l : son los límites inferiores de las funciones objetivo

Considerando las características de la tecnología en estudio¹¹ el objetivo general del trabajo fue establecer un procedimiento general para la mejora de los indicadores técnico-económicos en la producción de yogur¹² basado en las herramientas de los métodos multivariados y la optimización multiobjetivo.

Materiales y métodos

El procedimiento general se desarrolló en tres pasos:

1. Evaluación del proceso mediante balances de masa y energía para calcular los índices de consumo
2. Aplicación de métodos multivariados para obtener la relación funcional entre los índices de consumo y las variables del proceso
3. Empleo de la optimización multiobjetivo para establecer las mejores condiciones del proceso

Una vez identificado las operaciones, sus corrientes de entradas y salidas (frías o calientes) y el uso de agua (fría, caliente y de proceso) se plantearon los balances de masa y energía¹³; empleando variables del proceso de producción, especificaciones de calidad del proceso y de la materia prima. Definiéndose los parámetros que se midieron para estimar las pérdidas de materiales, los consumos energéticos y de materiales necesarios para calcular los índices de consumo del proceso.

En el segundo paso se realiza el análisis estadístico de los datos con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las variables y luego se aplican los métodos multivariados para obtener los modelos matemáticos que relacionan los índices de pérdidas de materiales y de los consumos de portadores energéticos con las variables del proceso.

Por último, se aplica la optimización multiobjetivo para estimar la condición de operación que incremente la eficiencia.

Para aplicar los balances de masa y energía se dividió el proceso de obtención de yogur natural batido en tres etapas:

1. Tratamiento térmico de la leche: esta etapa se compone por la reconstitución, homogenización y pasteurización de la leche
2. Preparación del cultivo: incluye la reconstitución y pasteurización de la leche para el inóculo, adición del cultivo madre, refrescamiento y almacenamiento del cultivo técnico
3. Fermentación y envasado, se realiza la inoculación con el cultivo técnico, coagulación, enfriamiento y envasado

Como resultado de los balances de energía se obtuvieron los consumos de vapor, agua fría y agua de proceso como portador energético, que permitieron el cálculo de los índices en cada etapa de la producción de yogur. La masa de yogur obtenida en cada producción se calculó empleando la ecuación (2)

$$m_{yogur} = P_{bolsas} * N_{bolsas} \quad (2)$$

Donde:

m_{yogur} : Masa de producto terminado (kg)

P_{bolsas} : peso de envases de producto terminado (kg)

N_{bolsas} : número de envases de producto terminado

Se emplearon las ecuaciones (3), (4), (5) y (6) con el fin de obtener los índices de consumo de vapor y agua en el proceso.

$$m_{v\ total} = m_{v\ tot1} + m_{v\ tot2} \quad (3)$$

$$Icv_{tot} = \frac{m_{v\ total}}{m_{yogur}} \quad (4)$$

Donde:

Icv_{tot} : Índice de consumo total de vapor (kg de vapor/kg de producto)

$m_{v\ total}$: Masa de vapor total en el proceso (kg)

$$Icap_{tot} = \frac{m_{ap\ total}}{m_{yogur}} \quad (5)$$

$$m_{ap\ total} = m_{ap\ tot1} + m_{ap\ tot2} + m_{ap\ tot3} \quad (6)$$

Donde:

$Icap_{tot}$: Índice de consumo total de agua de proceso (kg de agua de proceso/kg de producto)

$m_{ap\ total}$: Masa de agua de proceso total (kg)

Para el cálculo del índice de pérdidas de materiales se emplearon las ecuaciones (7) y (8).

$$Pérdidas = (m_{batido}) - (m_{yogur}) \quad (7)$$

$$Ip_m = \frac{Pérdidas}{m_{yogur}} \quad (8)$$

Donde:

m_{yogur} : Masa de producto terminado (kg)

m_{batido} : Masa de leche fermentada fría (kg)

Para aplicar las técnicas de la modelación multivariada se empleó la herramienta estadística Statgraphics Centurion, según el siguiente procedimiento:

1. Análisis de datos y sus correlaciones
2. Determinación de los grupos homogéneos de datos mediante la obtención de los Conglomerados (Clúster)

3. Análisis de componentes principales
4. Ajuste de modelos por mínimos cuadrados parciales (MCP)

Mediante el análisis de los datos se obtuvieron los coeficientes de correlación entre las 14 variables medidas mediante la correlación producto-momento de Pearson, empleando un nivel de confianza de 95%.

Para la obtención de los conglomerados se utilizaron el método del vecino más cercano y la métrica de distancia euclidiana cuadrada; teniendo en cuenta experiencias anteriores de la aplicación de estos métodos, en tecnologías lácteas¹³. Los datos se estandarizaron para que todas las variables estuvieran dentro de un mismo intervalo de valores. El análisis se realizó para las 10 observaciones (producciones) buscando diferencias y similitudes entre ellas.

El análisis de componentes principales se emplea como paso previo al método de mínimos cuadrados parciales. Los componentes principales o factores, son combinaciones lineales de las variables medidas en el proceso estudiado y cada uno de ellos fue extraído basado en la matriz de correlaciones. Para establecer la calidad de los datos para emplear métodos multivariados se obtuvo la medida de Kaiser-Meyer-Olkin y se aplicó la prueba de hipótesis de esfericidad de Bartlett para verificar que las variables experimentales no conforman una matriz de identidad.

La selección del número de factores se realizó teniendo en cuenta que cada uno de los componentes explica una parte de la variabilidad de los datos, seleccionando el número de componentes que explica un porcentaje acumulado superior al 80 % de la varianza total de los puntos experimentales^{5, 6 y 13}.

En el análisis por MCP se utilizó la cantidad de componentes que se obtienen del procedimiento de componentes principales, y se ajustan modelos para cuatro variables dependientes, que fueron m_{yogur} , Icv_{tot} , $Icap_{tot}$, Ip_m .

Para cada variable dependiente se obtuvieron dos modelos, uno con las variables experimentales estandarizadas centrando por la media, el cual se empleó para identificar las variables significativas estadísticamente y conocer atendiendo a la magnitud de su coeficiente, la influencia sobre las variables dependientes; mientras que su signo refleja el sentido de su efecto, si es positivo incide directamente y si el signo es negativo lo hace inversamente. Esta información se utilizó para identificar el valor experimental de cada variable independiente que favoreció más a la variable dependiente. Se obtuvo también el modelo con las variables no estandarizadas que puede emplearse para simular el proceso en estudio en sus unidades originales.

La significación estadística de los modelos se analizó con un 95 % de confiabilidad a través del valor-p de la razón de Fisher y la calidad de predicción se analizó a través del valor PRESS (sumatoria cuadrada del error de predicción). Los modelos se validaron por el método “sacar uno a la vez”, en el

cual se ajusta el modelo y se deja una producción sin incluir que después se utiliza para calcular el error de predicción. Este procedimiento se repitió tantas veces como cantidad de producciones hay y, finalmente, se reporta el promedio de los errores obtenidos en dichos cálculos.

El método de optimización multiobjetivo empleado se basa en el concepto de optimización de restricciones difusas^{14,15} donde el grado de satisfacción (λ), es el valor que se pretende maximizar. Las cuatro funciones objetivos fueron: maximizar la masa de yogur, minimizar el índice de consumo total de vapor y de agua de proceso en la línea y minimizar el índice de pérdidas de materiales en el proceso, De acuerdo a la ecuación (1) se definieron las ecuaciones de pertenencia (9), (10), (11) y (12) respectivamente

$$\mu\left(\frac{m_{yogur}^u - m_{yogur}^l}{m_{yogur}^u - m_{yogur}^l}\right) \geq \lambda_1 \quad (9)$$

$$\mu\left(\frac{Icv_{tot}^u - Icv_{tot}^l}{Icv_{tot}^u - Icv_{tot}^l}\right) \geq \lambda_2 \quad (10)$$

$$\mu\left(\frac{Icap_{tot}^u - Icap_{tot}^l}{Icap_{tot}^u - Icap_{tot}^l}\right) \geq \lambda_3 \quad (11)$$

$$\mu\left(\frac{Ip_m^u - Ip_m^l}{Ip_m^u - Ip_m^l}\right) \geq \lambda_4 \quad (12)$$

Donde:

$\mu(m_{yogur}), \mu(Icv_{tot}), \mu(Icap_{tot}), \mu(Ip_m)$: son las funciones de pertenencia de $m_{yogur}, Icv_{tot}, Icap_{tot}, Ip_m$

u, l : indican los límites máximos e inferiores de las funciones objetivo

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: grado de satisfacción de las variables $m_{yogur}, Icv_{tot}, Icap_{tot}, Ip_m$ respectivamente

Una vez obtenido el grado de satisfacción de cada función de pertenencia se realiza el cálculo del grado de satisfacción del proceso (λ_{global}) por la ecuación (13) para obtener la condición de operación que con el menor uso de vapor para pasteurizar la leche y un empleo mínimo de agua de proceso en las operaciones de enfriamiento se obtenga la mayor producción de yogur con la pérdida mínima de materiales. Esta condición será el óptimo global.

$$\lambda_{global} = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 \quad (13)$$

Donde:

λ_{global} : grado de satisfacción del proceso

Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra la masa de yogur que se obtuvo en las 10 producciones evaluadas obtenida por la ecuación (2) y los índices calculados, obtenidos al aplicar las ecuaciones (4), (5) y (8).

Como se puede observar en la tabla 1 los índices asociados a las pérdidas y consumos; se encuentran dispersos respecto a la media, puesto que, sus coeficientes de variación son superiores al 15 %; lo que

se debe a la diferencia entre los volúmenes de leche procesada, que es de ese orden, pues el volumen mínimo fue de 2 047 kg y el mayor de 4 095 kg, con un coeficiente de variación en las 10 producciones de 18,060%. Este hecho es positivo, pues se amplía el rango de valores en que serán válidos los modelos probabilísticos que se ajusten¹³.

Tabla 1. Masa de yogur (kg) e Índices de consumo obtenidos en las 10 producciones

Producción	$m_{yogur}(kg)$	Icv_{tot}	$Icap_{tot}$	Ip_m
1	4095	0,120	6,047	0,045
2	4087	0,118	6,182	0,048
3	3581	0,135	6,872	0,019
4	4093	0,118	6,191	0,046
5	2047	0,243	11,284	0,019
6	3581	0,135	6,755	0,019
7	3069	0,161	8,274	0,019
8	3068	0,157	8,007	0,019
9	3582	0,138	6,621	0,019
10	3576	0,138	6,604	0,020
Promedio	3477	0,146	6,047	0,045
Coefficiente de variación (%)	18,060	25,12	21,84	47,28
Mínimo	2047	0,118	6,047	0,019
Máximo	4095	0,243	11,284	0,048

Nomenclatura:

Icv_{tot} : Índice de consumo total de vapor (kg de vapor/kg de producto)

$Icap_{tot}$: Índice de consumo total de agua de proceso (kg de agua de proceso/kg de producto)

Ip_m : índice de pérdidas de materiales (kg de yogur perdido/kg de producto)

La determinación de los coeficientes de correlación en el análisis de datos es un paso fundamental antes de aplicar los métodos de la matemática multivariada, pues es una medida de la relación lineal entre dos variables numéricas; permitiendo identificar cuan dependientes son estas variables entre sí⁷. Tal y como se muestra en la tabla 2, las variables experimentales están altamente correlacionadas y estadísticamente significativas, puesto que la mayoría de los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos, se encontraron entre 0,5 y 1 y todos con valores - p inferiores a 0,05.

Se aprecia que hay correlaciones de variables donde existe una relación lineal positiva perfecta, lo que indica que el coeficiente de correlación es de (+1); así como también los pares donde el valor de

“r” es cercano a 1, en un sentido o en otro⁶. A medida que disminuya la temperatura de la leche reconstituida a la salida del tanque de almacenamiento (T_{Lr}); aumentará el consumo de vapor empleado para precalentar la leche en el pasteurizador (V_1).

De igual manera, el consumo de vapor, tienden a incrementarse juntos; al igual que la temperatura de pasteurización (T_{Lp1}), necesaria en la preparación del cultivo que tiende a aumentar con el consumo de vapor en esta etapa. Las variables relacionadas con el producto terminado tales como: *Inóculo* (masa a inocular de cultivo técnico en la etapa de fermentación), masa de leche fermentada (L_f), masa de leche fermentada fría (m_{batido}) y el número de bolsas (N_{bolsas}) también tienden a incrementarse directamente como es de esperar.

Tabla 2. Correlaciones significativas ($\alpha = 0,05$) entre los parámetros de operación

	TLcult	V1	V2	Inóculo	mbatido	Lf	myogur	Ap2
TLcult		X	X	-0,67	-0,65	-0,67	-0,67	X
V 1	X		-0,81	X	X	X	X	X
V 2	X	-0,81		X	X	X	X	0,66
Inóculo	-0,67	X	X		1,00	1,00	1,00	X
mbatido	-0,65	X	X	1,00		1,00	1,00	X
Lf	-0,67	X	X	1,00	1,00		1,00	X
myogur	-0,67	X	X	1,00	1,00	1,00		X
A p 2	X	X	0,66	X	X	X	X	

Nomenclatura

TLcult: temperatura de refrescamiento del cultivo (°C)

V1: vapor empleado para precalentar la leche en el pasteurizador (kg)

V2: consumo de vapor en la sección de pasteurización (kg)

Inóculo: masa a inocular de cultivo técnico en la etapa de fermentación (kg)

mbatido: masa de leche fermentada fría (kg)

Lf: masa de leche fermentada (kg)

myogur: masa de yogur producido (kg)

Ap2: consumo de agua de proceso para enfriar la leche pasteurizada en la preparación de cultivo (kg)

Fuente Reporte del software

Sin embargo, entre las variables relacionadas con el producto terminado y la temperatura de refrescamiento del cultivo (T_{Lcult}) existe una relación lineal pero negativa, de sentido inverso, lo que

significa que un bajo valor de esta temperatura favorecerá al producto terminado puesto que habrá un crecimiento en las variables asociadas con el mismo.

El hecho de haber obtenido correlaciones estadísticamente significativas entre las variables medidas justifica el procesamiento mediante los métodos matemáticos multivariados. El análisis de conglomerados permite identificar el grado de homogeneidad entre los datos experimentales, por lo que cuando se aplica a las observaciones por producción revela la similitud o diferencia entre las condiciones de operación durante el período de análisis^{7,13}. En la figura 1 se muestra el dendograma obtenido para las producciones en estudio.

El dendograma muestra que entre las corridas 9 y 10 se obtiene la menor distancia de agrupación, siendo significativo que ambas tienen un volumen de producción igual a 3500 L; estas como grupo, se asemejan a las observaciones 3, 7, y 8 que presenta la siguiente distancia de agrupación; pero resultaron ser similares, puesto que fueron producciones que trabajaron bajo semejantes condiciones de operación. Las producciones 1 y 2 como tienen un volumen de producción igual a 4000 L resultaron semejantes entre sí; las cuales presentaron una distancia de agrupación pequeña con la corrida 6, debido a que en esos días se llevó a cabo el proceso, con iguales condiciones de operación y con la observación 4, puesto que esta última tiene el mismo volumen de producción, estando así conformado el primer conglomerado por esas 9 observaciones. El segundo grupo resultó estar conformado por la producción 5 que presenta como diferencia fundamental que se trabajó con un volumen de producción igual a 2000 L.

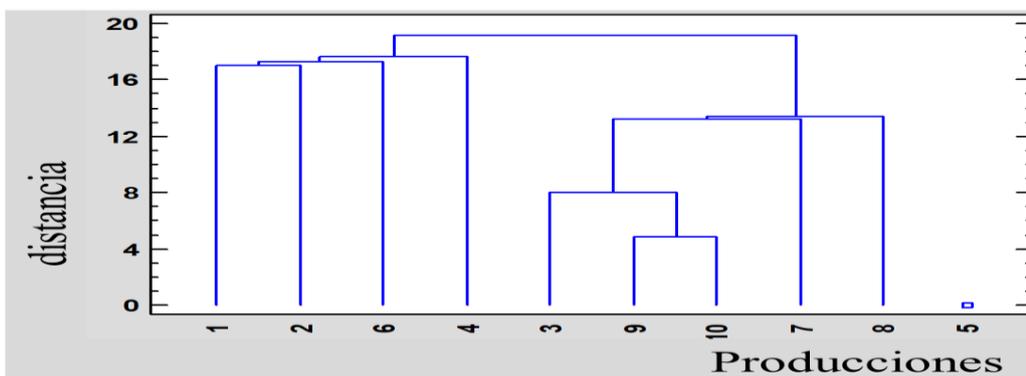


Figura 1. Dendograma de las variables asociadas a las producciones evaluadas

Fuente Reporte del software

Por los resultados que se obtienen, es evidente que el volumen de producción es un factor que tuvo mucho peso en la clasificación por grupos, lo que es de esperar, pues el resto de las variables asociadas a los consumos tomaran valores en dependencia a la masa total a procesar. Las condiciones bajo las cuales se operaron esas producciones, es otro factor a resaltar entre los grupos homogéneos; siendo

la temperatura de la leche pasteurizada fría una condición de operación común en la clasificación por grupos, lo que es muy importante ya que esta variable tiene una marcada influencia en la calidad del producto terminado.

Es importante destacar la utilidad de este método multivariado para identificar semejanzas y diferencias en una misma línea productiva.

El análisis de Componentes Principales se emplea como paso previo al método de mínimos cuadrados parciales para tener información respecto a los modelos matemáticos a ajustar^{6,13}. El propósito de este análisis es obtener el menor número de combinaciones lineales de las variables que expliquen el mayor por ciento de variabilidad en los datos.

Con las variables no lineales de la base de datos (TLcult, V1, V2, Inóculo, Mbatido, Lf, myogur, Ap1 y AP4) se obtuvo una medida de Kaiser-Meyer-Olkin igual a 0,62, que por ser superior a 0,5 indica que pueden emplearse el análisis factorial, dado que las correlaciones entre los pares de variables pueden ser explicadas por otras variables. En la prueba de hipótesis de esfericidad de Bartlett se obtuvo un valor de chí-cuadrado igual a 800, con un valor- p inferior a 0,05, lo que indica que la matriz de correlaciones no es una matriz de identidad, corroborándose que pueden emplearse los datos experimentales con métodos multivariados.

En la tabla 3 se muestra el porcentaje de la varianza explicada por cada componente y el acumulado, siendo de notar que 4 componentes explican el 95,102% de la variabilidad en los datos originales, lo cual puede considerarse suficiente⁵. Además, con un quinto componente, se explica un 3% adicional de la variabilidad de los datos, pero sería un modelo más complejo.

Con vistas a obtener la relación funcional entre las variables independientes y las 4 dependientes teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales, se aplicó el método de mínimos cuadrados parciales con cuatro componentes⁶. En las tablas 5 y 6 se muestra el análisis de varianza y de calidad de ajuste del modelo para m_{yogur} . No se muestran los resultados en el análisis de varianza y de calidad de ajuste del modelo para las variables Icv_{tot} , $Icap_{tot}$, Ip_m , pues fueron similares.

Tabla 3. Porcentaje de la varianza explicada por cada componente y la varianza acumulada

Componente número	Porcentaje de la varianza explicada	Porcentaje acumulado
1	56,103	56,103
2	20,832	76,935
3	13,815	90,750

4	4,352	95,102
5	3,207	98,309
6	1,686	99,995
7	0,004	100,000
8	0,000	100,000
9	0,000	100,000

Los resultados obtenidos demuestran que el modelo ajustado por MCP para la variable m_{yogur} presentó buena calidad de ajuste para un 95 % de confiabilidad, con valores-p inferiores a 0,05 que es el límite superior para la prueba de Análisis de varianza. Es de notar que se trabajó con 9 grados de libertad, siendo 14 variables independientes y 10 producciones, lo que resulta una de las ventajas de este tipo de ajuste, pues los grados de libertad se refieren al número total de componentes a incluir en el modelo.

Tabla 5. Análisis de varianza para m_{yogur}

Fuente	Suma de cuadrados	de Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Modelo	3,5467	4	0,8866	565,916	0,000
Residuos	0,0078	5	0,0015		
Total (corr.)	3,5545	9			

Fuente Reporte del software

Tabla 6. Calidad de predicción del ajuste de mínimos cuadrados parciales

Componente	% de variación en Y	R-cuadrada	Cuadrado medio (PRESS)
1	93,63	93,63	$5,22 \times 10^{-2}$
2	4,97	98,61	$2,66 \times 10^{-2}$
3	1,00	99,61	$1,83 \times 10^{-2}$
4	0,16	99,77	$1,66 \times 10^{-2}$

Fuente Reporte del software

Con cuatro componentes se obtuvo un error de predicción pequeño (PRESS), lo que manifiesta muy buena calidad en la predicción, siendo el valor de R-cuadrada igual a 99,77%, lo que indica que puede considerarse totalmente explicado el error experimental en los datos.

El modelo obtenido con los coeficientes no estandarizados para cada variable dependiente, se muestran a continuación:

$$m_{yogur} = -39,69 + 0,0032 T_{Lr} + 0,0573 T_{Lp} + 0,3805 T_{Lpf} - 0,0388 T_{Lp1} - 0,1978 T_{Lcult} + 0,0015 V_1 - 0,0034 V_2 - 0,0495 V_3 - 0,00001 a_{p4} + 0,0076 In\acute{o}culo + 0,0074 L_f + 0,0002 m_{batido} - 0,0010 Peso + 0,0002 N_{bolsas}$$

$$Icv_{tot} = -1,78 - 0,0044 T_{Lr} + 0,0021 T_{Lp} + 0,0321 T_{Lpf} + 0,0051 T_{Lp1} + 0,0311 T_{Lcult} + 5 \cdot 10^{-5} V_1 + 6 \cdot 10^{-4} V_2 + 0,0152 V_3 + 2 \cdot 10^{-6} a_{p4} - 4,3 \cdot 10^{-4} In\acute{o}culo - 4,23 \cdot 10^{-4} L_f - 1,1 \cdot 10^{-5} m_{batido} + 4,24 \cdot 10^{-4} Peso - 1,3 \cdot 10^{-5} N_{bolsas}$$

$$Icap_{tot} = -26,55 - 0,1094 T_{Lr} + 0,1432 T_{Lp} + 0,9579 T_{Lpf} + 0,0041 T_{Lp1} + 1,1826 T_{Lcult} - 0,0022 V_1 + 0,0216 V_2 + 0,2702 V_3 + 0,0002 a_{p4} - 0,0197 In\acute{o}culo - 0,0191 L_f - 5,2 \cdot 10^{-4} m_{batido} + 0,0163 Peso - 5,8 \cdot 10^{-4} N_{bolsas}$$

$$Ip_m = -2,82942 - 0,0024 T_{Lr} + 0,0047 T_{Lp} + 0,0285 T_{Lpf} - 0,0052 T_{Lp1} + 0,0185 T_{Lcult} + 5,7 \cdot 10^{-5} V_1 + 2,4 \cdot 10^{-4} V_2 + 7 \cdot 10^{-4} V_3 + 1,3 \cdot 10^{-6} a_{p4} + 1,23 \cdot 10^{-4} In\acute{o}culo + 1,21 \cdot 10^{-4} L_f + 4 \cdot 10^{-6} m_{batido} - 3 \cdot 10^{-4} Peso + 2 \cdot 10^{-6} N_{bolsas}$$

Donde:

TLr: temperatura de la leche pasteurizada en la etapa de recibo (°C)

TLp: temperatura de la leche pasteurizada en la etapa de intercambio térmico (°C)

TLpf: temperatura de la leche pasteurizada fría en la etapa de intercambio térmico (°C)

TLp1: temperatura de la leche pasteurizada en la etapa de preparación de cultivo técnico (°C)

TLpf1: temperatura de la leche pasteurizada en la etapa de fermentación de cultivo técnico (°C)

TLcult: temperatura de refrescamiento del cultivo (°C)

TsLf: temperatura de la leche fermentada fría (°C)

V1: vapor empleado para precalentar la leche en el pasteurizador (kg)

V2: consumo de vapor en la sección de pasteurización (kg)

V3: consumo de vapor en la etapa de preparación de cultivo técnico (kg)

Ap1: consumo de agua de proceso en la etapa de intercambio térmico (kg)

Ap2: consumo de agua de proceso para enfriar la leche pasteurizada en la preparación de cultivo (kg)

Ap3: consumo de agua de proceso para refrescar el cultivo técnico (kg)

Ap4: consumo de agua de proceso en la etapa de fermentación (kg)

Inóculo: masa a inocular de cultivo técnico en la etapa de fermentación (kg)

Lf: masa de leche fermentada (kg)

mbatido: masa de leche fermentada fría (kg)

myogur: masa de yogur producido (kg)

Peso: peso del envase del producto terminado (kg)

Nbolsas: número de envases de producto terminado (-)

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los valores predichos de las 10 producciones y sus correspondientes residuos (errores de estimación), obtenidos en el modelo para la variable dependiente m_{yogur} .

Se aprecia en la tabla 7 que los residuos son muy pequeños, en el caso de m_{yogur} , el mayor valor es 0,046 y el menor 0,005 (en valores absolutos), lo que manifiesta la calidad en la predicción con este modelo.

En el caso de las variables Icv_{tot} , $Icap_{tot}$, Ip_m los residuos en los tres modelos resultaron también pequeños, siendo los mayores errores de predicción iguales a -0,0060, -0,329 y -0,0083 respectivamente. Lo importante de tener esas predicciones con errores tan pequeños; es que se obtendrán buenos pronósticos cuando se empleen para evaluar otras combinaciones en las condiciones de producción.

Mediante el análisis de los coeficientes estandarizados fue posible identificar el peso con que inciden, ya sea en sentido directo o inverso; cada una de las variables independientes sobre las dependientes, tal como se presenta en la tabla 8.

Tabla 7. Valores obtenidos en el modelo para m_{yogur}

Producción	m_{yogur}	Predicho	Residuo
1	4095	4104	-9×10^{-3}
2	4087	4092	-5×10^{-3}
3	3581	3606	$-2,5 \times 10^{-2}$
4	4093	4075	$1,7 \times 10^{-2}$
5	2047	2069	$-2,2 \times 10^{-2}$
6	3581	3627	$-4,6 \times 10^{-2}$
7	3069	3055	$1,3 \times 10^{-2}$
8	3068	3027	4×10^{-2}
9	3582	3535	$4,6 \times 10^{-2}$
10	3576	3584	-8×10^{-3}

Las variables $Inóculo$, L_f , m_{batido} y T_{Lcult} presentan un peso significativo sobre las cuatro variables dependientes. Las tres primeras variables están estrechamente relacionadas con el producto terminado, incidiendo directamente sobre la masa de yogur y de forma inversa sobre los índices de consumo de vapor y agua, esto es un comportamiento esperado, pues cuando el proceso opere con

menos vapor para pasteurizar la leche, se requerirá menos agua de proceso en las operaciones de enfriamiento, para obtener la misma producción de yogur.

A excepción de estas variables, la temperatura de refrescamiento del cultivo incide directamente sobre esas variables dependientes; un bajo valor de esta temperatura favorecerá al producto terminado por lo que, habrá un crecimiento en las variables asociadas con el mismo; este comportamiento reafirma lo explicado anteriormente; por tanto, la temperatura de refrescamiento incidirá inversamente sobre la masa de yogur.

Sin embargo, estas cuatro variables independientes inciden de forma directa sobre el índice de pérdida de materiales, lo que es de esperar; ya que tanto el cultivo iniciador como la temperatura de incubación, las condiciones de procesamiento y las propiedades de composición de la base de la leche; son parámetros que pueden provocar la pérdida de material de este producto lácteo, debido a que, afectan el sabor y la textura del yogur, dichos factores son los más pronunciados que influyen en la calidad y aceptación del producto terminado.

Por ende, se debe tener un control riguroso sobre ellas, puesto que las mismas, pueden modificar significativamente a dichas variables dependientes y provocar cambios en las condiciones de operación, que podrían afectar el sabor y la textura del yogur y conllevar a la disminución del volumen de producción; generando tanto pérdidas materiales como económicas, ya que, un alto consumo de vapor y agua de proceso en la línea podría llegar a incurrir en gastos por servicios auxiliares y encarecer el proceso de producción de yogur natural batido.

A partir de toda la información obtenida del proceso en estudio, basado en los métodos de la matemática multivariada y en particular de los modelos de MCP, es evidente que existen condiciones de operación con las que se obtienen mejores resultados tanto en el aspecto técnico como económico, referido a la reducción del consumo de vapor, pero es conveniente realizar un análisis basado en la integración de procesos, que incluya varios indicadores de eficiencia. Una vía para seleccionar estas condiciones es la optimización multiobjetivo^{14,15,16}.

En la tabla 9 se muestra el grado de satisfacción de cada función de pertenencia y la λ_{global} del proceso, obtenidos a partir de la ec.5 a la ec.8. Otros autores han aplicado otros tipos de modelos más complejos con resultados igualmente satisfactorios^{17, 18, 19, 20}.

Tabla 8. Coeficientes estandarizados para la masa de yogur y los índices de consumo

Variables	m_{yogur}	Icv_{tot}	$Icap_{tot}$	Ip_m
TLr	0,003	-0,0878	-0,049	-0,1350
TLp	0,016	0,0108	0,016	0,0657

TLpf	0,075	0,1089	0,075	0,2725
TLp1	-0,027	0,0615	0,001	-0,1793
TLcult	-0,051	0,1391	0,122	0,2331
V 1	0,023	-0,0145	-0,013	0,0416
V 2	-0,034	0,1142	0,083	0,1160
V 3	-0,017	0,0901	0,037	0,0121
A p 4	-0,013	0,0528	0,112	0,0815
Inóculo	0,230	-0,2259	-0,235	0,1797
Lf	0,230	-0,2230	-0,233	0,1791
mbatido	0,231	-0,2104	-0,221	0,2174
Peso	-0,020	0,1376	0,123	0,3531
Nbolsas	0,227	-0,2313	-0,241	0,1452

Un valor de λ cercano o igual al valor 1; significa que dicha producción se llevó a cabo bajo las mejores condiciones de operación^{3,9,10}, ya sea; maximizar la masa de yogur, minimizar el índice de pérdidas de materiales, el índice de consumo total de vapor y el de agua de proceso. En cambio, si el grado de satisfacción es igual a 0 implica que esa producción no operó eficientemente.

Tabla 9. Grados de satisfacción de cada indicador evaluado y global

Producción	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_{global}
1	1,000	0,987	1,000	0,075	0,074
2	0,996	0,998	0,974	0,000	0,000
3	0,749	0,863	0,842	0,995	0,542
4	0,999	1,001	0,973	0,055	0,053
5	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
6	0,749	0,863	0,865	0,993	0,555
7	0,499	0,652	0,575	0,981	0,183
8	0,499	0,691	0,626	0,976	0,210
9	0,749	0,841	0,890	0,999	0,561
10	0,747	0,838	0,894	0,939	0,525

Nomenclatura:

λ_1 : grado de satisfacción de m_{yogur}

λ_2 : grado de satisfacción de Icv_{tot}

λ_3 : grado de satisfacción de $Icap_{tot}$

λ_4 : grado de satisfacción de I_{p_m}

λ_{global} : grado de satisfacción global

La producción 1 tuvo el mayor grado de satisfacción con un valor igual a 1 para la función de pertenencia, m_{yogur} , mientras que, las otras producciones que arrojaron un grado de satisfacción cercano o igual al valor 1 fueron la 4, 1 y 5 para las funciones de pertenencia, $I_{cv_{tot}}$, $I_{cap_{tot}}$, I_{p_m} respectivamente; lo que implica que en estas últimas producciones se alcance el mínimo valor de índice de consumo y de pérdida de materiales; siendo también la producción 1 la que permita maximizar la masa de yogur.

La producción 3, la 6, la 9 y la 10 tienen un buen valor de grado de satisfacción global pero la 9 resultó ser la de mayor λ_{global} , la cual hará que el proceso de elaboración de yogur natural batido desnatado opere más eficiente, al satisfacer el proceso de forma global.

La producción 9 presentó la mayor temperatura de pasteurización de la leche reconstituida tanto en la etapa de intercambio térmico como en la etapa de preparación del cultivo, por ende, el aumento de la intensidad del calentamiento induce una desnaturalización extensa de las proteínas del suero lo que se considera adecuado para producir yogur de alta calidad. La producción 9 tuvo bajos consumos de vapor y de agua de proceso, y presentó una pérdida mínima de materiales; lo que implica una disminución de los índices de consumo y de pérdida de materiales.

La producción 2 y 5 presentaron un valor de grado de satisfacción global igual a cero, esto se debe a que alguno de los λ de cada función de pertenencia obtuvo un valor igual a cero. El λ_4 es cero para la producción 2, ya que resultó tener el mayor consumo de agua de proceso en las etapas de intercambio térmico y preparación del cultivo, pero el resto están muy próximo a uno. En la producción 5 las tres primeras son cero y la cuarta es uno (que es el mejor valor esperado); esto es debido a que la 5 presentó el menor volumen de producción y el consumo de vapor y agua de proceso es alto

A pesar, que la producción 1 es la que más yogur produce, es menos eficiente dicha producción; debido a que se produce más yogur, pero se pierde más producto, por lo que se considera la producción 9 como la mejor condición de operación, aunque no sea la producción que más yogur produce.

Conclusiones

Se obtienen altas correlaciones estadísticamente significativas entre las variables experimentales y cinco de ellas tienen un coeficiente igual a uno, lo que justifica el uso de los métodos de la matemática multivariada. Mediante el método de conglomerados se identificó que el volumen de producción es un factor de peso en la clasificación de las producciones, aunque también la temperatura de la leche pasteurizada fría es una variable que influye en la conformación de los grupos homogéneos. Los

modelos ajustados por MCP que establecen la relación funcional entre la masa de yogur, los índices de consumo total de vapor y agua en el proceso y el de pérdidas de materiales con 14 variables de operación, posee un error cuadrático de predicción inferior igual a 4,746, por lo que son útiles para simular esta etapa y establecen que el inóculo, la temperatura de refrescamiento del cultivo técnico, la leche fermentada, y la masa de yogur batido presentan el mayor peso sobre las cuatro variables dependientes, lo que indica que se debe tener un control riguroso sobre ellas durante la producción. Integrandos los resultados, se determinó que el grado de satisfacción del proceso indica que la condición de operación en que se logra el óptimo global es aquella en que la masa de yogur es 3 582 kg, y los índices de consumo total de vapor y agua de proceso, y el índice de pérdidas de materiales, son en kg/kg de producto 0,1384, 6,621 y 0,0192, respectivamente. Lo que manifiesta que es posible la mejora del proceso productivo basado en el procedimiento general propuesto.

Contribución de los autores: Conceptualización, Eliany de la Caridad Valera Sterling, metodología, Eduardo García Noa, validación, Eliany de la Caridad Valera Sterling, Eduardo García Noa, análisis, Eliany de la Caridad Valera Sterling, Eduardo García Noa, Lourdes Mariana Crespo Zafra, investigación, Eliany de la Caridad Valera Sterling, redacción, Eliany de la Caridad Valera Sterling, revisión y edición, Eduardo García Noa, Lourdes Mariana Crespo Zafra

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo

Declaración del buró de revisión institucional: No aplicable

Declaración del informe de consentimiento: No aplicable

Conflicto de intereses: Los autores expresan que no hay conflicto de intereses

Referencias

1. **Valera Sterling, Eliany de la C, García Noa, Eduardo,** *Empleo de fuentes renovables de energía y métodos de integración de procesos en la industria láctea*, 83, La Habana, Cuba : s.n., 2023, Ecosolar, págs. 29-35. ISSN-1028-6004.
2. **Cerda-Flores, S.C.; Rojas-Punzo, A.A.; Nápoles-Rivera, F.** *Applications of Multi-Objective Optimization to Industrial Processes: A Literature Review. Processes* **2022**, *10*, 133. <https://doi.org/10.3390/pr10010133>
3. **Gabriel Minella, G.,** *Optimización multi-objetivo para la programación de la producción*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España : s.n., 2014. Tesis doctoral.
4. *Estudio del comportamiento de indicadores de desempeño energético de un hotel de Varadero. Triana Pujol, Ariel, y otros.* 1, La Habana, Cuba : s.n., 2023, Ingeniería Industrial, Vol. 44. ISSN 1815-5936.

5. **Cuadras, Carlos M.** *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona, Spain : CMC Editions, 2014.
6. . **Barrera Aldama, Yenisey, García Noa, Eduardo, Solis Aliaskina, K.**, Análisis de procesos en la cuba quesera empleando el método de los mínimos cuadrados parciales, Santa Clara : s.n., , Centro Azúcar, Vol. 47. ISSN 0253-5777.2020
7. **Alla A., Jeffrey K. Brecht, Ismail U.**, Statistical and temporal analysis of a novel multivariate time series data for food engineering, *Journal of Food Engineering* 298 (2021), doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110477
8. **Garivia Peña, Carlos.** *Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales PLS Aplicada a Datos Variedad Valuados*. Facultad de Ciencias, Escuela de Estadística, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia : s.n., 2016. Tesis o trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias-Estadística.
9. **Aranda Pinilla, J., Orjuela Castro, J.**, *Optimización Multiobjetivo en la Gestión de Cadenas de Suministro de Biocombustibles. Una Revisión de la Literatura*. . 1, Bogotá, Colombia : s.n., 2015, Ingeniería, Vol. 20, págs. 37-63. ISSN: 0121-750X.
10. **Calderón-Arce, C., Alvarado-Moya, P.**, *Optimización multiobjetivo con funciones de alto costo computacional. Revisión del estado del arte*. . Costa Rica : s.n., 2016, Tecnología en Marcha, págs. 16-24.
11. **NEIAL**, *Yogur batido natural y aromatizado. De coágulo o batido. Especificaciones*. La Habana, Cuba : Empresa Complejo Lácteo de La Habana, 2018.
12. **NEIAL, Norma de proceso.** *Yogur batido. Proceso productivo*. La Habana, Cuba : Empresa Complejo Lácteo de La Habana, 2022.
13. **Gutiérrez-Cordero, Edilia, García-Noa, Eduardo, Sariego-Toledo, Yanet**, *Análisis multivariado de índices de consumo en procesos de obtención de leche de soya*. . 3, Antioquía, Colombia : s.n., 2023, Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Vol. 24. ISSN: 0122-8706.
14. **Hassna, B.; Namany, S.; Alherbawi, M.; Elomri, A.; Al-Ansari, T.** *Multi-Objective Optimization for Food Availability under Economic and Environmental Risk Constraints*. *Sustainability*, 2024, 16, 4336. <https://doi.org/10.3390/su16114336>
15. **Arif Misrol, M., Rafida Wan Sh., Jeng Shiun, L.**, *Multi-objective Optimization of an Integrated Energy-Water-Waste Nexus for Eco-Industrial Park*. Malaysia : s.n., 2021, Chemical Engineering, Vol. 89. ISBN 978-88-95608-87-7; ISSN 2283-9216.
16. **Egea, J.A.; García, M.R.; Vilas, C.**, Dynamic Modelling and Simulation of Food Systems: Recent Trends and Applications. *Foods*, 2023, 12, 557. <https://doi.org/10.3390/foods12030557>

17. **Ricardo Abejón, A., Batlle-Bayer, L., Laso, J., Bala, A., Vazquez-Rowe, I., Larrea-Gallegos, G., Margallo, M., Cristobal, J., Puig, P., Fullana-i-Palmer, P., Aldaco, R.,** Multi-Objective Optimization of Nutritional, Environmental and Economic Aspects of Diets Applied to the Spanish Context, *Foods* **2020**, 9, 1677; doi:10.3390/foods9111677
18. **Jungwon Y., Soyong Y., Jinhong K., Youngjae L., Kil-Taek L., Seiki K., Sung-Soo R., Hyeondeok J.,** A Confidence Interval-Based Process Optimization Method Using Second-Order Polynomial Regression Analysis, *Processes*, 2020, 8, 1206; doi:10.3390/pr8101206
19. **Fei, L., Xi, L., Zhenkun W., Shunyu, Y., Xialiang, T., Mingxuan, Y., Qingfu, Z.,** Large Language Model for Multi-objective Evolutionary Optimization, *J. Latex Class Files*, 2024, arXiv:2310.12541v3
20. **Falcón-Cardona, G., Coello Coello, C.,** Indicator-based Multi-Objective Evolutionary Algorithms: A Comprehensive Survey, *ACM Comput. Surv.*, Vol. 9, No. 4, Article 39. Publication date: February 2019, <https://doi.org/0000001.0000001>

/ **Received:** 19 June 2024 / **Accepted:** 27 August 2024 / **Published:** 15 September 2024 /

Citation: Valera-Sterling, E., García-Noa, E., Crespo-Zafra, L. Optimización multiobjetivo con modelos multivariados en la producción de yogur natural batido. *Bionatura*. **2024**; Volume (9). No 3.

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/>)

12 Uso de accesorios protésicos en la radioterapia del cáncer de cabeza y cuello

Use of Prosthetic Accessories in Head and Neck Cancer Radiotherapy

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>

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

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

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

Correspondencia: Dr. Isidro de Jesús Nápoles González. Email isidro.cmw@infomed.sld.cu

[DOI:](#)

Resumen

La radioterapia actual requiere contar con equipos de alta tecnología y la participación de grupos de trabajo donde el protesista maxilofacial, proporciona una colaboración eficiente confeccionando accesorios protésicos que están fabricados de forma individual y específicos para cada área y paciente a tratar. Estos accesorios permiten homogenizar, compensar y distribuir la dosis indicada y en adición la protección de tejidos u órganos no involucrados en la planeación. Estos aditamentos protésicos son de suma importancia, ya que cumplen con el objetivo de brindar protección adicional a los tejidos cercanos al sitio que recibirá radioterapia, por lo que están concebidos como: elementos portadores, localizadores, separadores y protectores. Los accesorios protésicos, como elementos coadyuvantes en el tratamiento oncoespecífico con radiación ionizante en pacientes con cáncer de cabeza y cuello; son de suma importancia en la correcta planificación y ejecución del tratamiento.

Palabras clave: cáncer de cabeza y cuello; accesorios protésicos; radioterapia; tratamiento; efectos de la radioterapia.

Abstract

Today's radiotherapy requires high-tech equipment and the participation of working groups where the maxillofacial prosthetist provides efficient collaboration by making prosthetic accessories that are individually manufactured and specific to each area and patient to be treated. These accessories make it possible to homogenize, compensate and distribute the indicated dose and, in addition, the protection of tissues or organs not involved in the planning. These prosthetic attachments are of utmost importance, as they meet the objective of providing additional protection to the tissues near the site that will receive radiotherapy, so they are conceived as: carrier elements, locators, separators and protectors. Prosthetic accessories, as adjuvants in oncospecific treatment with ionizing radiation

in patients with head and neck cancer; They are of utmost importance in the proper planning and execution of treatment.

Passwords: HEAD AND NECK CANCER; PROSTHETIC ACCESSORIES; RADIOTHERAPY; TREATMENT; EFFECTS OF RADIATION THERAPY.

Introducción

El carcinoma de cabeza y cuello o tracto aerodigestivo superior, son neoplasias que comparten elementos comunes como: etiología, epidemiología, histología, evolución clínica, procedimientos diagnósticos, enfoques terapéuticos y medidas de seguimiento y con localización anatómica en los senos paranasales, nasofaringe, orofaringe (amígdala, paladar blando, base de lengua), hipofaringe, laringe, cavidad oral (mucosa oral, encía, paladar duro, lengua y suelo de boca), y glándulas salivares. Dentro de esta clasificación se excluyen los tumores de la piel, cerebrales y tiroideos.¹ En esa localización a nivel mundial, el cáncer ocupa el sexto lugar entre las neoplasias y el carcinoma de células escamosas se muestra con mayor frecuencia. Entre el 90 y 95 % de los tumores de cabeza y cuello, son de origen escamoso y su incidencia mundial se estimada en 363 000 pacientes, con mortalidad de 200 000 cada año.^{2,3}

La sospecha del cáncer de cabeza y cuello en un paciente, dependerá de los síntomas presentes según la localización específica de la enfermedad. Los pacientes pueden manifestar: aumento de volumen en el cuello, úlceras en la lengua, zonas con sangrado, manchas rojas o blancas en la boca, dolor de garganta, deglución dolorosa, ronquera persistente, nariz congestionada en un lado y/o secreción de sangre en la nariz y resulta de suma importancia que los profesionales que atienden esta área del saber, realicen la secuencia diagnóstica normada para un diagnóstico precoz y terapéutica adecuada:

- Examen físico: Puede incluir el examen visual de la boca la nariz y el cuello con la utilización de luz y espejo para tener una visión más clara. La observación y palpación de los labios las mejillas las encías y el cuello se lleva a cabo para la identificación de bultos u otras anomalías. Las conclusiones de estas observaciones guiaran los procedimientos diagnósticos posteriores.

- Endoscopia: Mientras que la boca y la faringe oral pueden ser inspeccionadas directamente, la inspección de la nasofaringe la hipofaringe y la laringe requieren del uso de laringoscopia indirecta con espejo y/o endoscopia directa con el uso del endoscopio.

- Estudios imagenológicos: La tomografía computarizada (TC) y la imagen por resonancia magnética (IRM), se usan para para conocer el tamaño y forma del tumor primario. La TC muestra los tejidos blandos incluyendo los ganglios linfáticos, las estructuras óseas y los vasos sanguíneos y la IRM es el procedimiento inicial preferible, para todas las localizaciones de los tumores con excepción de los

laríngeos e hipofaríngeos. Las radiografías de tórax se recomiendan para evaluar la posible presencia de metástasis en el pulmón.

- Examen histopatológico: El estudio histológico del tejido tumoral mediante la biopsia, confirma el diagnóstico del cáncer y revelará características específicas del tumor que definen la agresividad y por consiguiente el tratamiento indicado.

El manejo terapéutico para la atención al paciente con este tipo de cáncer es complejo; la actuación de un equipo multidisciplinario es fundamental, para la planificar el tratamiento; donde el equipo multidisciplinario integrado por: cirujanos, radioterapeutas y protesistas trabajan en conjunto.⁵ Contempla diferentes alternativas según normas nacionales e internacionales, siendo las principales: cirugía y radioterapia asociada o no a quimioterapia y/o terapias biológicas, en dependencia del estadio tumoral y la reserva funcional del paciente.^{6,7,8,9} El médico radioterapeuta es el encargado, además, de evalúa la relación riesgo/beneficio, y sólo deben adoptarse, si producen un beneficio mayor al detrimento que ocasione al enfermo.

En el presente comentario los autores se propusieron como objetivo: destacar el papel de los accesorios protésicos utilizados en la radioterapia del cáncer de cabeza y cuello.

Radioterapia en el cáncer de cabeza y cuello:

A finales del siglo XIX después de que Roentgen descubriera los rayos X en 1895, comenzó a utilizarse la radioterapia con fines terapéuticos en lesiones malignas. Becquerel y el matrimonio Curie en 1896, declaran la radiactividad del mineral uranio y es tratado el primer paciente con radioterapia. La actuación conjunta de Pierre y María Curie en 1898, descubren el isótopo Radio y Rutherford revela las radiaciones Alfa y Beta en 1899. Ya en el siglo XX, alrededor del año 1903, Graham Bell para que la dosis fuese elevada y poder usarlas para el tratamiento de cáncer de cuello uterino y lesiones dermatológicas, aproximó las fuentes radiactivas al tumor.¹⁰

La radioterapia antitumoral consiste en la administración de radiación ionizante en un volumen del cuerpo, para erradicar o despoblar células tumorales; sin sobrepasar los límites tolerables para los tejidos normales con el objetivo del control local del tumor; es decir, evitar que se produzca una recidiva del tumor una vez eliminado, y en consecuencia, conseguir un aumento de la supervivencia. En este sentido el especialista en Oncología Radioterápica, debe ser competente en las indicaciones, planificación, ejecución y control de los tratamientos con radiación ionizante y terapéuticas afines, la evaluación de la respuesta y el seguimiento de los pacientes tratados, participando junto a otros especialistas, en la prestación de cuidados paliativos, asistencia y apoyo clínico a los enfermos terminales.^{10,11}

En la actualidad los servicios de Radioterapia para la atención a los diferentes tipos de cánceres se dividen en dos grandes áreas: Teleterapia y Braquiterapia: ^{12, 13}

- Teleterapia: En esta modalidad de tratamiento la fuente de radiación está lejos y fuera del paciente.
- Braquiterapia: Es un tipo de radioterapia, donde la fuente radiactiva está en el interior del paciente, ya sea en cavidades anatómicas, cerca del tumor o en el lecho tumoral.

Efectos adversos de la radioterapia:

1. Efectos que producen las radiaciones ionizantes según la célula afectada: ¹⁴

- Daño genético: por una mutación de una célula germinal. Se manifestará en la descendencia del individuo.
- Daño somático: por mutación de una célula de cualquier órgano, excepto las células germinales. Se manifiestan de forma inmediata en el individuo.

Efectos de la radiación ionizante según el mecanismo de producción: ¹¹

- Efecto estocástico o aleatorio: por una mutación genética. Ejemplos: carcinogénesis, enfermedades hereditarias.
 - a) No tiene umbral de dosis.
 - b) Aparición tardía.
 - c) Gravedad independiente de la dosis.
- Efecto no estocástico o determinista: por muerte celular acumulada. Ejemplos: eritema, neumonitis y catarata.
 - a) Aparece a partir de una dosis umbral de radiación.
 - b) Aparición precoz o tardía.
 - c) Gravedad depende de la dosis.

Clasificación de efectos adversos de la radiación: ¹¹

Los efectos adversos según tiempo de aparición pueden ser: agudos y tardíos

- Los efectos agudos: Se presentan durante el tiempo de exposición a la terapia y en su mayoría son autolimitados, reversibles y asociados a pocas secuelas. Afectan a tejidos con alta tasa de replicación celular, principalmente epitelios y dependen de la dosis total de radiación. Los principales son: descamación de piel, mucositis, plaquetopenia, linfopenia, dolor y cansancio.
- Los efectos tardíos: Se manifiestan meses o años después de la radioterapia, con una incidencia creciente en el tiempo, generalmente irreversibles y asociados a secuelas permanentes. Dependen de

la dosis por fracción recibida. Afectan a tejidos con lenta tasa de replicación celular: tejidos conectivos, vasos sanguíneos y tejido nervioso, por inflamación crónica y fibrosis.

Accesorios protésicos en la radioterapia:

La radioterapia actual requiere contar con equipos de alta tecnología y la participación de equipos de trabajo donde el protesista maxilofacial, además de la rehabilitación protésica maxilofacial, proporciona una colaboración eficiente en esta terapia, confeccionando accesorios o elementos protésicos que están fabricados de forma individual y específicos para cada área y paciente a tratar.

15

Los aditamentos o accesorios protésicos son de suma importancia en la braquiterapia, porque para suministrar la radiación al sitio tumoral localizado, se utilizan agujas o catéteres que necesitan ser colocados de forma exacta en el sitio tumoral. Tal precisión requiere la elaboración de estas prótesis auxiliares, especialmente diseñadas y fabricadas para este fin.¹⁶

En la teleterapia se utilizan los compensadores de dosis o *bolus*, que son aditamentos fabricados de un material moldeable y de composición orgánica equivalentes al tejido, que permiten igualar los contornos irregulares, proporcionando una superficie plana, para la incidencia perpendicular del haz de radiación que facilita que la parte superficial del cuerpo reciba altas dosis.^{17,18}

Los accesorios individualizados son coadyuvantes de los tratamientos de radioterapia porque permiten homogenizar, compensar y distribuir la dosis, adicionando la protección de tejidos y órganos no involucrados en la planeación, permitiendo mantener los campos planeados en una misma posición y dirección, durante el tiempo en que el paciente es radiado.¹⁵ Son de suma importancia además para el binomio médico-paciente, porque pueden evitar complicaciones y efectos no deseados inherentes al tratamiento. Mejoran calidad de vida, al cumplir con el objetivo de brindar protección adicional a los tejidos cercanos donde se realizará la radioterapia, como barreras protectoras que impiden el paso de la radiación o bien direccionan el flujo hacia el objetivo a irradiar, por lo que constituyen elementos portadores, localizadores, apartadores y protectores.

Conclusiones

Los accesorios protésicos, como elementos coadyuvantes en el tratamiento oncoespecífico con radiación ionizante en pacientes con cáncer de cabeza y cuello; son de suma importancia en la correcta planificación y ejecución del tratamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Contribución de los autores

Conceptualización: Isidro de Jesús Nápoles.

Curación de datos: Isidro de Jesús Nápoles, Alfredo Álvarez Rivero.

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

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

Investigación: Isidro de Jesús Nápoles.

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

Redacción – borrador original: Isidro de Jesús Nápoles.

Redacción – revisión y edición: Isidro de Jesús Nápoles González, Alfredo Álvarez Rivero, Jorge Santana Álvarez.

Referencias bibliográficas

1. Ballesteros A. Tumores cabeza y cuello - O.R.L. [Internet]. España: SEOM; Feb 2020 [citado 10 Feb 2024]. Disponible en: <https://seom.org/es/informacion-sobre-el-cancer/info-tipos-cancer/104033-tumores-cabeza-y-cuello-orl?showall=1>
2. Gallegos Hernández JF. Cáncer de cabeza y cuello su impacto en la historia de la humanidad. Gac Med Mex. [Internet]. 2020 [citado 10 Feb 2024]; 156:104-109. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/0b51/dfc01afcedf9b801a3307675dc6c964824c8.pdf>
3. Contreras Álvarez PJ, Iznaga Marín NL, Hernández Armstrong LR, Aguirre Muñoz CF. Tratamiento con radioterapia en pacientes con neoplasia laríngea. Rev Cubana Otorrinolaringol Cirug Cabeza Cuello [Internet]. 2020 [citado 10 Feb 2024];4(1): [aprox. 13 p.]. Disponible en: <http://www.revotorrino.sld.cu/index.php/otl/article/view/130>
4. Bradley AS. Generalidades sobre los tumores de la cabeza y el cuello. Manual MSD. Rahway, NJ, USA [Internet]. © 2024 [citado 23 Ago 2023]; 14(7): [aprox. 7 p.]. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos-otorrinolaringol%C3%B3gicos/tumores-de-la-cabeza-y-el-cuello/c%C3%A1ncer-nasofar%C3%ADngeo>
5. Dewan H. Radiation Prosthesis for Improving the Life of Cancer Patients. Am J Biomed Sci & Res. [Internet]. 2019 [cited 2021 Apr 15]; 4(6): [about 2 p.]. Available from: <https://biomedgrid.com/pdf/AJBSR.MS.ID.000849.pdf>
6. Elzaurdin Mora R, Lara Fernández N. Tratamiento combinado en cáncer de lengua. Rev Cubana Otorrinol Cir Cab Cue [Internet]. 2021 [citado 15 Ago 2023];5(1): [aprox. e181 p.]. Disponible en: <http://revotorrino.sld.cu/index.php/otl/article/view/181>
7. Rivero M, Lorenzo F, Torres M, Quarneti AC. Primario desconocido de cabeza y cuello, una visión del oncólogo radioterapeuta. Rev. Oncol. Ecu [Internet]. 2021 [citado 23 Ago 2023];

- 31(3): [aprox. 8 p.]. Disponible en: <https://www.roe-solca.ec/index.php/johs/article/view/593/483>
8. Ordóñez Daza DE, Osorio Ruiz K, Freddy Moreno F. Atención odontológica de pacientes oncológicos desde la perspectiva de actores institucionales en Cali, Colombia, 2019. Acta Odont Col [Internet]. 2020 [citado 21 Feb 2024];10(1): [aprox. 13 p.]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actaodontocol/article/view/83197>
 9. López Cedrún JL, Villanueva San Vicente V, Pérez López D, Cabezas Hernández B, López Andrade MA. Tratamiento del cáncer de la cavidad oral. En: López Jornet P, Seoane Lestón JM, editores. Cáncer oral para dentistas [Internet]. España: Editorial Fundación Dental Española; 2019 [citado 2 Feb 2024]. Disponible en: <https://www.consejodentistas.es/comunicacion/actualidad-del-consejo/publicaciones-del-consejo/libros-del-consejo/item/1628-cancer-oral-para-dentistas>
 10. Sociedad Americana Contra El Cáncer. Datos y Estadísticas sobre el Cáncer entre los Hispanos/Latinos 2018-2020 [Internet]. 2018 [citado 1 Abr 2024]. Disponible en: [https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/cancer-facts-and-figures-for-hispanics-and-latinos-2018-2020-spanish.pdf](https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/cancer-facts-and-figures-for-hispanics-and-latinos/cancer-facts-and-figures-for-hispanics-and-latinos-2018-2020-spanish.pdf)
 11. Cardenal J, Anchuelo J, Díaz de Cerio I, Ferri M, Galdós P, García Blanco A. Itinerario formativo oncología radioterápica. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla [Internet]. Jun 2020 [citado 1 Abr 2024]. Disponible en: http://www.humv.es/estatico/formacionydocencia/itinerarios_formacion/oncologia_radioterapica.pdf
 12. Instituto Salvadoreño del Seguro Social. Manual del servicio de radioterapia. [Internet]. 2017 [citado 16 Abr 2023]. Disponible en: <http://aps.iss.gov.sv/Documents/Gu%C3%ADas,%20normas,%20manuales,%20pol%C3%ADticas/Manuales/MANUAL%20DEL%20SERVICIO%20DE%20RADIOTERAPIA%20DEL%20ISSS.pdf>
 13. Soto Salazar GM. Puesta en Servicio Clínico del Sistema de Planificación de Tratamiento con algoritmo de cálculo del TG-43 en Braquiterapia de Alta Tasa de Dosis, en el Centro Nacional de Radioterapia “Nora Astorga” en el periodo Abril - Junio del año 2018 [Internet]. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Facultad de Ciencias e Ingenierías. Departamento de Física; 2019 [citado 30 Oct 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/12962/1/MONOGRAFIA%20FINAL%2028.08.19.p1.pdf>

14. Rizo Potau D, Nájera López A, Arenas Prat M. Conocimientos básicos de oncología radioterápica para la enseñanza Pre-grado [Internet]. Castilla-La Mancha, España: Edición. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Cuenca; 2016 [citado 21 Ago 2023]. Disponible en: https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/9411/Radioterapia_open_def.pdf?sequence=4
15. Díaz Aguirre CM, Echevarría Mariles SG. Accesorios individualizados para radioterapia. *Rev Méd del Hosp Genr de Méx* [Internet]. 2012 [citado 23 Ago 2023]; 75(2): [aprox. 5 p.]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-del-hospital-general-325-articulo-accesorios-individualizados-radioterapia-X0185106312453077>
16. Suma J, Sneha P, Shrestha S. Role of Maxillo-Facial Prosthodontist to Aid in Brachytherapy for Squamous Cell Carcinoma of Palate with Ancillary Prosthesis: A Case Report. *JDOR* [Internet]. 2018 [citado 23 Ago 2023]; 14(1): [aprox. 5 p.]. Disponible en: <http://www.jdorjournal.com/pdf/archives/January2018/13.pdf>
17. Robles Díaz JF. Radioterapia en linfoma de células T/natural killer tipo nasal primario cutáneo. *Gaceta mexicana de oncología* [Internet]. 2023 [citado 23 Ago 2023]; 14(7): [aprox. 7 p.]. Disponible en: <https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/1141>
18. Carrillo Chacón KM. Estudio de la caracterización dosimétrica de bolus 3D impresos para radioterapia externa y braquiterapia [Internet]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2022 [citado 7 Dic 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84403>

/ **Received:** 19 June 2024 | **Accepted:** 27 August 2024 | **Published:** 15 September 2024 /

Citation: Nápoles-González, I., Álvarez-Rivero, A., Santana-Álvarez, J. Uso de accesorios protésicos en la radioterapia del cáncer de cabeza y cuello. *Bionatura*. 2024; Volume (9). No 3.

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/>)

13 Estudio de la etapa de fermentación en la producción de etanol orgánico

Study of the fermentation stage in the production of organic ethanol

Eliani Sosa-Gómez¹, Irenia Gallardo Aguilar¹, Yania Correa Cortés¹

¹Facultad de Química y Farmacia/Santa Clara/Cuba; ORCID 0000-0003-2257-7348

DOI.

Resumen

Las producciones orgánicas han tomado gran auge en el mercado mundial. En esta investigación se estudia la obtención de alcohol etílico orgánico, empleando dos alternativas de acidificación. Se prescindió de nutrientes y ácidos inorgánicos para ajustar el pH del medio de fermentación. La materia prima empleada fue la miel orgánica de caña de azúcar, la levadura fue la *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada y los acidificantes fueron un cultivo mixto de lacto-bacterias y un concentrado orgánico de jugo de naranja. Se empleó el software Statgraphics Centurion XV.II para la planificación y procesamiento de los experimentos. Comenzó el proceso con la etapa de pre-fermentación, sin cultivo de levadura. Los mejores conteos celulares con 345.10^6 cel/ml se obtuvieron con el concentrado de cítrico, mayor concentración de sustrato y de levadura. En la etapa de fermentación, los mejores resultados se alcanzaron con un grado alcohólico de 7 % vol, con concentración del sustrato en el fermentador de 18°Brix y relación de inoculación de 30 %. Es posible eliminar la etapa de cultivo de la levadura sin afectar la eficiencia y calidad del proceso, al obtener resultados adecuados en los parámetros medidos.

Palabras clave: 1 acidificante; 2 etanol; 3 fermentación; 4 levadura; 5 miel orgánica.

Abstract

Organic production has become very popular in the world market. In this research, the production of organic ethyl alcohol is studied, using two acidification alternatives. Nutrients and inorganic acids were not used to adjust the pH of the fermentation medium. The raw material used was organic sugar cane honey, the yeast was freeze-dried *Saccharomyces cerevisiae* and the acidifying agents were a mixed culture of lacto-bacteria and an organic orange juice concentrate. Statgraphics Centurion XV.II software was used for planning and processing the experiments. The process started with the pre-fermentation stage, without yeast culture. The best cell counts with 345,106 cells/ml were obtained with the citric concentrate, higher substrate and yeast concentration. In the fermentation stage, the best results were achieved with an alcoholic strength of 7 % vol, substrate concentration in the fermenter of 18°Brix and inoculation ratio of 30 %. It is possible to eliminate the yeast culture stage

without affecting the efficiency and quality of the process by obtaining adequate results in the parameters measured.

Key words: 1 acidifier; 2 ethanol; 3 fermentation; 4 yeast; 5 organic honey.

Introducción

Conscientes de los fuertes impactos ambientales que ha venido enfrentando el planeta en los últimos 30 años, se ha generado en la sociedad una nueva tendencia de consumidores que marcan una revolución que va de la mano con el uso responsable de los recursos naturales y promueven una cultura sostenible ¹.

Estas producciones orgánicas alcanzan un elevado precio en el mercado internacional, destacándose Europa como principal productor. Los sectores más destacados son las hortalizas, frutas y los cereales. Los altos precios de estos productos y en especial el azúcar, se deben a que estos poseen una mayor cantidad de vitaminas y minerales y no están contaminados por ningún producto químico. El azúcar ecológico es un producto de características especiales: muy pura, de un grano fino, casi de color blanco y de la cual se puede obtener etanol orgánico ².

Las cadenas de suministro orgánico se han vuelto cada vez más complejas, lo que lleva a casos documentados de fraude orgánico y deficiencias en la supervisión ³.

Desde la década de los 90 Cuba viene trabajando por lograr una agricultura cada vez más ecológica u orgánica, menos dependiente de los costosos insumos de productos químicos y basada en el desarrollo científico-técnico en aras de alcanzar una verdadera racionalidad ecológica y sustentabilidad económica ⁴.

La producción de caña de azúcar orgánica y sus derivados surge como una estrategia del país, teniendo en cuenta el incremento de la demanda de estas producciones a nivel internacional, sus altos precios, así como los beneficios que proporcionan desde el punto de vista ambiental, por la no utilización de productos químicos contaminantes, la no quema y el uso racional de residuos agroindustriales que permiten cerrar el ciclo productivo ⁴.

En Cuba, los primeros pasos por desarrollar las producciones orgánicas se han dado en la industria azucarera, con la producción de azúcar orgánica. La más avanzada de éstas, se realiza en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Carlos Baliño” de Villa Clara, aunque también se han procesado cosechas ecológicas en la Planta Piloto “José Martí” de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. De dicho proceso, se obtiene también miel orgánica, una excelente materia prima para la obtención de etanol orgánico ⁵.

La producción de alcohol etílico se realiza convencionalmente por vía fermentativa de fuentes azucaradas, se estudian materias primas de bajo costo como los residuos lignocelulósicos, cultivos

agrícolas con alto contenido de almidón, algas y otras fuentes, las cuales son degradadas por la acción de los microorganismos^{6,7,8}.

El proceso está formado por tres etapas principales⁹: la etapa de cultivo o propagación de la levadura, la fermentación con dos subetapas, prefermentación y fermentación, siendo la fermentación la etapa principal del proceso pues, en ella es donde se produce el etanol deseado y por último la destilación y rectificación, para separar el etanol del agua y del resto de las impurezas que lo acompañan y obtener el producto final, con la menor cantidad de impurezas, de acuerdo a la calidad del etanol a obtener, por ejemplo, en la producción de aguardiente el nivel de impurezas como esteroides, alcoholes superiores aldehídos, etc., son superiores a los de etanol fino⁹. Otros autores incluyen una cuarta etapa, la de preparación de la materia prima en dependencia de la fuente de la materia prima; como es el caso de almidones a partir de maíz para alcohol de primera generación(1G) y de materias lignocelulosicas para etanol de segunda generación(2G)¹⁰, que necesitan acción de catalizadores como son las enzimas exógenas para la hidrólisis. Si se produce etanol como combustible se incluye una quinta etapa de deshidratación.

Otra variante que se ha puesto en práctica con éxito en varias destilerías cubanas, consiste en eliminar la etapa de cultivo e iniciar el desarrollo de levadura en el pre-fermentador, utilizando como inóculo o iniciador cierta cantidad de levadura liofilizada. Este método tiene la ventaja de eliminar todo el proceso de laboratorio de preparación de inóculo y cultivo, cosa que es de particular importancia cuando no se disponen de los medios técnicos y humanos apropiados¹¹.

La certificación orgánica es la garantía de que un cultivo se manejó siguiendo las normas de la producción orgánica. Porque cuando el consumidor observa el sello de la agencia certificadora lo reconoce y le da la confianza de que el producto es orgánico. La certificación es útil al consumidor, pero también es útil al productor, porque le ayuda a vender mejor sus productos diferenciados^{13,23}.

La producción de alcohol etílico con la denominación de orgánico, prescinde del empleo de diversos compuestos químicos que son empleados tradicionalmente para la producción de etanol en las destilerías del país. Tal es el caso del sulfato de amonio, fosfato de amonio y nutrientes para levaduras, empleados para favorecer el crecimiento de biomasa en las etapas de propagación. Asimismo, se evita el empleo de ácido sulfúrico u otros, con el objeto de disminuir el pH del medio y controlar la contaminación bacteriana.^{13, 14}

Se reportan estudios previos para la obtención de etanol orgánico empleando cultivos mixtos de *Saccharomyces cerevisiae* y lacto bacterias a partir de un inóculo al 1 % v/v. El sustrato empleado como medio de propagación es la miel orgánica previamente clarificada y diluida hasta un contenido de azúcares reductores totales(ART) de 30 g/L. Luego se incrementa el volumen del medio, variando la razón de inoculación. El crecimiento y la multiplicación de los microorganismos dependen del

valor alimenticio del medio, de las condiciones físico-químicas del cultivo, de la composición fisiológica de este (edad) y de las formas de contacto entre las fases ¹⁵.

Correa y colaboradores estudiaron la obtención de etanol orgánico, variando la concentración de azúcares y sin desarrollar la etapa de cultivo de la levadura ¹³.

Teniendo todo esto en cuenta la presente investigación tiene como objetivo:

Estudiar la obtención de etanol orgánico, empleando dos alternativas de acidificación.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este estudio se empleó como materia prima miel tipo B la cual se caracterizó para evaluar sus parámetros y conocer su composición en base a azúcares. Los resultados se muestran en la Tabla 1. La que presenta resultados diferentes a estudios reportados con mieles finales de caña de azúcar¹⁴

La levadura empleada fue la *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada la cual ha sido empleada históricamente a nivel mundial en la producción de alcohol etílico ofreciendo resultados satisfactorios ¹⁵.

Tabla 1. Caracterización de la miel orgánica B

Parámetros	Valor
Brix	86,12
Pol (%)	50,16
Pureza (%)	58,24
Reductores totales (%)	62,75
Reductores normales (%)	13,13
Reductores invertidos (%)	49,62
Sacarosa real (%)	47,12
Azúcares totales (%)	60,27
Cenizas (%)	9,78

Las alternativas estudiadas de acuerdo a los acidificantes fueron:

- ✓ Un cultivo mixto de bacterias: Proveniente de un medio lácteo compuesto por *Lactobacillus acidophilus* y el *Streptococcus thermophilus*. Este cultivo fue desarrollado a partir de una pastilla liofilizada para la obtención de bioyogurt, leche en polvo diluida hasta garantizar un total de Sólidos no grasos en un intervalo de 9–9,4 y una densidad aproximadamente a 1,036 g/L. Se incubó de 4-5 horas a 43 °C y posteriormente se refrigeró 24 horas, listo para ser usado.
- ✓ Un jugo concentrado de cítrico orgánico: El mismo presentó especificaciones tales como: sólidos solubles (°Brix) 65,0 + 0,5, acidez valorable (% ácido cítrico) 2,0 – 7,0, aceite esencial (ml/l) 0,090

máx, ácido ascórbico 200 mg/l mín, pH 4,5 máx., sodio 30 (mg/l) máx y potasio 1300-2500 mg/l. Se realizaron pruebas iniciales para observar la influencia de la adición de estos acidificantes en el pH de las mieles diluidas para 10 y 13 °Brix. Con estas pruebas se corroboró que ambos productos disminuyen el pH de la miel diluida, y se pudo determinar la cantidad de cada acidificante a añadir para que el pH ajustado, esté en el valor entre 4,2 y 4,5 para el trabajo de la levadura.

Para la producción de etanol orgánico fue necesario efectuar el estudio en dos etapas: pre-fermentación y fermentación. Las variables y niveles estudiados fueron tomados de los estudios realizados por ¹³ y por ^{2,15}

Para la pre-fermentación se realizó un diseño experimental factorial multinivel 2³ con réplicas a cuatro experimentos al azar, empleando las variables independientes reflejadas en la tabla 2. Las variables respuestas que se analizaron fueron el tiempo de pre-fermentación (h), el grado alcohólico (°GL) y el número de células (10⁶ cel/ml).

La pre-fermentación se desarrolló en condiciones aeróbicas. Primeramente, se diluyó la miel con agua destilada hasta el °Brix establecido para cada ensayo, luego se añadió el acidificante correspondiente a cada experimento y se midió el pH en un pHmetro de marca HANNA pH 213. Posteriormente, se esterilizaron las muestras en una autoclave de marca LDZM-80KCS para eliminar todos los microorganismos indeseados. La etapa se controló, dando seguimiento al brix de la batición y se concluyó cuando este descendió a la mitad más uno de su valor inicial¹⁷.

De acuerdo al análisis de esta etapa, se fijaron las mejores condiciones y se procedió al desarrollo de los experimentos en la etapa de fermentación. Se hizo un diseño experimental factorial multinivel 2² con un punto central empleando las variables independientes reflejadas en la tabla 2 y fijando un tiempo de fermentación de 30 horas de acuerdo a ¹³ citado en ². La variable respuesta analizada fue el grado alcohólico en porcentaje en volumen (°GL).

Para la planificación y procesamiento de los resultados de los experimentos y estudiar la influencia de cada una de las variables independientes sobre las variables respuestas se empleó el software Statgraphic Centurion XV. II. El diseño experimental quedó de la manera mostrada en la tabla 2

Tabla 2. Variables y niveles empleados

Variables independientes (Pre-fermentación)	Niveles	Variables independientes (Fermentación)	Niveles
Tipo de acidificante (X ₁)	Lacto-bacterias (+) Concentrado de cítrico (-)	Relación de inoculación (X ₁)	30 % (+) 15 % (-)

Concentración de sustrato en el pre-fermentador (X ₂)	13°Brix (+) 10°Brix (-)	Concentración del sustrato en la fermentación (X ₂)	18°Brix (+) 14°Brix (-)
Concentración de la levadura en la pre-fermentación (X ₃)	3,0 g/L (+) 2,5 g/L (-)	-	-

Resultados

Etapas de pre-fermentación

Durante la pre-fermentación se observó un descenso del Brix, un aumento de células y un pH cercano al intervalo establecido. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la etapa de pre-fermentación

Inicio				Final				
Exp	Brix	pH	N° de células 10 ⁶ cel/ml	Brix	pH	N° de células 10 ⁶ cel/ml	°GL	Tiempo
1(+++)	13	4,76	195	7	4,20	320	2,45	17h-55min
2(++-)	13	4,53	125	8	4,59	190	3,31	18h-15min
3(+++)	10	4,77	165	6	4,00	180	2,45	17h-55min
4(--+)	14,6	4,57	145	8,3	4,38	315	3,31	22h-30min
5(++-)	10	5,38	185	6	4,79	165	1,34	21h-45min
6(--+)	12,3	4,37	175	7	4,29	265	3,02	14h
7(+++)	15	4,51	105	8,5	4,63	345	3,90	16h-55min
8(---)	11,2	4,43	105	6,6	4,56	270	3,31	21h
9(--+)	10	4,81	120	5	4,33	200	2,45	18h
10(---)	10	4,82	100	6	4,35	170	1,06	23h-30min
11(+++)	12	4,09	155	7	4,12	305	3,00	14h-15min
12(++-)	12	4,10	115	7,5	4,28	255	3,30	21h-15min

Al analizar los resultados obtenidos, se observa que el experimento 7 ofreció los mejores resultados, donde se empleó como acidificante el concentrado cítrico. En este experimento se obtuvo el mayor conteo celular y grado alcohólico en un tiempo aceptable y en los intervalos de pH establecidos entre (4,4-4,8)²⁰.

Efectuando una comparación con los estudios realizados por ², quien realizó sus experimentos con y sin lacto-bacterias, se aprecia que los mejores resultados se obtuvieron para los experimentos sin lacto-bacterias, por lo que se puede decir que el mejor conteo celular con $345 \cdot 10^6$ cel/ml se obtuvo con el concentrado de cítrico.

Se obtuvo un conteo celular factible de acuerdo a la Figura 1 ya que 11 reportan que el pre-fermentador debe alcanzar una población de levadura de unos 150 millones de células por mililitro y todos los experimentos arrojaron valores superiores a este valor. Con este resultado se corrobora que no es necesaria la etapa de desarrollo de cultivo empleada por ², puesto que se obtiene el número de células deseadas.

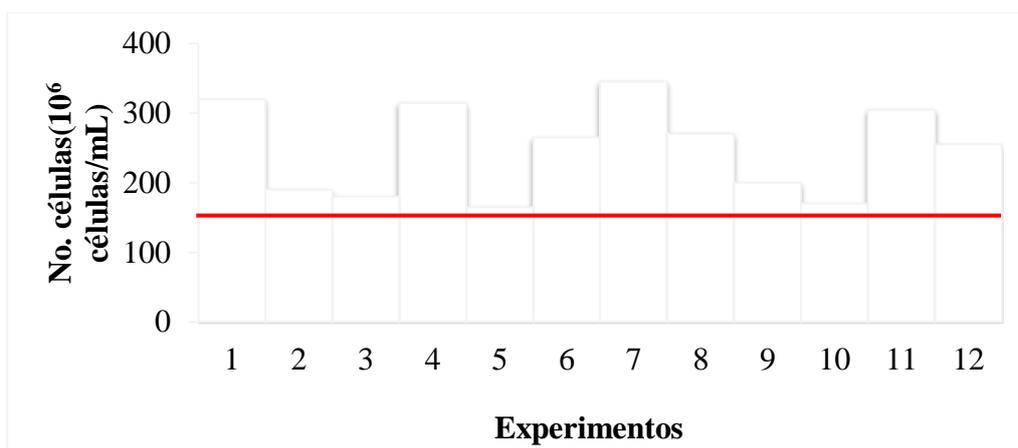


Figura 1. Comportamiento del conteo celular en cada experimento

Análisis estadísticos de los resultados obtenidos

De acuerdo con el análisis estadístico se obtuvieron las ecuaciones que se ajustan a los modelos de cada variable respuesta estudiada. Los Diagramas de Pareto muestran la influencia de las variables independientes. El comportamiento del tiempo de pre-fermentación se explica a partir del modelo de la ecuación 1 con $R^2=81,6\%$

$$\text{Tiempo} = 1131,25 - 32,5 * X_1 - 6,25 * X_2 - 128,125 * X_3 \quad (1)$$

El Diagrama de Pareto de la figura 2 muestra la existencia de un parámetro significativo: la concentración de levadura la cual influye de forma negativa, es decir de forma inversa. Esto se debe a que mientras mayor sea la población de células en el medio mayor será el consumo de azúcares en el tiempo¹¹.

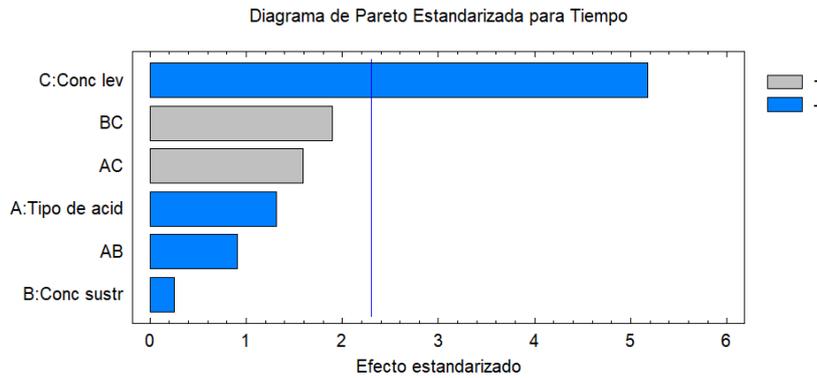


Figura 2. Relación entre el tiempo de pre-fermentación y las variables: tipo de acidificante, concentración de sustrato y concentración de la levadura

Para el número de células se obtuvo el modelo mostrado en la ecuación 2 con $R^2=92,8\%$:

$$N^0 \text{ células} = 255,313 - 39,0625 * X_1 + 29,065 * X_2 + 23,4375 * X_3 \quad (2)$$

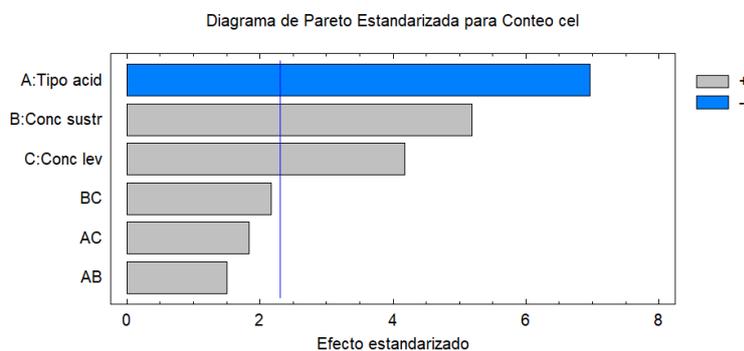


Figura 3. Relación entre el número de células y las variables: tipo de acidificante, concentración de sustrato y concentración de la levadura

El Diagrama de Pareto de la fig. 3 muestra la existencia de tres parámetros significativos: el tipo de acidificante que influye de forma negativa, la concentración de levadura y la concentración del sustrato que influyen de forma positiva. Se aprecia que, el número de células se favorece empleando el concentrado de jugo de naranja y aumentando la concentración de levadura y la concentración de sustrato, esta última incrementa la cantidad de nutrientes y de azúcares contenidos en la miel, favoreciendo de esa forma el desarrollo de la levadura en el medio y que constituye la única fuente de nitrógeno para la levadura,

Para el grado alcohólico se obtuvo el modelo mostrado en la ecuación 3 con $R^2=76,8\%$:

$$\text{Grado alcohólico} = 2,83 - 0,55 * X_1 + 0,33875 * X_2 + 0,08 * X_3 \quad (3)$$

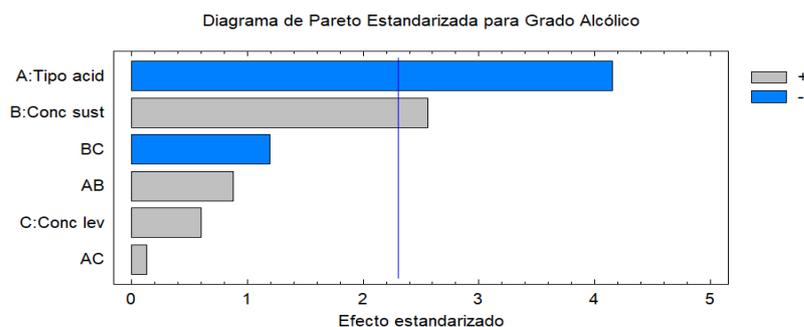


Figura 4. Relación entre el grado alcohólico y las variables: tipo de acidificante, concentración de sustrato y concentración de la levadura

En el Diagrama de Pareto de la fig. 4 se aprecia la existencia de dos parámetros significativos, la concentración del sustrato la cual influye de forma positiva y el tipo de acidificante de forma negativa. Aunque el propósito fundamental de la etapa de pre-fermentación es la propagación de la levadura, es inevitable la formación de alcohol etílico, pero el grado alcohólico alcanzado entre 2,5- 3,5 % v/v, es algo superior al reportado para esta etapa por Rodríguez² en el rango de 1,9 -3,3 % v/v, lo que pudiera provocar un efecto de inhibición de la levadura, lo cual es necesario continuar estudiando. Para evitar este suceso sería necesario un suministro lento y progresivo de azúcar, proporcionado a la velocidad con que la levadura es capaz de consumir los Azúcares fermentables.

Etapa de fermentación

Como se dijo para la etapa de fermentación se tomó el mejor experimento obtenido en la pre-fermentación. Los resultados obtenidos para esta etapa, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la etapa de fermentación

Inicio				Final				
	Brix	pH	N° de células 106 cel/ml	Brix	pH	N° de células 106 cel/ml	°GL	Tiempo
	Pre-fermentador							
	13,5	4,64	100	7,5	4,54	200	4,50	17h15min
Exp	Fermentador							
1(++)	15,5	5,27	-	9,5	5,24	-	7,08	30h
2(--)	13,5	5,55	-	9	5,32	-	6,41	30h
3(+)	12,5	5,21	-	8,4	5,17	-	5,76	30h
4(--)	15,5	5,26	-	7,5	4,68	-	5,13	30h
5(00)	14,3	5,35	-	9,3	5,02	-	6,09	30h

* Los brix iniciales en el fermentador fueron los obtenidos de las mezclas de pre-fermento con el brix de la solución preparada

Los mejores resultados se obtuvieron para el Experimento 1 en el cual se observa el mayor grado alcohólico, aunque todos los experimentos tuvieron valores de grado alcohólico superiores a 5 °GL o por ciento volumen. El experimento de peores resultados resultó ser el experimento 4 con el grado alcohólico más bajo, lo que parece indicar que hubo azúcares que no se convirtieron por ser menor el volumen de prefermento y por tanto de levaduras en el fermento.

En la tabla 5 se muestran también varios parámetros que se determinaron para evaluar la calidad de la fermentación, parametros determinados por balances de mezclas, utilizando el software Excel.

Análisis estadísticos de los resultados obtenidos

Se obtuvo la ecuación que ajusta el modelo de la variable respuesta estudiada y el Diagramas de Pareto que muestra la influencia de las variables independientes

Para el grado alcohólico se obtuvo el modelo mostrado en la ecuación 4.

$$\text{Grado alcohólico} = 6,09 + 0,325 * X_1 + 0,65 * X_1 * X_2 \quad (4)$$

El Diagrama de Pareto fig. 5 refleja la existencia de dos parámetros significativos, la interacción entre la relación de inoculación y la concentración del sustrato y la relación de inoculación, ambas de forma positiva. Esto significa que se ve favorecido el grado alcohólico cuando ambas variables tienen iguales niveles, ya sea ambas variables con alto nivel o bajos, lo cual es lógico, pues se emplea un número de células adecuadas a la cantidad de sustrato a utilizar y de la cantidad de nutrientes contenidos en la miel que se añade.

Tabla 5. Parámetros de calidad medidos en la fermentación

Exp	ART inicial (g/L)	ARTfinal (g/L)	Vol. Final (L)	Eficiencia (%)	Rendimiento (Y P/S) (%)	Prod. (g/L-h)
1	146,11	70,15	0,700	74,99	74,25	1,9
2	126,70	66,12	0,600	78,60	83,19	1,68
3	118,56	61,28	0,625	75,45	78,53	1,5
4	161,11	54,02	0,750	49,57	37,53	1,34
5	138,20	68,53	0,600	68,50	68,97	1,60

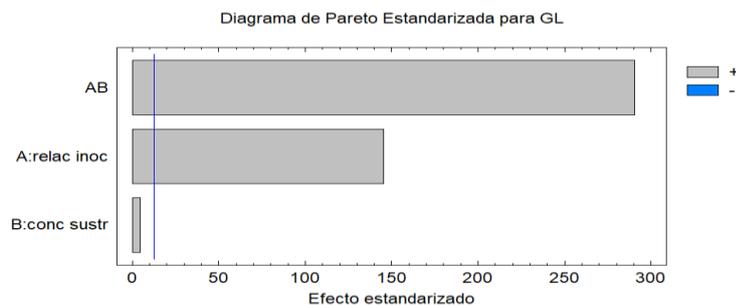


Figura 5. Relación entre el grado alcohólico: relación de inoculación y concentración de sustrato. Puede apreciarse en el Experimento 2, donde las variables están en los niveles mínimos, que el contenido alcohólico es también muy bueno, sin embargo el Experimento 4, que es el de mayor contenido de azúcares de partida y donde mayor es el consumo de ART, es el de menor grado alcohólico y el de menor rendimiento de producto sustrato, lo que demuestra que hubo sustrato que no se aprovechó, al igual que en el resto de los experimentos, ya que los rendimientos son bajos, por lo que se puede aumentar la relación de inoculación. Se obtienen valores adecuados para la productividad por ser un trabajo de laboratorio ¹¹.

Discusión

De los resultados obtenidos en ambas etapas de la fermentación, puede apreciarse que los niveles seleccionados para las variables fueron adecuados, obteniéndose los mejores resultados con el concentrado de citrico como acidificante, la mayor concentración de azúcares 13 Brix en la prefermentación, coincidiendo con Correa y para la mayor concentración de levadura, trabajando en el fermentador con 30% de vol de inoculación y la mayor concentración de azúcares dando el mejor grado alcohólico con valor de 7,08 % volumen o °GL, comparados con los obtenidos por Rodriguez² trabajando con la misma relación de inoculación en el fermentador.

En los demás parámetros medidos en la fermentación, se aprecian resultados aceptables en cuanto a eficiencia en el rango de 68-78,6 %, rendimiento producto/sutrato con valores entre 68,9-83,2 % y en la productividad con valores entre 1,5-1,9 (g/L-h), excepto en el experimento 4 de resultados más bajos en todas las variables medidas

Conclusiones

Es viable la eliminación de la etapa de cultivo en el proceso para alcanzar conteos celulares entre 165-345. 10⁶ células/mL, superiores a los que se plantean de 150 millones, directamente en la etapa de pre-fermentación, lo cual tendría un impacto económico positivo por concepto de ahorro de tiempo, trabajo y recursos, al eliminarse esta etapa del proceso.

La mejor alternativa a emplear es el concentrado de jugo de naranja en la pre-fermentación, pues se logra mantener el pH en los intervalos requeridos y se logra un desarrollo celular favorable en

comparación con los experimentos realizados con lactobacterias. En la etapa de fermentación se obtuvieron adecuados resultados en los parámetros medidos al proceso fermentativo: con grados alcohólicos entre 5,13 -7,08 % v/v, rendimiento alcohol/sustrato de 68,9-83,2 %, eficiencia entre 68-78,6 % y productividad entre 1,5-1,9 (g/L-h), variables que se encuentran cercanos a los obtenidos en las destilerías cubanas en los procesos convencionales.

Referencias

1. FAO. Organic Agriculture: Preguntas frecuentes sobre agricultura orgánica. 2018.
<http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq8/es/>
2. Rodríguez Ovalle, A. Evaluación de una propuesta tecnológica para la obtención de etanol orgánico en la destilería “Santa Fe”, perteneciente a la UEB Derivados “Heriberto Duquesne”. Tesis de Grado, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Cuba, 2016.
<https://1library.co/document/yevr9d0z-evaluacion-propuesta-tecnologica-obtencion-destileria-perteneciente-derivados-heriberto.html>
3. Tucker, J.2023. Introducción a la Norma Final de Fortalecimiento del Cumplimiento Orgánico (SOE por sus siglas en ingles). USDA Agricultural Marketing Service (AMS) National Organic Program (NOP)
4. [Buedo, Mayelin. 2011.](#) Las Producciones Orgánicas como Oportunidades de Negocio para el Central Carlos Baliño. Enfermería [Online], vol. 33. Available:
<http://www.redalyc.org/pdf/1052/105215401002>.
5. García, R. Cultivo mixto en el desarrollo de la fermentación para la producción de alcohol orgánico. Tesis de Grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2006.
6. Alonso-Gómez L, Alexis , Bello-Pérez L. Arturo. Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. Agrociencia, Vol.52, No.7, 2018.https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967
7. De Armas Martínez, A; Quintero Dallos, V.; Kafarov, Viatcheslav V.; Rodríguez Rodríguez, L.; González Suárez, E. Valoración desde la vigilancia tecnológica de la contribución de las algas a una biorefinería. Centro Azúcar, Vol. 41, Núm. 4, 2014.
http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/269
8. Fasioli Silva, Rebeca , Mascarenhas, Maria do Socorro 1, Batistote Margareth. Biomass: bioethanol transformation and production process. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, Vol. 9, No. 4, oct./dec.2022.
<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrimeo/article/view/7089/5237>

9. Vergel- Alfonso,A.A.; Acosta Martínez,D.R; Arencibia Sanchez , J.A; Rodriguez Felix,F; Reyes Delgado, Y;González Morales,R,V; Benitez Sanchez,R; Gonzalez Bravo,A,L; and Tapia Hernandez ,J,A. "Engineering Implementation of the Acosta Fermentation Method to obtain Cuban Schnapps with reduced concentrations of higher alcohols." (22 mayo 2024). <https://doi.org/10.3390/pr12061064>.
10. Arijana Bušić, Nenad Marđetko, Semjon Kundas, Galina Morzak, Halina Belskaya, Mirela Ivančić Šantek, Draženka Komes, Srđan Novak, and Božidar Šantek ,Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. Food Technology and Biotechnology 56 (3) 289-311 (2018) Review ISSN 1330-9862. doi: 10.17113/ftb.56.03.18.5546
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6233010/>
11. Montero Oviedo, K. "Estudio de una alternativa tecnológica para la producción de etanol orgánico". Tesis de Grado, Universidad Central "Marta Abreu " de Las Villas, Cuba, 2019. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/19/>
12. Márcio Daniel Nicodemos, Thais Suzane Milessi, Rafael Garcia Candido, Adriano Aguiar Mendes, André Aguiar. Enzymatic catalysis as a tool in biofuels production in Brazil: Current status and perspectives. Energy for Sustainable Development. Volume 68, June 2022, Pages 103-119
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082622000412>
13. Orozco,S.2011. MANUAL PARA FAMILIAS PRODUCTORAS: CERTIFICACIÓN ORGÁNICA. PASO A PASO. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. Materiales de extensión no. 7
14. Correa, Y., Rodríguez, I., & Gallardo, I.. Primeros estudios sobre la obtención de alcohol orgánico o ecológico. Centro Azúcar, Vol. 32, No. 1, 2005, pp 30-38.
15. **Vega Raisa**. Caracterización de mieles finales de ingenios guatemaltecos y su incidencia en la pérdida de miel final, zafra 2019-2020. CENGICAÑA: Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2019 – 2020
16. Organic Food Production Act.(OFPA). 2021. Subcapítulo M: Disposiciones de la LEY DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS ORGÁNICOS. www.ecfr.gov.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Bu%C5%A1i%C4%87%20A%5BAuthor%5D>
17. Lamas, Y., De Armas, A., Albernas, Y., González, E. Análisis preliminar de la fermentación alcohólica utilizando mezclas de jugo de los filtros, miel final y meladura. Centro Azúcar Vol. 50 No. 3. 2023. Online ISSN 223-4861. <http://scielo.sld.cu>

18. Cervantes, Y. T.. Análisis del comportamiento de la etapa de fermentación alcohólica en la destilería ALFICSA. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. 2010. <https://1library.co/document/q2nkvojq-analisis-comportamiento-etapa-fermentacion-alcoholica-destileria-alficsa.html>
19. Suárez-Machín, Caridad; Garrido-Carralero, Norge Antonio; Guevara-Rodríguez, Carmen Amarilys. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Vol. 50, No 1, enero-abril, 2016, pp. 20-28. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>
20. Ojeda, R. Propuesta de introducción de la tecnología de obtención de alcohol orgánico en la destilería del CAI "Heriberto Duquesne". Tesis de Grado Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2005. <https://1library.co/subject/destileria-de-heriberto-duquesne>
21. Larrazabal, Mariano. ¿Qué son los productos orgánicos? Alimentos ecológicos y saludables. Agromarketing bialar. Gobierno de México. 2018. <https://www.bialarblog.com/productos-organicos-ecologico/>
22. Ruiz-Marín Alejandro, Canedo-López Yunuén, Narváez-García Asteria, Robles-Heredia J. Carlos. Producción de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis* *Coinmovilizadas*: propuesta para el uso de desechos orgánicos. Agrociencia, Vol. 50, No.5 pp. 551-563. 2016. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000500551&script=sc>
23. "What to know about organic ethanol." julio 2024. <https://www.ethimex.com/knowledge-articles/what-you-should-know-about-organic-ethanol/>.

/ **Received:** 24 June 2024 | **Accepted:** 28 August 2024 | **Published:** 15 September 2024 /

Citation: Sosa-Gómez, E., Gallardo-Aguila, I., Correa-Cortés, Y. Estudio de la etapa de fermentación en la producción de etanol orgánico. *Bionatura*. **2024**; Volume (9). No 3.

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/>)

14 Aspectos genéticos y genómicos de la susceptibilidad y resistencia a las infecciones

Title of the article (translated language) Genetic and Genomics aspects of susceptibility and resistance to infections

César Paz-y-Miño ¹, Ariane Paz-y-Miño ²

¹Facultad de Ciencias de la Salud "Eugenio Espejo", Universidad UTE. Quito, Ecuador.

Av. Mariscal Sucre y Av. Mariana de Jesús, Sede Occidental, 170129 Quito-Ecuador

Phone: +5939 95026485, E-mail: genetica_medica@cesarpazymino.com

²MGB, Mass General Brigham Salem Hospital. Massachusetts, USA. E-mail:

aripymz@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2579-7488>

DOI:

Resumen

La presente revisión aborda los determinantes genéticos y genómicos que influyen en la susceptibilidad o resistencia a las infecciones humanas, sean producidas por bacterias, virus, hongos, parásitos e incluso priones. En la susceptibilidad o resistencia están implicados un gran número de genes, y esto, porque evolutivamente los *Homo sapiens sapiens*, adquirieron modificaciones del ADN claves y adaptables a la defensa, producto de la interacción de los agentes infecciosos con sus propiedades genéticas, la selección natural y las mutaciones. El artículo contempla una descripción de los métodos utilizados en la investigación de esta evolución y adaptación mutua huésped-agente infeccioso. Se presentan los genes involucrados en la susceptibilidad y resistencia, así como las variantes polimórficas que proporcionan mayor o menor capacidad de reacción. El alto número de genes, que producen proteínas específicas de defensa, tienen intrincadas relaciones entre ellos, cuyas relaciones se han analizado construyendo un interactoma, y correlacionado con genes. Las variantes e incluso mutaciones de las 70 a 153 proteínas/genes producen enfermedades que son recopiladas tras el análisis bioinformático y genómico. Adicionalmente diseñamos una red de interacciones físicas como predecibles, con los datos BioGrid y datos de enriquecimiento con la plataforma Gprofiler, encontrando 57 de los 70 genes con interacciones proteína a proteína y la red detectó 1.049 genes interactuantes (en total 1.106 genes y 1.910 interacciones). De este análisis se desprende la importancia de los genes de la inmunidad en la defensa frente a los agentes infecciosos, así como las afectaciones de los genes involucrados: HLA, inmunoglobulinas, interleuquinas, células inmunitarias, entre otras. Conociendo el comportamiento de los genes de susceptibilidad y resistencia

a infecciones, se presenta una lista de enfermedades genéticas que tienen mayor riesgo de infección. Se conoce que las enfermedades infecciosas en general, manifiestan características clínicas generales, que son una buena guía para sospechar una enfermedad, presentamos una lista de signos y síntomas generales de sospecha de fallo genético que predispone a una enfermedad. Adicionalmente, se presentan ejemplos de enfermedades concretas sobre las cuales se conocen la función de los genes, tales como la HIV-SIDA, amebiasis, malaria, Chagas, tuberculosis y Covid-19. En la presente revisión, hemos tratado de abarcar muchas e importantes cuestiones de la susceptibilidad y resistencia, pero estamos conscientes que quedan otros aspectos complementarios.

Palabras claves: genes, susceptibilidad, resistencia, infecciones, genética, genómica, interactoma.

Abstract

The present review addresses the genetic and genomics determinants that influence susceptibility or resistance to human infections, whether produced by bacteria, viruses, fungi, parasites and even prions. A large number of genes are involved in susceptibility or resistance, and this is because evolutionarily *Homo sapiens sapiens* acquired key DNA modifications adaptable to defense, a product of the interaction of infectious agents with their genetic properties, natural selection and mutations. The article includes a description of the methods used in the investigation of this evolution and mutual adaptation host-infectious agent. The genes involved in susceptibility and resistance are presented, as well as the polymorphic variants that provide greater or lesser reaction capacity. The high number of genes, which produce specific defense proteins, have intricate relationships between them, whose relationships have been analyzed by constructing an interactome, and correlated with genes. Variants and even mutations of the 70 to 153 proteins/genes produce diseases that are compiled after bioinformatic and genetic analysis. Additionally, we designed a network of physical interactions as predictable with the BioGrid data and enrichment data with the Gprofiler platform, finding 57 of the 70 genes with protein-protein interactions and the network detected 1,049 interacting genes (in total 1,106 genes and 1,910 interactions). From this analysis we can see the importance of immunity genes in the defense against infectious agents, as well as the effects of the genes involved: HLA, immunoglobulins, interleukins, and immune cells, among others. Knowing the behavior of susceptibility and resistance genes to infections, a list of genetic diseases that have a greater risk of infection is presented. It is known that infectious diseases in general manifest general clinical characteristics, which are a good guide to suspect a disease. We present a list of general signs and symptoms of suspected genetic failure that predisposes to a disease. Additionally, examples of specific diseases for which the function of the genes is known are presented, such as HIV-AIDS, amebiasis, malaria, Chagas disease, tuberculosis and Covid-19. In the present review, we have tried

to cover many important issues of susceptibility and resistance, but we are aware that other complementary aspects remain.

Keywords: genes, susceptibility, resistance, infections, genetics, genomics, interactome.

Introducción

Las enfermedades infecciosas son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. La inmunidad tiene un papel protagónico en la respuesta ante un agente infeccioso, pero la susceptibilidad o resistencia a las enfermedades infecciosas varía entre los individuos, y justamente estas variaciones confirman una predisposición genética a padecer o no estas enfermedades: virales, bacterianas, micóticas, parasitarias e incluso priónicas^{1,2}. En esta revisión, se analizan los genes y la genómica de predisposición a las enfermedades infecciosas, sus interacciones y su importancia en la identificación de individuos con mayor o menor riesgo de contraerlas.

La mayoría de los estudios sobre el origen de las enfermedades infecciosas se han basado en especímenes recolectados de animales domésticos y algunas especies de animales salvajes, y no en un amplio censo de agentes patógenos. Hay grandes lagunas en nuestra comprensión de las enfermedades infecciosas establecidas y el papel de los genes en las mismas, por lo que se necesitan más investigaciones para comprender completamente su origen y evolución¹⁻³.

Las infecciones pueden ser agudas o crónicas, localizadas o diseminadas, y producir estados sépticos, choque y muerte. Las diferencias entre las características de la infección, el agente infeccioso y el desenlace clínico y fisiopatológico, están sustentadas en la genética individual, y se podría extender a la genética poblacional. No se puede dejar a un lado al sistema inmunitario y la manera como éste responde ante un agente infeccioso. El sistema inmunitario y la respuesta humoral o tisular, tienen igualmente un componente genético¹⁻³.

El ambiente en que viven los individuos influye en el tipo de enfermedad, sean zonas tropicales o templadas, por lo tanto, desde el punto de vista evolutivo, las infecciones han jugado un papel modulador en la patología humana, pero también han sido un factor de presión selectiva sobre el genoma^{4,5}. Sabemos que el genoma humano tiene insertado miles de vestigios genéticos de agentes infecciosos y, mutaciones de estos genes alojados, desencadenan enfermedades como linfoma asociado a virus, o priónicas por activación de genes priónicos⁶.

Enfermedad y salud en el contexto evolutivo

La aparición de nuevas enfermedades infecciosas se ha asociado al inicio de la agricultura y la domesticación de animales, lo que llevó a un aumento en la densidad de la población humana y animal, y mayor interacción, lo que a su vez creó nuevas oportunidades para la transmisión de

enfermedades. En la época moderna, la globalización y el cambio climático han aumentado la velocidad y la facilidad con la que las enfermedades pueden propagarse³⁻⁷.

En general, los humanos han desarrollado un sistema inmunológico altamente sofisticado que les permite responder a una amplia variedad de patógenos. Los genes implicados en el sistema inmunológico han estado sujetos a una presión selectiva natural a lo largo del tiempo, lo que ha llevado a la aparición de variantes genéticas que determinan distintos grados de resistencia o susceptibilidad a la infección⁸.

La resistencia o susceptibilidad a las infecciones no está determinada por un solo gen o un pequeño conjunto de genes. Es un rasgo poligénico y multifactorial, influenciado por la interacción de varios genes y factores ambientales.

La trayectoria evolutiva de la resistencia o susceptibilidad a las infecciones en humanos, implica comprender cómo surgen y se transmiten las variaciones genéticas entre generaciones, y estudiar las poblaciones humanas actuales y comparar sus perfiles genéticos, así como analizar fósiles y muestras genéticas antiguas para rastrear la evolución de los genes implicados en las respuestas inmunitarias.

El ADN del núcleo y de las mitocondrias analizados en humanos, nos pone en un escenario muy particular. El hombre moderno, los cromañones, convivieron con una especie que evolucionó con nosotros en Eurasia: los Neandertales. Pasaron juntos unos 200 mil años hasta que se extinguieron por falta de adaptación biológica, y en este período intercambiaron genes. Los humanos actuales tenemos entre el 1 al 4% de genes similares a Neandertales, quienes nos proveyeron genes de resistencia al frío, a la diabetes, lupus, cirrosis y de una mejor inmunidad⁷⁻⁹.

Las especies han tenido que interrelacionarse unas con otras; en muchos casos cooperando entre ellas (en lo que se denomina simbiosis) y en otros casos una especie parasita a la otra, produciendo enfermedad o muerte. Las especies, en el proceso evolutivo, han adquirido la capacidad de defenderse de los agresores, poniendo como barrera el sistema inmunitario. Los humanos hemos tenido contacto con agentes potencialmente infectantes exclusivos de animales, de patógenos zoonóticos con adaptación limitada a los humanos, de patógenos zoonóticos con adaptación a los humanos y patógenos exclusivos de humanos.

La inmunidad humana es muy versátil y genera una infinidad de anticuerpos contra los antígenos que ingresan. Los genes que comandan la inmunidad son un complejo rompecabezas que arregla y reconstruye porciones de genes para diseñar la mejor defensa posible contra los antígenos; los fragmentos de las inmunoglobulinas H, L y J construyen por empalme alternativo, miles de miles de anticuerpos. El empalme alternativo para la construcción de anticuerpos funciona como secuencias genéticas de inserción, verdaderos transposones^{10, 11}.

Los genes de la inmunidad son específicamente seleccionados durante la evolución de las especies, tal es así que una presión selectiva para los genes es justamente la presencia de un patógeno o parásito, y esta selección natural a favor de la inmunidad actuaría en doble sentido; es decir, las estrategias para rechazar al parásito y las estrategias de los parásitos para adaptarse. El juego genético entre agresor y agredido tiene entonces una gran riqueza molecular: genes que se reordenan, genes que mutan, que se trasponen, etc., en función de adaptarse a las exigencias del medio y sobrevivir^{7, 10-16}. A medida que los vertebrados evolucionaron, surgieron sistemas inmunológicos más complejos. Evolucionaron células inmunitarias más especializadas, como los linfocitos B y T, que son esenciales para la inmunidad adaptativa. Esta adaptación permitió una respuesta inmune más específica y eficiente¹⁰⁻¹⁶.

Un sistema inmunológico adaptable y variable, es una de las características más destacadas de los vertebrados en la evolución. En los humanos, los linfocitos B y T pueden reconocer patógenos específicos y desarrollar respuestas inmunes contra ellos. Esta adaptación hizo posible la memoria inmunológica¹⁰⁻¹⁶. Los estudios de ADN han servido para comprender los estándares de respuesta a la enfermedad y la salud de las poblaciones antiguas^{16, 17}.

En África, por ejemplo, un estudio de paleopatología de los restos óseos de un niño cazador-recolector de 2.000 años de antigüedad, relacionado con los grupos Khoe-San del sur de África actual, evidenció mala salud, lo que llevó a su muerte a una edad temprana estimada en 7 años¹⁸⁻²⁰. El análisis metagenómico de microorganismos reveló que el niño estaba infectado con *Rickettsia felis*, un patógeno transmitido por pulgas que causa una enfermedad similar al tifus¹⁸⁻²⁰. El hallazgo de que *R. felis* existió hace al menos 2.000 años entre las sociedades de cazadores-recolectores de la Edad de Piedra cuestionó las suposiciones anteriores de que *R. felis* era un patógeno nuevo o emergente asociado con estilos de vida sedentarios. Los estudios de ADN han puesto en evidencia un proceso de adaptación local a las condiciones ambientales extremas^{5, 10, 11, 18, 19}.

En las Américas, el estudio del ADN de patógenos ha sido útil para comprender los efectos de la colonización europea en la prevalencia de enfermedades y la extensión de los patógenos que estaban presentes antes del contacto entre europeos y nativoamericanos^{20, 21}. El ADN extraído de individuos de la precolonización de Perú, con lesiones asociadas a la tuberculosis, reveló que la cepa responsable de estas infecciones, probablemente llegó a la costa del Pacífico de América del Sur a través de mamíferos marinos^{21, 22}. De manera similar, la comparación del ADN de patógenos orales, entre los períodos pre-colonización y post-colonización, han mostrado un reemplazo de cepas indígenas por cepas europeas, así como una mayor prevalencia de estos patógenos en los tiempos posteriores a la conquista. Varios patógenos han sido detectados a través del ADN en la época colonial, incluyendo los agentes infecciosos responsables de la fiebre paratifoidea, la sífilis y la hepatitis B^{21, 22}.

El ADN también ha proporcionado información sobre la incidencia y la transmisión de patógenos en Asia. La identificación de cepas de *Yersinia pestis* del Neolítico tardío a principios de la Edad del Bronce, agente causante de la peste, de la región de Cis-Baikal, es la primera evidencia de que este linaje infecta a individuos que carecen de ascendencia esteparia²³. Otros informes de *Y. pestis* en yacimientos de la Edad del Bronce en las regiones de Yakutia y Cis-Baikal, que representan el hallazgo euroasiático más oriental de esta bacteria, pueden ser indicativos de una mayor propagación de esta enfermedad en el noreste de Asia, durante la Edad del Bronce²³.

La malaria y la leishmaniasis, transmitida por mosquitos infectados, es endémica en algunas regiones tropicales y subtropicales de América, pudiendo ser graves o incluso mortal por variaciones genéticas del huésped²²⁻²⁶.

Algunas enfermedades gastrointestinales, como la disentería y la amebiasis, fueron comunes en los pueblos indígenas. Estas enfermedades suelen transmitirse por el consumo de agua o alimentos contaminados y existen variaciones en la presentación clínica, asociadas a variantes genéticas^{22, 23}.

Las infecciones del tracto respiratorio, como la neumonía, son comunes entre los indígenas de América y se plantea que sus manifestaciones varían de acuerdo a sus genomas. Las infecciones por diversos tipos de parásitos intestinales, como helmintos y protozoos, también eran comunes en América antes de la llegada de los españoles²²⁻²⁷.

En relación a la Sífilis en América antes de la llegada de los españoles, la teoría dominante es que, la sífilis fue una enfermedad introducida tras el contacto con los europeos. Sin embargo, algunas investigaciones y evidencia arqueológica sugieren que es posible que existiera una enfermedad similar a la sífilis en los pueblos indígenas antes de la llegada de los europeos. La principal evidencia utilizada para sustentar la presencia de sífilis precolombina es el estudio de restos y momias de individuos antiguos. Algunos de estos restos muestran lesiones óseas y dentales similares a la sífilis. Además, se han encontrado representaciones artísticas, como pinturas y cerámicas, que indican la presencia de enfermedades similares a la sífilis en la América precolombina. Persiste la discusión y la teoría más aceptada, como se mencionó, es que la sífilis fue una enfermedad introducida en América tras el contacto con los europeos durante el período de la conquista²¹⁻²⁸.

Las epidemias de viruela, sarampión, influenza y sífilis ocurridas durante el período colonial tuvieron un impacto significativo en los pueblos indígenas de las Américas. Se estima que, en ciertas áreas, las tasas de mortalidad alcanzaron hasta el 90% o más de la población indígena. Estas cifras son impactantes y reflejan la devastación sufrida por las comunidades indígenas ante enfermedades para las cuales no tenían inmunidad^{21, 27, 28}.

El ejemplo del gen *TRK2* (Tirosine Kinase 2), estudiado en varias poblaciones del mundo, ha evidenciado que variantes en homocigosis predispone a la tuberculosis, sin embargo, al evaluar la

evolución de este gen y sus variantes de riesgo, se encontró que este gen ha mutado hacia la versión normal, que no conlleva riesgo de enfermedad, y esta preferencia hacia el alelo normal, por selección natural, se ha producido en los últimos 4 mil años. Estos hallazgos suponen un potencial extraordinario de adaptación y evolución del ADN en presencia de los agentes infecciosos²⁹.

Otro ejemplo es el VIH-1, que ilustra cómo los patógenos pueden evolucionar hasta convertirse en agentes infecciosos en los humanos. El VIH-1 es un virus que se originó en los chimpancés y se transmitió a los humanos al comer carne de animales infectados. A medida que el virus se propagó en la población humana, evolucionó para infectar a los humanos de manera más efectiva y para propagarse de persona a persona. Hoy el VIH-1 es un patógeno que se encuentra sólo en humanos y no puede infectar a los animales³⁰⁻³¹.

Genética de la resistencia o susceptibilidad a las infecciones

Las variaciones en los genes relacionados con el sistema inmunológico pueden afectar la capacidad de un organismo para combatir infecciones. Estas variaciones genéticas pueden heredarse y transmitirse de generación en generación³²⁻³⁵. Los individuos con variaciones genéticas que los hacen más susceptibles a la infección pueden tener una menor supervivencia y un menor éxito reproductivo^{9, 32-36}.

El estudio y descubrimiento de genes asociados con la susceptibilidad y resistencia a infecciones requiere una metodología integral, que incluye estudios de asociación genética y enfermedades (GWAS), análisis genéticos y genómicos, estudios de expresión génica e inmunológica. Los enfoques computacionales y matemáticos son esenciales para abordar la complejidad de los procesos biológicos involucrados. Por último, la construcción y análisis de redes de interacción molecular, conocidas como interactomas, ofrece una perspectiva integral de cómo las moléculas interactúan y coordinan funciones biológicas específicas³⁶⁻⁴⁶.

El interactoma se refiere a la totalidad de interacciones físicas y funcionales entre moléculas dentro de una célula, tejido u organismo en particular. Esto incluye interacciones entre proteínas, proteínas y ácidos nucleicos, proteínas y lípidos y, entre otras biomoléculas. Esta metodología de análisis se extiende a las redes de enriquecimiento, utilizadas para comprender las relaciones funcionales de genes y éstas con procesos biológicos, celulares y metabólicos.

El concepto de interactoma surgió en la década de 1990 con el objetivo de comprender mejor las redes de interacción entre moléculas en los sistemas biológicos. El primer interactoma completo de un organismo se creó en 2002 para la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Desde entonces, se han realizado interactomas de otros organismos, incluidos los humanos. De hecho, el Proyecto de Interactoma Humano (Human Interactome Project), se inició en 2002. El objetivo de este proyecto

fue identificar y caracterizar las interacciones proteína-proteína en el organismo humano utilizando técnicas experimentales y bioinformáticas³⁶⁻⁴⁶.

Estudiar el interactoma nos permite comprender cómo interactúan las moléculas para realizar funciones biológicas específicas. Estas interacciones pueden estar involucradas en una variedad de procesos celulares, que incluyen: señalización celular, regulación genética, transporte molecular, respuestas inmunitarias y muchas otras o, las interacciones pueden ser físicas, como las interacciones proteína-proteína, o funcionales, como las interacciones proteína-ADN o proteína-ARN³⁶⁻⁴⁴. La red de enriquecimiento se construye mediante el análisis de datos de expresión génica o datos de perfiles genómicos obtenidos de experimentos de alto rendimiento, como microarrays de ADN o secuenciación de ARN. El objetivo principal es identificar y agrupar conjuntos de genes que estén coordinadamente regulados o que estén relacionados funcionalmente.

Las variaciones genéticas, como mutaciones o variantes polimórficas, pueden alterar estas interacciones y afectar tanto la estructura como la función de las proteínas, lo que a su vez influye en los procesos biológicos subyacentes, como la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades. Además, el conocimiento del interactoma puede conducir a la identificación de nuevos objetivos terapéuticos, el desarrollo de fármacos y la predicción de respuestas a tratamientos específicos, incluida la aparición de multirresistencias a fármacos^{37, 41, 43, 45}.

Existen varios genes que están implicados en la resistencia y susceptibilidad a las infecciones. Estos genes pueden afectar diferentes aspectos del sistema inmune, la respuesta inflamatoria y la capacidad del organismo para reconocer y combatir patógenos. En la Tabla 1, se exponen algunos grupos de genes relacionados con la resistencia y susceptibilidad a las infecciones^{9, 31-46}. Las variantes genéticas que presentan estos genes están determinando fallos en la regulación de la expresión genética, cambios del ARN, cambios en la estructura de las inmunoglobulinas, modulación de la respuesta inmune, interacciones anómalas con otros genes y factores ambientales.

Con los genes conocidos, relacionados a susceptibilidad y resistencia y haciendo un análisis inverso de gen a proteína, se diseñó un gráfico de interacciones proteicas o interactoma (Figura 1). Los genes codifican proteínas, y estas proteínas interactúan en el interactoma para llevar a cabo funciones biológicas. Las variaciones genéticas pueden afectar las interacciones en el interactoma y contribuir a enfermedades. El estudio de estas interacciones es fundamental para comprender los procesos biológicos y su relación con la genética. Si los genes producen proteínas y en la mayoría de ocasiones tienen las mismas denominaciones, aplicando el programa de análisis de gen-proteína UniProt (www.uniprot.org) y consultando la página GeneCards (gencard.com), en último caso, estamos mostrando correlaciones de genes³⁶⁻⁴⁶.

El interactoma es generado por String Software³⁸ y se puede observar las distintas correlaciones complejas del sistema de defensa ante agresores infecciosos, adicionalmente con el software UniProt³⁹ hemos correlacionado las proteínas con su origen genético y con sus genes con los mismos nombres, por lo que podemos utilizar, el interactoma, como referencia de interacciones genéticas complejas en la respuesta a infecciones. Se utilizó la página GeneCards⁴⁰, para ubicar y designar cada proteína del interactoma con el gen y la estructura molecular de cada una.

Los datos del interactoma revelan que entre todas las proteínas analizadas (n=70), producto de genes del mismo nombre, existe una correlación del 0,669. La Tabla 2, muestra las enfermedades relacionadas a interacciones proteicas anómalas, por ende, producto de mutaciones o variantes genéticas, resultantes del análisis del interactoma de proteínas/genes. Cada proteína implicada en el interactoma tiene una función conocida y estas funciones se las observa en diferentes manifestaciones patológicas³⁸⁻⁴⁰.

Se han identificado varios genes asociados con la predisposición y la resistencia a enfermedades infecciosas, incluidos los genes del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), el gen *CISH* y los genes involucrados en el metabolismo lipídico y la respuesta inmune. La genética individual puede influir en la respuesta a diferentes tipos de infecciones, por lo que la lista de genes, que abarca 70 genes, no es definitiva ni completa, por lo que existen muchos otros genes involucrados en la respuesta inmunitaria y la susceptibilidad a las infecciones, muchos de ellos por conocer, pudiendo llegar a 153 genes³⁸.

El análisis ontológico de los 70 genes arroja al menos 17 nodos funcionales de interacción proteica y genética, congruentes con diferentes caminos (pathways) funcionales como son: Activación de receptores inmunológicos, activaciones del receptor de señalización transmembrana, activación de receptores para virus, activación de la 2-5-oligoadenilato sintetasa, activación de reguladores de las funciones moleculares, activación de nucleosidasa NAD(P) y NAD nucleotidasa generadora de ADP-ribosa cíclica, unión a receptores de citoquinas y activación de citoquinas, unión de receptor de señalización y activación del receptor, enlaces proteicos y unión de proteínas idénticas, unión de antígenos, unión al receptor del factor de necrosis tumoral, unión de péptidos y antígeno peptídicos, unión de lipopéptidos, unión de lipopolisacáridos y actividad del receptores de inmunidad, unión de quimiocinas CC y activación del receptor, unión beta amiloide y unión al receptor de quimiocina CCR2. Esto significa que los genes y sus proteínas se interrelacionan como grupos comunes de desencadenamiento de defensa eficiente o no, ante los agentes infecciosos^{43, 45, 46}.

Utilizando el enfoque genómico de redes y de enriquecimiento genómico se obtuvo tres puntos esenciales:

1. Se identificaron todos los genes relacionados con resistencia y susceptibilidad a las infecciones. Consideramos estudios en donde se describen genes y variantes genéticas asociadas con cambios en expresión génica, alteraciones en la estructura del ARN, modificaciones en la conformación de las inmunoglobulinas, modulación de la respuesta inmunitaria, interacciones anómalas con otros genes y la influencia de factores ambientales^{9, 31-46}. La Tabla 1 presenta algunos grupos de genes relevantes en este contexto, ofreciendo una visión general de su contribución a la resistencia y susceptibilidad a las infecciones.

2. Se analizó todas las interacciones descritas para este conjunto de datos utilizando la base de datos BioGrid y se descargó toda la información sobre interacciones, tanto físicas como predichas. Aplicamos un análisis de enriquecimiento para evaluar conceptos tanto funcionales como de vías de señalización.

A partir de esta información, construimos una red de interacción proteína-proteína utilizando la base de datos BioGrid (<https://thebiogrid.org/>), identificando 57 de los 71 genes descritos en la Tabla 1. Esta base de datos adicionó 1.049 genes (nodos) que interactúan con los estudiados, permitiéndonos construir una red de 1.106 genes y 1.910 interacciones. La integración y análisis de esta información se realizó mediante el programa Cytoscape, aplicando un análisis topológico para identificar características estructurales clave de la red. Además, realizamos un análisis de enriquecimiento usando la plataforma Gprofiler (<https://biit.cs.ut.ee/gprofiler/gost>) para interpretar las rutas biológicas sobrerrepresentadas. Este análisis consideró términos de enriquecimiento estadísticamente significativos, enfocados en procesos biológicos y rutas metabólicas provenientes de las bases de datos KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) (<https://www.genome.jp/kegg/>) y Reactome (<https://reactome.org/>).

El análisis de enriquecimiento de la red de interacción enfatiza, estadísticamente, procesos relacionados con el sistema inmunológico y vías de señalización de sistema inmune sobre todo innato, lo que subraya el importante papel de la red en la mediación de las respuestas inmunes y las interacciones con estímulos bióticos.

Como se observa en la Figura 2, procesos biológicos como la respuesta al estrés, la regulación de los procesos del sistema inmunológico y las interacciones entre especies sugieren que la participación de las proteínas estudiadas se relaciona principalmente con la activación de amplias funcionalidades inmunes, desde respuestas básicas al estrés hasta interacciones complejas entre especies. Asimismo, las vías de señalización de citoquinas en el sistema inmunológico, la señalización JAK-STAT, la señalización NF-kappa B y las vías del receptor tipo Toll, señalan a estas rutas como las más representativas dentro de la red inmersas en la modulación y respuesta inmune⁴⁷⁻⁵⁰.

Estas vías son fundamentales para el inicio y la regulación de las respuestas inmunitarias^{43, 45, 46}, lo que señala objetivos potenciales para la intervención terapéutica, especialmente en enfermedades caracterizadas por desregulación inmunitaria o respuestas inflamatorias. La relación de estos resultados con los mecanismos de respuesta inmune conocidos, valida la relevancia de su análisis de red y proporciona una base sólida para una mayor exploración de enfermedades y estrategias terapéuticas relacionadas con el sistema inmunológico.

El análisis topológico de la red de interacción de proteínas proporciona información sobre la organización estructural y funcional de la red (Figura 2 A). De todas las métricas arrojadas por el análisis, utilizamos el grado de interacción de los nodos estudiados (Degree) para definir “centros” o Hubs de conexión en la red, y la “Centralidad de intermediación” como medida de la frecuencia con la que aparece un nodo en los caminos más cortos entre otros nodos (Figura 2 B). Valores altos en esta métrica definen puntos de control críticos o cuellos de botella en la red^{51, 52}. Encontramos que los genes *CD79B*, *TNF*, *TYK2*, *POLD1*, *BCR* y *HBB* son los “centros” con mayor grado de conexión en la red analizada. La identificación de estos “nodos centrales” subraya sus posibles funciones en la respuesta inmune y los mecanismos de defensa de patógenos. *CD79B* y *BCR* son parte integral del complejo receptor de células B e influyen en las respuestas inmunes adaptativas^{53, 54}, mientras que el *TNF* es una citocina fundamental involucrada en la inflamación sistémica⁵⁵, crucial para controlar la infección, pero también implicada en enfermedades inflamatorias⁵⁶. *TYK2*, parte de la vía de señalización JAK-STAT, es clave para la señalización de varios interferones y citoquinas de tipo I, lo que influye tanto en la inmunidad innata como en la adaptativa⁵⁷. *POLD1*, aunque está asociado principalmente con la replicación y reparación del ADN⁵⁸, puede tener funciones en el sistema inmunológico que son menos estudiadas, pero potencialmente significativas, particularmente en términos de estabilidad genómica en células inmunes que proliferan rápidamente⁵⁹. Por último, el *HBB*, parte del complejo de hemoglobina, es fundamental en el transporte de oxígeno, pero también desempeña un papel en la modulación de la respuesta al estrés oxidativo durante las infecciones^{60, 61}. Estos “centros”, al estar altamente interconectados dentro de la red, sugieren que no solo desempeñan funciones individuales en la respuesta a la infección, sino que también pueden interactuar de manera sinérgica, ofreciendo posibles objetivos estratégicos para mejorar la resistencia a la infección y comprender los mecanismos de susceptibilidad.

Las células inmunitarias, como los linfocitos, los macrófagos y las células dendríticas, detectan y destruyen los patógenos invasores. Las proteínas del sistema inmunitario, como las inmunoglobulinas, los interferones y las citoquinas, ayudan a regular y coordinar la respuesta inmunitaria. Fallos en la construcción genética de estos elementos están asociados al desarrollo de enfermedades³³⁻³⁷. Es interesante notar que, el análisis de la red de interacción de proteínas pondera

a citoquinas, genes del antígeno leucocitario humano (HLA) y receptores tipo Toll (TLR) como genes asociados con mecanismos fundamentales de resistencia o susceptibilidad a infecciones. Cada grupo de proteínas contribuye de manera única a la capacidad del sistema inmunológico para defenderse contra patógenos (Tabla 3).

Las citocinas son moléculas de señalización que median y regulan la inmunidad, la inflamación y la hematopoyesis⁶². Variantes genéticas en este grupo de proteínas, como por ejemplo en el gen que codifica el receptor de interleucina-23 (*IL-23*), se han relacionado con susceptibilidad a la enfermedad inflamatoria intestinal y a las infecciones fúngicas. Asimismo, variantes genéticas en interleucina-6 (*IL-6*) y factor de necrosis tumoral alfa (*TNF-α*) se asocian con una mayor gravedad de la enfermedad en pacientes con COVID-19^{37, 41-44, 63-65}. La presencia de *IFNAR1*, *IFNAR2*, *IL10*, *IL4*, *IL4R*, *IL6ST* y *TNF* en nuestra red de interacción indica su papel en la orquestación de las respuestas inmunitarias. Citocinas como *TNF* e *IL6* participan en la respuesta inflamatoria aguda, que es crucial para controlar la propagación de la infección⁶⁶. Por el contrario, las citoquinas reguladoras como IL10 e IL4 pueden modular la respuesta inmune para prevenir la sobre activación, lo que puede provocar daño tisular o trastornos autoinmunes^{67, 68}. El equilibrio en la señalización de las citoquinas puede dictar el resultado de una infección, por lo que el estudio de las proteínas antes mencionadas puede mejorar la descripción de procesos de eliminación efectiva del patógeno o susceptibilidad debido a una respuesta inflamatoria descontrolada.

Las proteínas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), también conocidas como grupo de antígeno leucocitario humano (HLA), desempeñan un papel crucial en la respuesta inmunológica al facilitar el reconocimiento de moléculas extrañas por parte del sistema inmune. Estas proteínas son esenciales para la presentación de antígenos a las células T, lo que permite la identificación y eliminación de patógenos⁶⁹. En el contexto de la enfermedad de Lyme, una infección transmitida por la picadura de garrapatas y causada por la bacteria *Borrelia burgdorferi*, se ha observado que ciertas variantes genéticas en los genes HLA, específicamente *HLA-DRB1*, *HLA-DQA1* y *HLA-DQB1*, están vinculadas con una susceptibilidad aumentada a esta enfermedad^{37, 41, 64}. Variantes moleculares en estos genes influyen significativamente en la capacidad del huésped para responder a la infección, destacando la importancia de los polimorfismos genéticos en la patogénesis de enfermedades infecciosas.

Por otro lado, los receptores tipo Toll (TLRs) constituyen componentes fundamentales del sistema inmune innato, actuando como sensores moleculares esenciales en la detección de patógenos. Estos receptores identifican estructuras altamente conservadas denominadas patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs), característicos de microorganismos invasores. Al ser activados, los TLR inician cascadas de señalización que provocan respuestas inflamatorias y activan mecanismos

de defensa cruciales, incluyendo la producción de citoquinas y la activación de células efectoras⁷⁰⁻⁷². Esta capacidad de respuesta rápida y generalizada es vital para la defensa inmediata contra infecciones y facilita la transición entre la inmunidad innata y la adaptativa mediante la influencia en la activación y maduración de células del sistema inmune adaptativo⁷³. Variaciones genéticas en los genes que codifican para los TLR pueden modificar significativamente la eficacia del sistema inmune innato en el reconocimiento y la respuesta adecuada a los PAMPs⁷⁴. Dichas variaciones pueden resultar en respuestas inmunes atenuadas o sobre activadas, incrementando la susceptibilidad a infecciones, como en el caso de la tuberculosis^{37, 41-44}, o predisponiendo a respuestas inflamatorias crónicas. Nuestro análisis de redes identifica a *TLR1*, *TLR2*, *TLR3*, *TLR4* y *TLR7* como nodos centrales en la susceptibilidad a patógenos. Estos TLR son cruciales no solo para el reconocimiento de patrones moleculares asociados a patógenos, sino también para desencadenar respuestas inmunes innatas y modulares posteriores respuestas adaptativas. Su posición central en la red subraya su papel primordial en la detección inicial y la respuesta a agentes infecciosos.

La ponderación de estos grupos en el análisis de red proporciona una visión profunda de las contribuciones colectivas e individuales a la funcionalidad del sistema inmunológico, destacando cómo los desequilibrios o deficiencias en cualquiera de estos componentes podrían conducir a una mayor susceptibilidad a las infecciones, mientras que el funcionamiento y la interacción óptimos confieren resistencia. Comprender estas dinámicas es esencial para desarrollar intervenciones que tengan como objetivo estimular las respuestas inmunitarias y gestionar eficazmente las enfermedades relacionadas con las infecciones.

3. Se identificaron los clústeres centrales dentro de la red al utilizar Mcode y se exploró las posibles asociaciones de enfermedades con la red analizada (<https://apps.cytoscape.org/apps/mcode>).

El análisis de clústeres y enfermedades con alta significancia en la red analizada se presenta en la Tabla 4.

La variabilidad genética entre los microorganismos también puede influir en su agresividad, o en la resistencia a los antimicrobianos. En el juego adaptativo de la evolución, los agentes infecciosos hacen su mejor trabajo para escapar del sistema inmune (presión selectiva), y para ello cambian con frecuencias sus genomas^{37, 41-44, 63}. Justamente aquí radica la dificultad de tratamientos efectivos, resistencias nuevas y la imposibilidad de diseñar vacunas.

Genética de la inmunidad y su papel en la resistencia o susceptibilidad a infecciones

Las células inmunitarias, como los linfocitos, los macrófagos y las células dendríticas, detectan y destruyen los patógenos invasores. Las proteínas del sistema inmunitario, como las inmunoglobulinas, los interferones y las citoquinas, ayudan a regular y coordinar la respuesta inmunitaria. Fallos en la construcción genética de estos elementos están asociados al desarrollo de enfermedades³³⁻³⁷.

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, estos genes se presentan en la Tabla 3.

Las variantes genéticas que involucran a la respuesta a infecciones, determinan algunas características funcionales como: configuración de las cadenas de las inmunoglobulinas, comportamiento y elevación de células B, organización del sistema HLA, participación en la respuesta inflamatoria, actividades del sistema del complemento, conformación de citoquinas, y receptor y conformación molecular de enzimas implicadas en la maduración de las inmunoglobulinas³³⁻³⁵.

La susceptibilidad a enfermedades infecciosas puede deberse a mutaciones en los genes que codifican proteínas de defensa. Algunos ejemplos aclaratorios: las mutaciones en el gen que codifica el receptor de interleucina-12, interleucina-1 y variantes en el gen *TLR2*, que codifica el receptor de tipo Toll 2, se han asociado con la susceptibilidad a la infección por tuberculosis en poblaciones de riesgo^{37, 41-44}.

El gen que codifica el receptor de interleucina-23 (*IL23R*), está implicado en la susceptibilidad a la enfermedad inflamatoria intestinal y a las infecciones fúngicas. Adicionalmente, el *IL23R*, es una citoquina que estimula la producción de citoquinas inflamatorias y activa las células inmunitarias, que ayudan a combatir las infecciones por hongos^{37, 41, 44}.

El gen *FUT2*, que codifica una enzima implicada en la síntesis de antígenos de superficie celular, se asocia con una mayor susceptibilidad a las infecciones por norovirus y rotavirus. Las personas con mutaciones en el gen *FUT2* no pueden producir ciertos antígenos que combaten estas infecciones virales^{37, 41, 63}.

El gen *IFITM3* codifica una proteína que ayuda a prevenir la entrada del virus de la gripe en las células. Los individuos que llevan una copia de una variante genética tienen un mayor riesgo de infección y hospitalización por gripe^{37, 42, 63}.

En la enfermedad de Lyme causada por la bacteria *Borrelia burgdorferi*, que se transmite por la picadura de garrapatas, se conoce que las variantes genéticas en los genes *HLA-DRB1*, *HLA-DQA1* y *HLA-DQB1*, que codifican para moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), están asociadas con una mayor susceptibilidad a esta enfermedad^{37, 41, 64}.

Las variantes genéticas en los genes que codifican para las citoquinas interleucina-6 (*IL6*) y factor de necrosis tumoral alfa (*TNF-α*) se asocian con una mayor gravedad de la enfermedad en pacientes con COVID-19. La identificación de estas variantes genéticas puede ayudar a comprender mejor la patogenia de la enfermedad y desarrollar nuevas terapias^{37, 41- 44, 63-65}.

Evolutivamente, la variación genética involucra la producción idónea o no de inmunoglobulinas, que desembocan en una mayor diversidad de anticuerpos, mayor o menor afinidad y especificidad de estos anticuerpos y, respuesta inmune individual^{65, 75, 76}.

Individuos con enfermedades de origen genético, sea por mutación nueva de un gen o herencia familiar, tienen mayor o menor propensión a enfermedades infecciosas oportunistas, la Tabla 5 muestra algunas enfermedades de origen genético y su clasificación internacional (OMIM)⁷⁷, que tienen mayor predisposición a infecciones.

Los síntomas y signos comunes que hacen sospechar sobre una deficiencia o variante genética de predisposición a infecciones, o una enfermedad genética con riesgo de infecciones son^{65, 76}: Infecciones recurrentes, infecciones graves o persistentes, retraso en el crecimiento y desarrollo, síntomas respiratorios crónicos, problemas gastrointestinales recurrentes, fatiga crónica, inflamaciones recurrentes, problemas neurológicos, trastornos alimentarios, problemas de los sentidos básicos y enfermedades oportunistas (Tabla 6).

Algunas enfermedades relacionadas a genes específicos de resistencia o susceptibilidad

HIV y SIDA

Muchos genes se han relacionado con la susceptibilidad y resistencia a la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH)⁷⁸⁻⁸², que causa el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). Genes como Transportina 3 (*TNPO3*) ha mostrado que su ausencia, la forma mutante, determina resistencia absoluta a la infección por HIV. Junto a estos genes están otros transportadores de proteína intranucleares como el *CPSF6* y *SC35*.

Por otro lado, se ha demostrado que las variaciones genéticas en los genes C-C de los receptores de quimiocina 5 (*CCR5*), el C-X-C gen quimiocina receptor 4 (*CXCR4*) y el *SDF1* gen quimiocina (*CXCL12*), que codifican receptores de quimiocinas, están asociadas en homocigosis, con una mayor susceptibilidad a la infección por VIH⁷⁸⁻⁸².

Las cifras en el Ecuador muestran que para el gen *CCR5* y otros dos asociados a resistencia, los ecuatorianos tienen mutaciones en las regiones genéticas que proporcionan resistencia en el 0,5% de individuos para el *CCR5*, 16% para el *CCR2* y 48% para el *SDF1*. Aunque estos datos no muestran una asociación directa con resistencia a la infección por HIV, ya que todos los individuos analizados

(n=50) son heterocigotos para las mutaciones encontradas, y la resistencia se presenta en homocigosis para las mutaciones³¹.

Lo que significa estos hallazgos en términos generales, es que, a parte de la situación social de hacinamiento, promiscuidad, limitados servicios básicos, incultura de salud sexual, etc., los genes tienen mucho que decir sobre la resistencia o susceptibilidad. En Europa, la presencia de mutaciones de resistencia al HIV⁷⁸⁻⁸², es mucho más alta, llega al 26% de la población, mientras que en Latinoamérica es de 4%.

Amebiasis

Las altas infestaciones por amebas son un problema de salud pública, sobre los genes de predisposición y resistencia, se ha demostrado que algunos genes de inmunidad innata, como el gen de la interleucina-8 (*IL8*) y el gen del factor de necrosis tumoral alfa (*TNF-α*), están asociados con un mayor riesgo de infección amebiana. Estos genes codifican proteínas que desempeñan funciones importantes en la respuesta inflamatoria y la defensa del huésped contra las infecciones. Un estudio ha descubierto que las personas con determinadas mutaciones genéticas en el gen *IL8* tienen un mayor riesgo de infección por *Entamoeba histolytica*⁸³⁻⁸⁵.

Los genes de la inmunidad adaptativa, como los del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), están asociados con la susceptibilidad a las infecciones amebianas. El MHC presenta antígenos a los linfocitos T y desencadena una respuesta inmune específica. Ciertas variaciones genéticas en el gen MHC están asociadas con un mayor riesgo de infección por *Entamoeba histolytica*⁸³⁻⁸⁵.

La inflamación es una respuesta inmune que puede ser beneficiosa o perjudicial para el huésped. Se ha demostrado que ciertos genes relacionados con la inflamación, como el gen de la interleucina-1 beta (*IL1β*) y el gen del receptor tipo peaje 2 (*TLR2*), están asociados con la susceptibilidad a las infecciones amebianas. Personas con cierta variación genética en el gen *IL1β* tienen mayor riesgo de infectarse⁸³⁻⁸⁵.

Adicionalmente, los genes que codifican proteínas implicadas en la formación y el mantenimiento de la barrera epitelial, como el gen de la filagrina y el gen del receptor tipo peaje 4 (*TLR4*), están asociados con la susceptibilidad a las infecciones amebianas. Personas con variaciones genéticas en el gen de la filagrina tienen un mayor riesgo de infección⁸³⁻⁸⁵.

Existe la duda de si una persona con un genoma específico, tiene mayor predisposición a una amebiasis intestinal o una visceral o hepática. Lo más probable es que factores del huésped (genes) y del parásito (serotipo) jueguen un papel clave para infecciones localizadas o extendidas⁸³⁻⁸⁵.

Malaria

Es causada por el parásito intracelular *Plasmodium* y transmitida a través de la picadura del mosquito *Anopheles*. La susceptibilidad a la malaria está influenciada por factores genéticos y ambientales. En Ecuador, durante el año 2020 se notificaron 1.946 casos: 236 por *P. falciparum* y 1.710 por *P. vivax*, dos únicos tipos encontrados en el país^{86, 87}.

Uno de los genes más estudiados es el gen de la hemoglobina beta (*HBB*). La mutación más común en este gen es la mutación de la hemoglobina S (HbS), que causa la anemia falciforme. Se ha demostrado que las personas heterocigotas para la mutación HbS son más resistentes a la infección por *Plasmodium falciparum*, la especie de *Plasmodium* responsable de la mayoría de los casos de malaria en África. De hecho, los glóbulos rojos que portan la mutación HbS están menos adaptados a la replicación del parásito. Sin embargo, las personas homocigotas para la mutación HbS tienen un mayor riesgo de sufrir complicaciones graves de la malaria, como anemia grave, síndrome de dificultad respiratoria aguda, trombosis por taponamiento capilar por células rojas en forma de media luna⁸⁶⁻⁸⁸.

En Ecuador, existen varios estudios sobre la hemoglobina S, dependiendo de la región y la etnia. En población afroamericana de la zona más afectada de malaria, la provincia de Esmeraldas, los resultados muestran que el 75,7% de la población estudiada presenta hemoglobina normal y 24,3% tienen variantes de hemoglobina. La variante más frecuente fue Hb.AS con 84,9%, seguida de Hb.AF 9,6%, Hb.SS 2,7%, Hb.FS 2,4% y Hb.FF 0,3%. Otros datos muestran que existe prevalencia del 8,3% (IC95%=4,7%-12,2%) de hemoglobina C y del 0,5% (IC95%=0,0%-1,3%) de hemoglobina S. Pero se ha detectado también una prevalencia del 16% de hemoglobina S en niños de ascendencia afro. Estas variantes fueron de carácter heterocigoto (AC y AS respectivamente)⁸⁶⁻⁹⁰.

Además de la mutación HbS, se han identificado otros genes que pueden proporcionar cierto grado de resistencia a la malaria. Estos incluyen variantes genéticas en los genes de la hemoglobina C, la hemoglobina E y la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (*G6PD*) que, según los datos del Ecuador, llega hasta el 10% de prevalencia en regiones expuestas a malaria. Otro marcador genético relacionado a la resistencia por *Plasmodium vivax*, es el factor Duffy negativo, y en Ecuador se encuentra en el 11% de población afrodescendiente, y dentro de estos individuos, se encuentra 4% reactivo a *P. vivax* y 2% reactivo a *P. falciparum*⁸⁶⁻⁹⁰.

Se han identificado otros genes que pueden influir en la susceptibilidad a la malaria, incluidos los que codifican proteínas del sistema inmunológico, como el receptor tipo Toll 1 (*TLR1*), la interleucina 10 (*IL10*) y las células del parásito, así como con la proteína de unión 1 (PfEMP1). Se ha demostrado que individuos con variantes en los genes que codifican proteínas implicadas en la producción de glóbulos rojos, como el gen del factor estimulante de la eritropoyesis (*EPO*) y el gen de la banda 3

de la membrana de los glóbulos rojos (*SLC4A1*), tienen probabilidades de tener malaria, y las variantes de este último gen están asociadas con una mayor susceptibilidad a la malaria grave⁸⁶⁻⁹⁰.

Algunas variantes de los genes del MHC y HLA se han asociado con una mayor o menor susceptibilidad a la malaria⁸⁸. También se han identificado variantes en genes implicados en la respuesta inflamatoria, como el gen del factor de necrosis tumoral (*TNF*), proteína implicada en la inflamación y la apoptosis, asociadas con una mayor susceptibilidad a la malaria grave.

Enfermedad de Chagas

Se estima que alrededor de 8 millones de personas en todo el mundo están infectadas por *Trypanosoma cruzi*, que desencadena la enfermedad de Chagas. En Ecuador según cifras del Ministerio de Salud Pública, en el año 2020 se notificaron 113 casos de Enfermedad de Chagas: 101 casos de Chagas Crónico y 12 casos de Chagas Agudo. Aunque la mayoría de las personas infectadas no desarrollan ningún síntoma, la enfermedad puede ser grave en algunos casos, especialmente en personas con sistemas inmunológicos debilitados⁹¹.

Ciertos genes están asociados con un mayor riesgo de infección y al desarrollo de enfermedades sintomáticas⁸⁸⁻⁹¹, entre éstos se encuentran: Genes del sistema inmunológico, genes del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) y genes de citoquinas. Se conoce que ciertas variantes del gen MHC están asociadas con un mayor riesgo de desarrollar enfermedad sintomática, al igual que los genes de respuesta a la inflamación, como los que codifican la interleucina-10 (*IL-10*) y la interleucina-6 (*IL-6*)⁹¹⁻⁹⁴.

Los genes de respuesta al estrés oxidativo, causado por un exceso de radicales libres en el organismo, como el gen de la enzima superóxido dismutasa (*SOD*), están asociados con la susceptibilidad a la enfermedad de Chagas⁹¹⁻⁹⁴.

Se ha observado que genes de respuesta al daño del ADN por infección de *T. cruzi*, como el gen de la enzima polimerasa delta (*POLD1*) y variantes en otros genes reparadores, incluso podrían dañar el propio ADN de las células del huésped, contribuyendo al desencadenamiento de los efectos de la enfermedad de Chagas⁹¹⁻⁹⁴.

Un estudio de polimorfismo de nucleótido simple (SNPs) de genes asociados a cardiopatía producida por *T. cruzi*, no mostró a ningún SNP asociado con la miocardiopatía. Dos SNPs (rs4149018 y rs12582717) están asociados con la miocardiopatía, estos se encuentran en el cromosoma 12p12.2 en el gen *SLCO1B*. Se identificaron 44 SNPs adicionales asociados con seis rasgos de la enfermedad de Chagas: fracción de eyección, PR, QRS, intervalos QT, niveles de anticuerpos mediante EIA y parasitemia mediante PCR⁹¹⁻⁹⁴.

Tuberculosis

En Ecuador, la tuberculosis sigue siendo un importante problema de salud pública. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el año 2020, la incidencia estimada de tuberculosis en Ecuador fue de aproximadamente 24 casos por cada 100.000 habitantes. El número estimado de muertes por tuberculosis aumentó en 34% y la incidencia el 9,4%. Además, la tasa de mortalidad por tuberculosis en Ecuador es aproximadamente 1,5 casos por cada 100.000 habitantes en el mismo año⁹⁵.

La tuberculosis es una enfermedad multifactorial que involucra diversos factores genéticos y ambientales. Aunque se han identificado varios genes asociados con un mayor riesgo de desarrollar tuberculosis, las interacciones entre estos genes y los factores ambientales son complejas y aún se están estudiando en detalle⁹⁵⁻¹⁰⁰.

Uno de los genes más estudiados asociados con la susceptibilidad a la tuberculosis es el gen *NRAMP1* (proteína 1 de macrófagos asociada a la resistencia natural). Las variaciones genéticas en *NRAMP1* se asocian con un mayor riesgo de infección y enfermedad de tuberculosis. Este gen participa en la regulación del sistema inmunológico y desempeña un papel en la respuesta de los macrófagos a la infección por *Mycobacterium tuberculosis*⁹⁵⁻¹⁰⁰.

Otro gen importante asociado con la susceptibilidad a la tuberculosis es el gen *IFNG* (interferón gamma). Las mutaciones en *IFNG* se asocian con un mayor riesgo de desarrollar tuberculosis activa⁹⁵⁻¹⁰⁰.

Además de estos genes, también se conoce otras mutaciones asociadas con la susceptibilidad a la tuberculosis, incluidos genes relacionados con la vía de señalización del factor de necrosis tumoral alfa (*TNF-α*) y genes relacionados con respuestas inmunes innatas como los *TLRs* (Toll-Ljke Receptor) y *CISH* (proteína que contiene SH2 inducible por citoquinas)⁹⁵⁻¹⁰⁰.

TYK2 (Tyrosine Kinase 2) cuya presencia en homocigosis aumenta el riesgo a manifestar la enfermedad. Este gen es muy interesante, ya que se ha observado que las variantes de susceptibilidad tienden a bajar la incidencia de tuberculosis en los últimos 4 mil años⁶⁹⁻⁷².

Además de los genes mencionados anteriormente, existen otros genes asociados con la susceptibilidad a la tuberculosis, entre estos⁹⁵⁻¹⁰⁰:

El gen *VDR* codifica el receptor de vitamina D, que juega un papel importante en la respuesta inmune a la tuberculosis. Varias variaciones genéticas en este gen se asocian con un mayor riesgo de tuberculosis.

Variaciones en el gen *IL10* se asocian con un mayor riesgo de tuberculosis porque pueden afectar la producción de IL10 y la capacidad del sistema inmunológico para controlar la infección.

Las mutaciones en genes que codifican las subunidades de *IL12*, como *IL12A* e *IL12B*, se asocian con un mayor riesgo de tuberculosis. La interleucina 6 es otra citocina implicada en las respuestas inmunitarias.

Variaciones en genes relacionados con la vía de la interleucina *IL17*, como la *IL17A* y la *IL17F*, están asociadas con el riesgo de tuberculosis pulmonar.

COVID-19

Entre los factores de predisposición a la infección por SARS-COV-2 se han descrito algunos como el grupo sanguíneo, la etnia, el origen humano y la cantidad de genes neandertales, genes de autoinmunidad, HLA, genes de falla cardíaca o renal, entre otros factores. En la búsqueda de genes de predisposición se deben considerar al menos tres grupos: genes con variantes raras, genes con variantes comunes y genes asociados con formas clínicas de la enfermedad, lo que permitiría descifrar los diferentes pasos moleculares que el virus y su patogenicidad producen.

La infección por SARS-CoV-2, como otras infecciones, involucra al menos tres aspectos: la capacidad patogénica del virus, la susceptibilidad genética y la interacción virus-huésped en un ambiente. Para varios virus, está demostrado que tienen receptores celulares específicos de unión con las células y son determinantes en la entrada o no del virus a las células^{41, 101-104}.

Para el virus SARSCoV-2, se conoce que el receptor *ACE2* (Enzima Convertidora de Angiotensina 2), es clave para que el virus se adhiera a la membrana celular del epitelio pulmonar, al neumocito. El receptor *ACE2* tiene su gen específico con el mismo nombre localizado en el cromosoma Xp22.2 y tiene a su vez interacciones con algunos genes^{41, 101-104}.

En un estudio que realizamos sobre genes de predisposición a la infección por SAR-COV-2, estudiamos las interacciones de proteínas que tengan relación con la entrada, sintomatología y progreso de la COVID-19 y con otras proteínas similares o coadyuvantes. Estas interacciones son extremadamente importantes para comprender la fisiopatología de la enfermedad y sus distintos niveles de efectos observados como asintomáticos leves, moderados y graves, espectro conocido como heterogeneidad clínica. La heterogeneidad de los síntomas puede reflejar la heterogeneidad de las interacciones proteicas⁴¹.

Los genes controlan estas interacciones entre proteínas y las vinculan a variaciones clínicas. Describimos 45 proteínas, entre ellas, 38 tienen correlaciones fuertes o moderadas con respecto a susceptibilidad al COVID. Once de estas proteínas son proteínas que muestran interacciones y fuertes expresiones sinérgicas: *ACE2*, *AGT*, *AGTR1*, *AGTR2*, *REN*, *MME*, *PRCP*, *MEP1A*, *MEP1B*, *XPNPEP2* y *DPP4*^{41, 101-104}.

El análisis de interacciones, muestra que seis proteínas tienen funciones y actividades homólogas. La correlación promedio de estas 11 proteínas fue de 0,844. Lo que significa que están involucradas en la susceptibilidad. Estas once proteínas son las más correlacionadas con las funciones de renina-angiotensina, agiotensinógeno, carboxipeptidasa, beta meprina, por lo que, controlan funciones como la presión arterial sistémica, el volumen sanguíneo, producción de aldosterona, degradación de proteínas, transducción de señales adrenérgico en cardiomiocitos, interacciones de ligandos receptores nerviosos, metabolismo de hormonas peptídicas y participa en el sistema de rodopsina. Estas interacciones explicarían la sintomatología de los pacientes y su variedad clínica⁴¹.

Otros análisis y observaciones sobre el COVID-19 al igual que las discusiones sobre la vacuna de ARN, el COVID de larga duración, se puede encontrar en varias revisiones^{105, 106}.

Subsection

Figures, Tables and Schemes

Figura 1. Interactoma de predisposición y resistencia a infecciones. Constan 70 proteínas/“genes” correlacionadas con una $p=0,669$. Esto significa que las proteínas tienen más interacciones ($n=624$) entre sí, de lo que se esperaría para un conjunto aleatorio de proteínas del mismo tamaño y grado de distribución extraídas del genoma. Tal correlación indica que las proteínas están al menos parcialmente conectadas biológicamente, como un grupo.

Figura 2. Análisis de enriquecimiento y red de interacción proteína-proteína asociados con la susceptibilidad a infecciones. A) Representación gráfica tipo Manhattan que muestra los términos ontológicos más significativos derivados del análisis de enriquecimiento. Los términos están codificados por colores según su origen: términos de función molecular del Gene Ontology (GO) en rojo, vías de señalización de la base de datos KEGG en verde y vías de la base de datos REACTOME en morado. B) Red de interacción proteína-proteína construida a partir de datos de interacción de la base de datos BioGrid. La topología de la red destaca los nodos centrales (cajas rojas) en función de su grado de interacción con las proteínas estudiadas y su asociación con distintas citoquinas (morado), clusters de diferenciación (CDs) (rojo), moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (HLA) (verde), y receptores tipo Toll (TLR) (amarillo). El tamaño de los nodos refleja el índice de “Centralidad de Intermediación” dentro de la red.

Tabla 1. Grupos de genes involucrados en la resistencia y susceptibilidad a las infecciones.

Genes del sistema inmunitario	Genes como el receptor de células T (TCR), el gen del receptor de células B (BCR), el gen del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) y los genes que codifican las citoquinas (moléculas de señalización del sistema inmunitario).
Genes de la respuesta inflamatoria innata	Genes implicados en la producción de moléculas proinflamatorias, como las interleucinas IL6 e IL8, el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y las quimiocinas.
Genes de reconocimiento de patógenos	Genes como los receptores tipo Toll (TLR), los receptores tipo NOD (NLR) y los receptores de lectina, influyen en la resistencia o susceptibilidad a las infecciones al modular la capacidad de reconocimiento y activación del sistema inmunitario.
Genes de la respuesta inflamatoria	Genes como del factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y el gen de la interleucina 1 beta (IL1 β), influyen en la susceptibilidad a las infecciones y en la gravedad de la enfermedad.
Genes de la respuesta antiviral	Genes implicados en la respuesta antiviral, como los interferones y los factores de restricción viral, influyen en la capacidad del organismo para resistir las infecciones virales.
Genes de la fagocitosis y destrucción de patógenos	Genes de los receptores de reconocimiento de patrones (PRRs) y los genes que codifican enzimas bactericidas, pueden influir en la capacidad del organismo para eliminar los patógenos y determinar la resistencia a las infecciones.
Genes del sistema del complemento	Genes implicados en la vía del complemento, como los genes C3, C4 y C5, pueden influir en la capacidad del organismo para combatir infecciones bacterianas y virales.
Genes relacionados con la respuesta celular adaptativa	Genes implicados en la diferenciación y activación de las células T y células B, como los genes del complejo de histocompatibilidad humano (HLA) y los genes de las

	<p>inmunoglobulinas, pueden influir en la capacidad del organismo para reconocer y eliminar patógenos, y en la resistencia a las infecciones.</p>
<p>Genes de la barrera mucosa</p>	<p>Genes implicados en la producción de mucinas, proteínas antimicrobianas y otros componentes de la barrera mucosa, pueden influir en la resistencia a las infecciones en tejidos como el tracto gastrointestinal, respiratorio y genitourinario.</p>
<p>Genes del sistema del interferón</p>	<p>Genes implicados en la producción y respuesta al interferón, como los genes <i>IFN-α</i>, <i>IFN-β</i> y <i>IFN-γ</i>, pueden influir en la capacidad del organismo para combatir las infecciones virales.</p>
<p>Genes de la regulación de la respuesta inmunitaria</p>	<p>Genes implicados en la regulación de la respuesta inmunitaria, como los genes del sistema HLA, los genes reguladores de células T (como <i>CTLA4</i> y <i>PDDC1</i>) y los genes que codifican proteínas inhibitoras de la señalización inflamatoria, influyen en la susceptibilidad a las infecciones y en el desarrollo de enfermedades autoinmunes.</p>
<p>Genes del metabolismo de los antimicrobianos</p>	<p>Genes de defensinas y las catelicidinas, para la defensa contra patógenos. Defensinas en humanos: alfa, beta y theta, como <i>DEFA1</i>, <i>DEFA2</i>, <i>DEFA3</i>, <i>DEFB1</i>, <i>DEFB4</i>, <i>DEFB103</i>, codifican proteínas precursoras de las defensinas.</p>
<p>Genes del sistema del complejo mayor de histocompatibilidad II (MHC II)</p>	<p>Genes del MHC II, como los genes HLA-DR, HLA-DP y HLA-DQ, están asociados con la susceptibilidad o resistencia a enfermedades infecciosas.</p>
<p>Genes relacionados con la respuesta inflamatoria mediada por células T</p>	<p>Genes implicados en la activación y función de las células T, como los genes CD4 y CD8, los genes de las citoquinas (por ejemplo, <i>IL2</i>, <i>IL12</i>) y los genes de los receptores de células T (TCR).</p>
<p>Genes relacionados con la respuesta inflamatoria mediada por células B</p>	<p>Genes implicados en la activación y función de las células B, como los genes de las inmunoglobulinas (IgM, IgG,</p>

	IgA) y los genes de los correceptores de células B (<i>CD19</i> , <i>CD20</i>).
Genes relacionados con la respuesta antiparasitaria	Genes de la respuesta inicial antiparasitaria. Genes de las proteínas efectoras de eosinófilos, las moléculas de adhesión de células endoteliales y los genes de las citoquinas (<i>IL4</i> , <i>IL5</i> , <i>IL13</i>). Genes de células asesinas naturales (NK) asociados con la respuesta inmunitaria innata y la lisis de células infectadas por parásitos.
Genes del receptor de células T específico para antígeno (TCR)	Genes que codifican las cadenas alfa y beta del TCR para la especificidad del reconocimiento de antígenos por parte de las células T.
Genes del receptor tipo Toll 4 (<i>TLR4</i>)	<i>TLR4</i> , un receptor de reconocimiento y detección de lipopolisacáridos bacterianos. Variaciones genéticas en el gen <i>TLR4</i> se han asociado con la susceptibilidad a infecciones bacterianas, como la sepsis y la enfermedad periodontal.
Genes del receptor tipo NOD 2 (<i>NOD2</i>)	<i>NOD2</i> es un receptor intracelular que reconoce fragmentos bacterianos y desencadena respuestas inmunitarias. Las mutaciones en el gen <i>NOD2</i> se han asociado con la enfermedad de Crohn, una enfermedad inflamatoria intestinal crónica que se caracteriza por una mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas.
Genes del receptor tipo CLEC4M (<i>DC-SIGN</i>)	<i>DC-SIGN</i> interviene en la respuesta inmunitaria frente a infecciones virales y micobacterianas. Las variantes genéticas en el gen <i>CLEC4M</i> se asocian con la susceptibilidad a infecciones como el VIH y la tuberculosis.
Genes del sistema de restricción viral	Gen <i>APOBEC3G</i> , que inhibe la replicación de VIH, y los genes <i>TRIM5α</i> y <i>TRIM22</i> , puede restringir la replicación viral en diferentes tipos de infecciones. Genes relacionados con la producción de interferón, incluyen los genes <i>IFN-α</i> , <i>IFN-β</i> y <i>IFN-γ</i> para la activación de la respuesta antiviral y en la inhibición de la replicación viral.

<p>Gen <i>ACE2</i> y COVID-19</p>	<p>Gen <i>ACE2</i> codifica el receptor de la enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2), utilizado por el virus SARS-CoV-2 para ingresar a las células humanas. Variaciones genéticas en el gen <i>ACE2</i> influyen en la susceptibilidad y gravedad de la enfermedad COVID-19.</p>
<p>Genes <i>FUT2</i> y norovirus</p>	<p>Gen <i>FUT2</i> codifica una enzima involucrada en la expresión de antígenos del grupo sanguíneo en las células epiteliales del tracto gastrointestinal, y sus variantes genéticas se han asociado con la susceptibilidad a la infección por norovirus y gastroenteritis.</p>
<p>Gen <i>HBB</i> y malaria</p>	<p>Gen de la globina beta (<i>HBB</i>) relacionada con la susceptibilidad a la malaria. El alelo HbS en homocigosis o heterocigosis está asociado con la anemia falciforme que proporcionar protección contra la malaria.</p>
<p>Gen <i>CCR5</i> y virus del Nilo Occidental</p>	<p>Personas con la mutación delta32 en el gen <i>CCR5</i> tienen mayor resistencia a la infección por el virus del Nilo Occidental. De igual manera, la mutación <i>CCR5-Δ32</i> confiere una mayor resistencia a la infección por VIH.</p>
<p>Genes <i>CCR2</i> y tuberculosis</p>	<p>Variaciones genéticas en el gen <i>CCR2</i> se asocian con la susceptibilidad a la infección por tuberculosis y pueden influir en la respuesta inmunitaria frente a la bacteria.</p>
<p>Genes <i>IL28B</i> y hepatitis C</p>	<p>Variaciones genéticas en los genes <i>IL28B</i> (interleucina 28B) se asocian con la respuesta al tratamiento y la progresión de la enfermedad en personas infectadas con el virus de la hepatitis C.</p>
<p>Genes HLA y virus del papiloma humano (VPH)</p>	<p>El VPH causa preferencialmente infecciones genitales y cáncer cervical. Variaciones genéticas en los genes del complejo mayor de histocompatibilidad humano (HLA) se han asociado con la susceptibilidad y progresión de las infecciones por VPH.</p>
<p>Gen <i>NOD2</i> y enfermedad de Crohn</p>	<p>Mutaciones en el gen <i>NOD2</i> están asociadas con la enfermedad de Crohn y pueden influir en la respuesta inmunitaria a las infecciones bacterianas intestinales.</p>

Genes TLR y enfermedades respiratorias virales	Genes del receptor tipo Toll (TLR), como el <i>TLR3</i> y el <i>TLR7</i> , están involucrados en la susceptibilidad a virus respiratorios. Variaciones genéticas influyen en la susceptibilidad y gravedad de afecciones respiratorias virales, como la gripe y el virus sincitial respiratorio (VRS).
Genes <i>IFNL3</i> y hepatitis B	Variaciones genéticas en los genes <i>IFNL3</i> (interferón lambda 3) están asociadas a la respuesta al tratamiento y la progresión de la enfermedad en personas infectadas con el virus de la hepatitis B.
Genes <i>MBL2</i> e infecciones bacterianas	Variaciones genéticas en los genes <i>MBL2</i> afectan la función de las proteínas MBL y aumentan la susceptibilidad a infecciones bacterianas, como la neumonía y la sepsis.
Genes <i>NRAMP1</i> y susceptibilidad a la tuberculosis	Gen <i>NRAMP1</i> está involucrado en el transporte de hierro y manganeso en las células fagocíticas, y tiene papel en la respuesta inmunitaria contra la tuberculosis. Variaciones genéticas de <i>NRAMP1</i> se han asociado con mayor susceptibilidad.
Genes <i>TLR4</i> y enfermedades periodontales	Variaciones genéticas en el gen <i>TLR4</i> influyen en la respuesta inflamatoria frente a las bacterias periodontales y determinan mayor susceptibilidad a estas enfermedades.
Genes <i>HAVCR1</i> e infección por hepatitis A	Gen <i>HAVCR1</i> codifica el receptor de células de hepatitis A, necesario para que el virus ingrese a las células. Variaciones genéticas en <i>HAVCR1</i> involucran mayor o menor susceptibilidad a la infección y a la gravedad de la enfermedad.
Gen <i>CCL5</i> y VIH	Gen <i>CCL5</i> codifica la quimiocina RANTES, que es un ligando natural del receptor <i>CCR5</i> . Las variantes genéticas en el gen <i>CCL5</i> se han asociado con la progresión de la infección por VIH y la susceptibilidad a la enfermedad.
Gen <i>IL10</i> y malaria	Gen <i>IL10</i> codifica la interleucina 10, que es una citoquina con propiedades antiinflamatorias. Variaciones genéticas

	en <i>IL10</i> influyen en la respuesta inmunitaria frente a la infección intracelular.
Genes <i>DARC</i> y malaria por <i>Plasmodium vivax</i>	Gen <i>DARC</i> codifica el receptor de quimiocina de los eritrocitos, que es utilizado por el parásito <i>Plasmodium vivax</i> para ingresar a los glóbulos rojos. Variantes genéticas en <i>DARC</i> influyen en la susceptibilidad a la infección por <i>P. vivax</i> .
Gen <i>HLA-B57</i> y hepatitis C	El alelo <i>HLA-B57</i> se ha asociado con una mejor respuesta al tratamiento (linfocitos más potentes) y una menor carga viral en personas infectadas con el virus de la hepatitis C.
Gen <i>IL12B</i> y lepra	Variaciones genéticas en el gen <i>IL12B</i> , que codifica la subunidad p40 de la interleucina 12, influyen en la susceptibilidad y gravedad de la lepra.
Gen <i>TLR9</i> y enfermedades autoinmunes	Gen <i>TLR9</i> codifica un receptor de reconocimiento de patrones que detecta secuencias de ADN bacteriano y viral. Variaciones genéticas en <i>TLR9</i> se han asociado con un mayor riesgo de enfermedades autoinmunes.
Gen <i>CCL2</i> y enfermedad de Chagas	Gen <i>CCL2</i> codifica la quimiocina MCP1, implicada en la respuesta inflamatoria. Variaciones genéticas en <i>CCL2</i> influyen en la susceptibilidad a la enfermedad de Chagas.
Gen <i>MBL2</i> e infecciones respiratorias	Variantes genéticas en el gen <i>MBL2</i> se asocian con un mayor riesgo de infecciones respiratorias virales, como la gripe y el Virus Sincitial Respiratorio.

Tabla 2. Enfermedades relacionadas a las interacciones proteicas y genéticas anómalas, resultantes del análisis de interactoma de proteínas y genes de predisposición a infecciones.

Síndrome Hiper IgM Ligado al X (M)	Síndrome de Guillain-Barre (M y P)
Inmunodeficiencia con hiper IgM tipo 3 (M)	Herpes genital (P)
Resfriado común (P)	Leishmaniasis cutánea (P)
Eosinofilia pulmonar (P)	Visceral leishmaniasis (P)
Síndrome de distrés respiratorio del adulto (P)	Síndrome de hiperinmunoglobulina (M)
Síndrome de Stevens-Johnson (M)	Linfoma de células del manto (M y P)
Rosácea (P)	Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (P)
Influenza (P)	Conjuntivitis (P)
Glomerulonefritis membranosa (P)	Linfocitopenia (P)
Asma intrínseca (P)	Lepra (P)
Enfermedad de Behcet (M)	COVID-19 (P)
Asma alérgica (P)	Rinitis alérgica (M y P)
Miocarditis (P)	Encefalomielitis (P)
Enfermedad de Crohns (P)	Vasculitis (P)
Enfermedad infecciosa por parásitos y protozoarios (P)	Deficiencia de células B (M)
Glomerulonefritis (P)	Leucopenia (P)
Enfermedad por hipersensibilidad y reacción tipo IV (P)	Infecciones virales (P)
Neumonía (P)	Infecciones parasitarias (P)
Enfermedad por helmintos (P)	Asma (P)
Enfermedad bronquial (P)	Enfermedad de los leucocitos (M y P)
Infección bacteriana primaria (P)	Enfermedad hepática (M y P)
Enfermedad por agentes infecciosos (P)	Inmunodeficiencia primaria (M)
Enfermedad del tracto respiratorio alto (P)	Enfermedad pulmonar (P)
Infecciones bacterianas (P)	Dermatitis (P)
Enfermedades alérgicas (M y P)	Enfermedad renal (M y P)
Enfermedades del tracto respiratorio bajo (P)	Enfermedades de la piel (M y P)
Enfermedades del Sistema inmune (M y P)	Enfermedades vasculares (M y P)
Enfermedades del Sistema urinario (M y P)	Carcinoma (M y P)

Enfermedades intestinales (M y P)	Varias enfermedades Genéticas (M)
Enfermedades del Sistema conectivo (M)	Virus de Inmunodeficiencia Humana (M y P)
Enfermedades del Sistema Gastrointestinal (M y P)	

Cada enfermedad incluida tiene como base mutaciones monogénicas (M) o poligénicas (P) que incrementan o disminuyen la susceptibilidad a una infección en cada individuo y, sus variantes explican el desencadenamiento de una u otra afección, así como la gravedad y sintomatología que presenten. (Como ejemplo, el gen *CCR5* que protege de la infección por HIV en homocigosis, pero en heterocigosis no, lo que describe el efecto monogénico, pero otros genes también producen susceptibilidad o resistencia, lo que muestra el componente poligénico de la resistencia o susceptibilidad. Esto puede aplicarse a muchas de las enfermedades incluidas en la tabla y a otras).

Tabla 3. Grupos de genes de inmunidad asociados a susceptibilidad o resistencia a las infecciones.

Genes de inmunidad innata	Polimorfismos en genes como TLR, NOD y CARD afectan la capacidad de estas células y proteínas para reconocer y combatir patógenos.
Genes de la respuesta inmune adaptativa	Polimorfismos de genes como HLA, CD4 y CD8 influyen en la capacidad de estas células para reconocer y responder a patógenos.
Genes antivirales	Polimorfismos en genes como el receptor de interferón lambda y los genes de respuesta antiviral afectan la capacidad del sistema inmunológico para combatir los virus.
Genes de susceptibilidad bacteriana	Polimorfismos en genes como TLR, CD14 y NOD2 afectan la capacidad del sistema inmunológico para reconocer y combatir bacterias.
Genes de susceptibilidad a los hongos	Polimorfismos en genes como TLR y Dectin-1 afectan la capacidad del sistema inmunológico para reconocer y combatir hongos.
Genes de susceptibilidad a los parásitos	Polimorfismos en genes como HLA y CD36 pueden afectar la capacidad del sistema inmunológico para reconocer y combatir los parásitos como malaria, toxoplasma, filarias, Chagas.

Tabla 4. Enfermedades asociadas a los clústeres de la red de genes.

Término GO_KEEG	valor p ajustado
Hepatitis B	1.14E-30
Infección por virus Epstein-Barr	2.35E-29
Lípidos y aterosclerosis	5.92E-26
Sarampión	2.94E-24
Infección herpesvirus asociado a Sarcoma de Kaposi	9.60E-22
Gripe A	5.77E-21
Hepatitis C	9.77E-21
Shigelosis	1.48E-19
Toxoplasmosis	4.14E-19
Infección por citomegalovirus humano	9.70E-19
Infección por yersinia	1.20E-17
Carcinogénesis viral	1.96E-16
Tuberculosis	5.02E-16
Infección por virus de la leucemia de células T	6.80E-16
Leucemia mieloide crónica	2.21E-15
Infección por virus de la inmunodeficiencia	9.08E-15
Enfermedad po coronavirus - COVID-19	1.47E-14
Infección por Salmonella	1.73E-13
Infección por virus del papiloma humano	4.66E-12
Necroptosis	9.04E-12
Enfermedad de Chagas	9.31E-12
Enfermedad hepática alcohólica	3.38E-10
Cáncer de páncreas	5.44E-10
Leishmaniasis	8.10E-10
Esfuerzo coratante de fluídos y aterosclerosis	2.57E-09
Cáncer de próstata	2.85E-09
Cáncer de pulmón de células pequeñas	3.40E-09
Malaria	2,56E-01
Leucemia mieloide aguda	3,69E-01
Carcinoma de células renales	4.82E-05
Glioma	6,18E-01
Cáncer de pulmón de células no pequeñas	0.00013277

Tabla 5. Algunas enfermedades genéticas que tienen mayor predisposición a infecciones.

<p>Inmunodeficiencia primaria</p>	<p>Trastorno genético que afecta al sistema inmunológico, como inmunodeficiencia primaria que incluyen el síndrome de inmunodeficiencia combinada grave (SCID), la agammaglobulinemia ligada al cromosoma X y la deficiencia de inmunoglobulina A (IgA).</p>
<p>Síndrome de DiGeorge</p>	<p>Afecta el desarrollo del timo y las glándulas paratiroides, lo que puede provocar un sistema inmunológico debilitado y una mayor susceptibilidad a las infecciones.</p>
<p>Síndrome de Wiskott-Aldrich</p>	<p>Caracterizado por defectos en las células del sistema inmunológico que pueden causar una mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas, virales y fúngicas.</p>
<p>Fibrosis quística</p>	<p>Principalmente enfermedad de los pulmones y del sistema digestivo, pero también afecta el sistema inmunológico y puede aumentar el riesgo de infecciones respiratorias recurrentes.</p>
<p>Síndrome de Job</p>	<p>Enfermedad rara: dermatitis atópica grave, inmunodeficiencia y mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas y virales. El síndrome de Job (hiper IgE), también puede presentarse como una enfermedad esporádica con causa genética desconocida. Las personas con síndrome de Job tienen niveles elevados de IgE y pueden ser más susceptibles a las infecciones.</p>
<p>Neutropenia congénita</p>	<p>Grupo de trastornos hereditarios en los que se reduce la cantidad de neutrófilos, comprometiendo la respuesta inmune a las infecciones bacterianas.</p>
<p>Síndrome de Bruton</p>	<p>También conocido como agammaglobulinemia ligada al cromosoma X, afecta principalmente a los hombres y se caracteriza por una falta de producción de anticuerpos, lo que aumenta el riesgo de infecciones bacterianas recurrentes.</p>
<p>Síndrome de Chédiak-Higashi</p>	<p>Trastorno genético poco común que afecta múltiples sistemas del cuerpo, incluido el sistema inmunológico; lo que les determina mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas, virales y fúngicas y a trastornos hemorrágicos.</p>

Síndrome de Down	Posee un sistema inmunológico debilitado, lo que les hace más susceptibles a infecciones respiratorias, infecciones de oído y otras infecciones comunes.
Síndrome de hiperinmunoglobulina E (Síndrome de Job-Cooksey)	Trastorno genético poco común caracterizado por niveles elevados de inmunoglobulina E (IgE); lo que les hace susceptibles a infecciones bacterianas y fúngicas, especialmente de la piel y los pulmones.
Síndrome de Ataxia telangiectasia	Trastorno autosómico recesivo que afecta múltiples sistemas, incluido el sistema inmunológico debilitado, lo que aumenta el riesgo de infecciones respiratorias y enfermedades oportunistas.
Inmunodeficiencia combinada grave (SCID)	Enfermedad genética grave que debilita el sistema inmunológico y lo hace altamente susceptible a infecciones bacterianas, virales y fúngicas.
Inmunodeficiencia común variable (IDCV)	Trastorno genético que afecta la producción de anticuerpos y puede provocar una mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias y gastrointestinales.
Deficiencia del complemento	Provoca recurrencia de infecciones bacterianas como la enfermedad meningocócica.
Inmunodeficiencia primaria de anticuerpos aislados (IgA)	Deficiencia selectiva de inmunoglobulina A (IgA), lo que aumenta el riesgo de infecciones respiratorias y gastrointestinales.
Enfermedad granulomatosa crónica (CGD)	Enfermedad genética que afecta la función de los glóbulos blancos, especialmente los neutrófilos, lo que resulta en una mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas y fúngicas.

Tabla 6. Síntomas generales de sospecha de fallo genético en la predisposición y recurrencia de enfermedades infecciosas.

Infecciones recurrentes	Una característica importante de muchas enfermedades genéticas que afectan el sistema inmunológico es la presencia de infecciones recurrentes, como: Infecciones del tracto respiratorio (pulmones, senos nasales, oídos), infecciones del tracto urinario, infecciones de la piel y tejidos blandos y/o infecciones gastrointestinales.
Infecciones graves o persistentes	En algunos casos, las infecciones pueden ser más graves o persistentes de lo habitual y pueden requerir hospitalización o tratamiento a largo plazo con antibióticos u otros medicamentos.
Retraso en el crecimiento y desarrollo	Algunas condiciones genéticas pueden afectar el crecimiento y desarrollo normal de un niño y pueden manifestarse como retraso en el crecimiento, baja estatura, retraso en el desarrollo motor y retraso en el desarrollo cognitivo.
Síntomas respiratorios	Los síntomas respiratorios recurrentes o crónicos, como tos persistente, dificultad para respirar, sibilancias o infecciones pulmonares recurrentes, pueden indicar un trastorno genético que afecta el sistema inmunológico o respiratorio.
Problemas gastrointestinales	Algunas afecciones genéticas pueden afectar el sistema digestivo y causar síntomas como diarrea crónica, mala absorción de nutrientes, dolor abdominal e hinchazón. Problemas dermatológicos: Algunas enfermedades genéticas pueden manifestarse como problemas en la piel, como por ejemplo: Infecciones cutáneas recurrentes, abscesos, úlceras o erupciones cutáneas persistentes.
Fatiga crónica	La fatiga persistente o crónica es un síntoma común en personas con trastornos genéticos que afectan el sistema inmunológico. La debilidad y la fatiga extrema pueden dificultar las actividades diarias normales.

Inflamación recurrente	Algunas enfermedades genéticas pueden estar asociadas con inflamación recurrente en diferentes partes del cuerpo, como las articulaciones, la piel, los vasos sanguíneos y los órganos internos.
Problemas neurológicos	Algunos trastornos, como el síndrome de DiGeorge y el síndrome de Wiskott-Aldrich, pueden causar síntomas neurológicos como retrasos en el desarrollo, convulsiones, problemas de equilibrio y dificultad con la coordinación motora.
Trastornos alimentarios	Recién Nacidos y niños pequeños con trastornos genéticos que afectan el sistema inmunológico pueden tener dificultades para alimentarse, como problemas para lactar y tragar, negarse a comer y retraso del crecimiento debido a la mala absorción de nutrientes.
Problemas oculares	Algunas enfermedades genéticas pueden manifestarse como problemas oculares, como por ejemplo: Conjuntivitis recurrente, infecciones oculares frecuentes, cataratas o problemas de visión.
Susceptibilidad a enfermedades oportunistas	Las personas con trastornos genéticos que afectan el sistema inmunológico pueden tener una mayor susceptibilidad a infecciones causadas por microorganismos oportunistas, como ciertas bacterias, virus y hongos.

Conclusiones

Actualmente se conocen parcialmente las funciones e interacciones que cada variante genética común o rara tiene en la susceptibilidad a las enfermedades infecciosas a nivel individual y poblacional. La tecnología de secuenciación de nueva generación definitivamente apoyará en el entendimiento mayor de la interacción agente infeccioso y huésped. El disponer de genomas completos, el estudio de interactomas, proteoma y inmunoma, serán las piezas claves para descifrar el diseño genético de la resistencia y susceptibilidad a las enfermedades infecciosas. Lo que se conoce es que los genes implicados forman conjuntos funcionales controladores y coordinadores de mecanismos generales para todas las infecciones, pero también conjuntos específicos para enfermedades infecciosas específicas, muy seguramente activados por genes específicos activadores de cascadas defensivas.

El conocimiento sobre el comportamiento de genes en las infecciones, está contribuyendo a nuevas visiones y planteamientos terapéuticos, sea a través de fármacos diseñados, vacunas específicas producidas por ingeniería genética y terapia genética de reemplazo de genes mediante técnica CRIPR-Cas-9.

Author Contributions: César Paz-y-Miño y Ariane Paz-y-Miño Contribuyeron de manera similar en la preparación del artículo. Los dos autores redataron, leyeron y configuraron las tablas y figuras del presente trabajo.

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

References

1. Quintana-Murci, L. Human Immunology through the Lens of Evolutionary Genetics. *Cell*. 2019; 177(1):184-99. doi: 10.1016/j.cell.2019.02.033.
2. Khor, C.C., Hibberd, M.L. Host-pathogen interactions revealed by human genome-wide surveys. *Trends Genet*. 2012; 28(5):233-43. doi: 10.1016/j.tig.2012.02.001.
3. Vasseur, E., Quintana-Murci, L. The impact of natural selection on health and disease: uses of the population genetics approach in humans. *Evol Appl*. 2013; 6(4):596-607. doi: 10.1111/eva.12045.
4. Hill, A.V. Aspects of genetic susceptibility to human infectious diseases. *Annu Rev Genet*. 2006; 40:469-86. doi: 10.1146/annurev.genet.40.110405.090546.
5. Wolfe, N.D., Dunavan, C.P., Diamond, J. Origins of major human infectious diseases. *Nature*. 2007; 447(7142):279-83. doi: 10.1038/nature05775.
6. Chuong, E.B., Elde, N.C., Feschotte, C. Regulatory evolution of innate immunity through co-option of endogenous retroviruses. *Science*. 2016; 351(6277):1083-7. doi: 10.1126/science.aad5497.
7. Merker, M., Tueffers, L., Vallier, M., Groth, E.E., Sonnenkalb, L., Unterweger, D., Baines, J.F., Niemann, S., Schulenburg, H. Evolutionary Approaches to Combat Antibiotic Resistance:

- Opportunities and Challenges for Precision Medicine. *Front Immunol.* 2020; 27(11):1938. doi: 10.3389/fimmu.2020.01938.
8. Casanova, J.L., Abel, L. Human genetics of infectious diseases: a unified theory. *EMBO J.* 2007; 26(4):915-22. doi: 10.1038/sj.emboj.7601558.
 9. Paz-y-Miño, C. El Rompecabezas evolutivo de la salud: Del Big Bang a las enfermedades del siglo XXI. Editorial Universidad UTE. Quito: 2023. ISBN 978-9942-843-28-9.
 10. Crotty, S. A brief history of T cell help to B cells. *Nat Rev Immunol.* 2015; 15(3):185-9. doi: 10.1038/nri3803.
 11. Hawn, T.R., Misch, E.A., Dunstan, S.J., Thwaites, G.E., Lan, N.T., Quy, H.T., Chau, T.T., Rodrigues, S., Nachman, A., Janer, M., Hien, T.T., Farrar, J.J., Aderem, A. A common human TLR1 polymorphism regulates the innate immune response to lipopeptides. *Eur J Immunol.* 2007; 37(8):2280-9. doi: 10.1002/eji.200737034.
 12. Casanova, J.L. Human genetic basis of interindividual variability in the course of infection. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2015; 112(51):E7118-27. doi: 10.1073/pnas.1521644112.
 13. Casadevall, A., Pirofski, L.A. Host-pathogen interactions: basic concepts of microbial commensalism, colonization, infection, and disease. *Infect Immun.* 2000; 68(12):6511-8. doi: 10.1128/IAI.68.12.6511-6518.2000.
 14. Rasch, R.F.R. Ancient History and New Frontiers: Infectious Diseases. *Nurs Clin North Am.* 2019; 54(2):xv-xvi. doi: 10.1016/j.cnur.2019.03.001.
 15. Martins, Y.C., Ribeiro-Gomes, F.L., Daniel-Ribeiro, C.T. A short history of innate immunity. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2023; 118:e230023. doi: 10.1590/0074-02760230023.
 16. Kaufman, J. Evolution and immunity. *Immunology.* 2010; 130(4):459-62. doi: 10.1111/j.1365-2567.2010.03294.x.
 17. Rast, J., Litman, G. Evolution of innate and adaptive immune recognition structures. *Semin Immunol.* 2010; 22(1):1-2. doi: 10.1016/j.smim.2010.01.001.
 18. Ghaly, T.M., Gillings, M.R., Penesyan, A., Qi, Q., Rajabal, V., Tetu, S.G. The Natural History of Integrins. *Microorganisms.* 2021; 9(11):2212. doi: 10.3390/microorganisms9112212.
 19. Kingsley, C.B. Identification of causal sequence variants of disease in the next generation sequencing era. *Methods Mol Biol.* 2011; 700:37-46. doi: 10.1007/978-1-61737-954-3_3.
 20. Pfeiffer, S., Lesley-Harrington, L., Lombard, M. The people behind the samples: Biographical features of Past Hunter-Gatherers from KwaZulu-Natal who yielded aDNA. *Int J Paleopathol.* 2019; 24:158-64. doi: 10.1016/j.ijpp.2018.10.008.
 21. Bianchine, P.J. Russo, T.A. The role of epidemic infectious diseases in the discovery of America. *Allergy Proc.* 1992; 13(5):225-32. doi: 10.2500/108854192778817040.

22. Noymer, A. Population decline in post-conquest America: the role of disease. *Popul Dev Rev.* 2011; 37(1):178-83. doi: 10.1111/j.1728-4457.2011.00396.x.
23. Bos, K., Kühnert, D., Herbig, A., Esquivel-Gomez, L.R., Andrades-Valtueña, A., Barquera, R., Giffin, K., Kumar-Lankapalli, A., Nelson, E.A., Sabin, S., Spyrou, M.A., Krause, J. Paleomicrobiology: Diagnosis and Evolution of Ancient Pathogens. *Annu Rev Microbiol.* 2019; 8(73):639-666. doi: 10.1146/annurev-micro-090817-062436. Epub 2019 Jul 5. PMID: 31283430.
24. Kariuki, S.N., Williams, T.N. Human genetics and malaria resistance. *Hum Genet.* 2020; 139(6-7):801-811. doi: 10.1007/s00439-020-02142-6.
25. Hawn, T.R., Misch, E.A., Dunstan, S.J., Thwaites, G.E., Lan, N.T., Quy, H.T., Chau, T.T., Rodrigues, S., Nachman, A., Janer, M., Hien, T.T., Farrar, J.J., Aderem, A. A common human TLR1 polymorphism regulates the innate immune response to lipopeptides. *Eur J Immunol.* 2007; 37(8):2280-9. doi: 10.1002/eji.200737034.
26. Ejghal, R., Hida, M., Bennani, M.L., Meziane, M., Aurag, R., Lemrani, M. The TLR2 and TLR4 gene polymorphisms in Moroccan visceral leishmaniasis patients. *Acta Trop.* 2016; 158:77-82. doi: 10.1016/j.actatropica.2016.02.020.
27. Bovungana, Q., Arumugam, T., Ramsuran, V. The association of host genes with specific sexually transmitted infections. *Front Reprod Health.* 2023; 23(5):1124074. doi: 10.3389/frph.2023.1124074.
28. Rodrigues, P.T., Valdivia, H.O., de Oliveira, T.C., Alves, J.M.P., Duarte, A.M.R.C., Cerutti-Junior, C., Buery, J.C., Brito, C.F.A., de Souza, J.C.Jr., Hirano, Z.M.B., Bueno, M.G., Catão-Dias, J.L., Malafrente, R.S., Ladeia-Andrade, S., Mita, T., Santamaria, A.M., Calzada, J.E., Tantular, I.S., Kawamoto, F., Raijmakers, L.R.J., Mueller, I., Pacheco, M.A., Escalante, A.A., Felger, I., Ferreira, M.U. Human migration and the spread of malaria parasites to the New World. *Sci Rep.* 2018; 8(1):1993. doi: 10.1038/s41598-018-19554-0.
29. Cholo, M.C., van Rensburg, E.J., Osman, A.G., Anderson, R. Expression of the Genes Encoding the Trk and Kdp Potassium Transport Systems of Mycobacterium tuberculosis during Growth In Vitro. *Biomed Res Int.* 2015; 2015:608682. doi: 10.1155/2015/608682.
30. Samson, M., Libert, F., Doranz, B.J., Rucker, J., Liesnard, C., Farber, C.M., Saragosti, S., Lapoumeroulie, C., Cognaux, J., Forceille, C., Muyldermans, G., Verhofstede, C., Burtonboy, G., Georges, M., Imai, T., Rana, S., Yi, Y., Smyth, R.J., Collman, R.G., Doms, R.W., Vassart, G., Parmentier, M. Resistance to HIV-1 infection in caucasian individuals bearing mutant alleles of the CCR-5 chemokine receptor gene. *Nature.* 1996; 382(6593):722-5. doi: 10.1038/382722a0.
31. Paz-y-Miño, C., Morillo, S.A., Celi, A.P., Witte, T., Muñoz-Guijarro, M.J., Collantes, J.C., Leone, P.E. CCR5delta32, CCR2-64I, and SDF1-3'A polymorphisms related to resistance to HIV-

- 1 infection and disease in the Ecuadorian population. *Hum Biol.* 2005; 77(4):521-6. doi: 10.1353/hub.2005.0068
32. Amato, K.R., Jeyakumar, T., Poinar, H., Gros, P. Shifting Climates, Foods, and Diseases: The Human Microbiome through Evolution. *Bioessays.* 2019; 41(10):e1900034. doi: 10.1002/bies.201900034.
33. Rotival, M. Characterising the genetic basis of immune response variation to identify causal mechanisms underlying disease susceptibility. *HLA.* 2019; 94(3):275-84. doi: 10.1111/tan.13598.
34. Khor, C.C., Hibberd, M.L. Host-pathogen interactions revealed by human genome-wide surveys. *Trends Genet.* 2012; 28(5):233-43. doi: 10.1016/j.tig.2012.02.001.
35. Janeway, C.A.Jr., Medzhitov, R. Innate immune recognition. *Annu Rev Immunol.* 2002; 20:197-216. doi: 10.1146/annurev.immunol.20.083001.084359.
36. Nahon, P., Cobat, A. Human genetics of HCV infection phenotypes in the era of direct-acting antivirals. *Hum Genet.* 2020; 139(6-7):855-63. doi: 10.1007/s00439-020-02136-4.
37. Mozzi, A., Pontremoli, C., Sironi, M. Genetic susceptibility to infectious diseases: Current status and future perspectives from genome-wide approaches. *Infect Genet Evol.* 2018; 66:286-307. doi: 10.1016/j.meegid.2017.09.028.
38. STRING, Core Data Resource as designated by Global Biodata Coalition and ELIXIR. 2024, www.string-db.org.
39. UniProt Consortium. 2024, www.uniprot.org.
40. GeneCards, The Human Gene Database. 2024, www.genecards.org.
41. Paz-y-Miño, C., Zambrano, A.K., Leone, P.E. Interactome of predisposition and resistance to SARS-CoV-2. Proteins, genes, and functions | Interactoma de predisposición y resistencia a SARS-CoV-2. *Proteínas, genes y funciones. Bionatura.* 2021; 6(1):1555–62. doi: 10.21931/RB/2021.06.01.17.
42. Horwood, P.F, Tarantola, A., Goarant, C., Matsui, M., Klement, E., Umezaki, M., Navarro, S., Greenhill, A.R. Health Challenges of the Pacific Region: Insights From History, Geography, Social Determinants, Genetics, and the Microbiome. *Front Immunol.* 2019; 13(10):2184. doi: 10.3389/fimmu.2019.02184.
43. Khor, C.C., Hibberd, M.L. Host-pathogen interactions revealed by human genome-wide surveys. *Trends Genet.* 2012; 28(5):233-43. doi: 10.1016/j.tig.2012.02.001.
44. Walker, T.M., Kohl, T.A., Omar, S.V., Hedge, J., Del Ojo, E.C., Bradley, P., Iqbal, Z., Feuerriegel, S., Niehaus, K.E., Wilson, D.J., Clifton, D.A., Kapatai, G., Ip. C.L.C., Bowden, R., Drobniowski, F.A., Allix-Béguec, C., Gaudin, C., Parkhill, J., Diel, R., Supply, P., Crook, D.W.,

- Smith, E.G., Walker, A.S., Ismail, N., Niemann, S., Peto, T.E.A. Modernizing Medical Microbiology (MMM) Informatics Group. Whole-genome sequencing for prediction of Mycobacterium tuberculosis drug susceptibility and resistance: a retrospective cohort study. *Lancet Infect Dis.* 2015; 15(10):1193-202. doi: 10.1016/S1473-3099(15)00062-6.
45. Rolland, T., Taşan, M., Charlotiaux, B. Hao, T., Roth, F.P., Vidal, M. A proteome-scale map of the human interactome network. *Cell.* 2014; 159(5):1212-26. doi: 10.1016/j.cell.2013.12.022.
46. Luck, K., Kim, D.K., Lambourne, L., Spirohn, K., Begg, B.E., Bian, W., Brignall, R., Cafarelli, T., Campos-Laborie, F.J., Charlotiaux, B., Choi, D., Coté, AG., Daley, M., Deimling, S., Desbuleux, A., Dricot, A., Gebbia, M., Hardy, M.F., Kishore, N., Knapp, J.J., Kovács, I.A., Lemmens, I., Mee, M.W., Mellor, J.C., Pollis, C., Pons, C., Richardson, A.D., Schlabach, S., Teeking, B., Yadav, A., Babor, M., Balcha, D., Basha, O., Bowman-Colin, C., Chin, S.F., Choi, S.G., Colabella, C., Coppin, G., D'Amata, C., De Ridder, D., De Rouck, S., Duran-Frigola, M., Ennajaoui, H., Goebels, F., Goehring, L., Gopal, A., Haddad, G., Hatchi, E., Helmy, M., Jacob, Y., Kassa, Y., Landini, S., Li, R., van Lieshout, N., MacWilliams, A., Markey, D., Paulson, J.N., Rangarajan, S., Rasla, J., Rayhan, A., Rolland, T., San-Miguel, A., Shen, Y., Sheykhkarimli, D., Sheynkman, G.M., Simonovsky, E., Taşan, M., Tejada, A., Tropepe, V., Twizere, J.C., Wang, Y., Weatheritt, R.J., Weile, J., Xia, Y., Yang, X., Yeger-Lotem, E., Zhong, Q., Aloy, P., Bader, G.D., De Las Rivas, J., Gaudet, S., Hao, T., Rak, J., Tavernier, J., Hill, D.E., Vidal, M., Roth, F.P., Calderwood, M.A. A reference map of the human binary protein interactome. *Nature.* 2020; 580(7803):402-8. doi: 10.1038/s41586-020-2188-x.
47. Shuai, K., Liu, B. Regulation of JAK–STAT signalling in the immune system. *Nat Rev Immunol.* 2003; 3(11):900-11. doi: [10.1038/nri1226](https://doi.org/10.1038/nri1226).
48. Başka, P., Norbury, L.J. The role of nuclear factor kappa B (NF-κB) in the immune response against parasites. *Pathogens.* 2002; 11(3):310. doi: 10.3390/pathogens11030310.
49. Akira, S., Hoshino, K., Kaisho, T. The role of Toll-like receptors and MyD88 in innate immune responses. *J Endotoxin Res.* 2000; 6(5): 383-7. doi/pdf/10.1177/09680519000060050901.
50. Deguine, J., Barton, G.M. MyD88: a central player in innate immune signaling. *F1000Prime Rep.* 2014; 6:97. doi: 10.12703/P6-97.
51. Koh, G.C., Porras, P., Aranda, B., Hermjakob, H., Orchard, S.E. Analyzing protein–protein interaction networks. *J Proteome Res.* 2012;11(4):2014-31. doi: 10.1021/pr201211w.
52. Wu, J., Tan, Y., Deng, H., Zhu, D. Relationship between degree–rank function and degree distribution of protein–protein interaction networks. *Comput Biol Chem.* 2008; 32(1):1-4. doi: 10.1016/j.compbiolchem.2007.08.008.

53. Pleiman, C.M., D'Ambrosio, D., Cambier, J.C. The B-cell antigen receptor complex: structure and signal transduction. *Immunol Today*. 1994; 15(9):393-9. doi: 10.1016/0167-5699(94)90267-4.
54. Tanaka, S., Baba, Y. B cell receptor signaling. In: Wang J-Y. *B Cells in immunity and tolerance*. Springer: 2020:23-36. doi:10.1007/978-981-15-3532-1_2.
55. Bulló, M., García-Lorda, P., Megias, I., Salas-Salvadó, J. Systemic inflammation, adipose tissue tumor necrosis factor, and leptin expression. *Obes Res*. 2003; 11(4):525-31. doi: 10.1038/oby.2003.74.
56. Rickert, R.C. New insights into pre-BCR and BCR signalling with relevance to B cell malignancies. *Nat Rev Immunol*. 2013;13(8):578-91. doi: 10.1038/nri3487.
57. Villarino, A.V., Kanno, Y., O'Shea, J.J. Mechanisms and consequences of Jak-STAT signaling in the immune system. *Nat Immunol*. 2017;18(4):374-84. doi: 10.1038/ni.3691.
58. Nicolas, E., Golemis, E.A., Arora, S. POLD1: Central mediator of DNA replication and repair, and implication in cancer and other pathologies. *Gene*. 2016; 590(1):128-41. doi: 10.1016/j.gene.2016.06.031.
59. Nichols-Vinueza, D.X., Delmonte, O.M., Bundy, V., Bosticardo, M., Zimmermann, M.T., Dsouza, N.R., Pala, F., Dobbs, K., Stoddard, J., Niemela, JE, Kuehn H.S., Keller, M.D., Rueda, C.M., Abraham, R.S., Urrutia, R., Rosenzweig, S.D., Notarangelo, L.D. POLD1 deficiency reveals a role for POLD1 in DNA repair and T and B cell development. *J Clin Immunol*. 2021; 41(1):270-3. doi: 10.1007/s10875-020-00903-6.
60. Ramezani, A., Nahad, M.P., Faghihloo, E. The role of Nrf2 transcription factor in viral infection. *J Cell Biochem*. 2018; 119(8):6366-82. doi: 10.1002/jcb.26897.
61. Ma, Q. Role of nrf2 in oxidative stress and toxicity. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 2013; 53:401-26. doi: 10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.
62. Kany, S., Vollrath, J.T., Relja, B. Cytokines in inflammatory disease. *Int J Mol Sci*. 2019; 20(23):6008. doi: 10.3390/ijms20236008.
63. Masin, P.S., Visentin, H.A., Elpidio, L.N.S., Sell, A.M., Visentainer, L., Lima-Neto, Q.A., Zacarias, J.M.V., Couceiro, P., Higa-Shinzato, A., Santos-Rosa, M., Rodrigues-Santos, P., Visentainer, J.E.L. Genetic polymorphisms of toll-like receptors in leprosy patients from southern Brazil. *Front Genet*. 2022; 12(13):952219. doi: 10.3389/fgene.2022.952219.
64. de los Rios, M., Criscitiello, M.F., Smider, V.V. Structural and genetic diversity in antibody repertoires from diverse species. *Curr Opin Struct Biol*. 2015; 33:27-41. doi: 10.1016/j.sbi.2015.06.002.

65. Nielsen, S.C.A., Boyd, S.D. Human adaptive immune receptor repertoire analysis-Past, present, and future. *Immunol Rev.* 2018; 284(1):9-23. doi: 10.1111/imr.12667.
66. Rankin, J.A. Biological mediators of acute inflammation. *AACN Clin Issues*, 2004; 15(1):3-17. doi: 10.1097/00044067-200401000-00002.
67. Couper, K.N., Blount, D.G., Riley, E.M. IL-10: the master regulator of immunity to infection. *J Immunol.* 2008; 180(9):5771-7. doi: 10.4049/jimmunol.180.9.5771.
68. Junttila, I.S. Tuning the cytokine responses: an update on interleukin (IL)-4 and IL-13 receptor complexes. *Front Immunol.* 2018; 9:888. doi: 10.3389/fimmu.2018.00888.
69. Chaplin, D.D. Overview of the immune response. *J Allergy Clin Immunol.* 2020; 125(2):S3-23. doi: 10.1016/j.jaci.2009.12.980.
70. Kumar, H., Kawai, T., Akira, S. Toll-like receptors and innate immunity. *Biochem Biophys Res Commun.* 2009; 388(4):621-5. doi: 10.1016/j.bbrc.2009.08.062.
71. Kawai, T., Akira, S. The role of pattern-recognition receptors in innate immunity: update on Toll-like receptors. *Nat Immunol.* 2020; 11(5):373-84. doi: 10.1038/ni.1863.
72. Kawai, T., Akira, S. Toll-like receptors and their crosstalk with other innate receptors in infection and immunity. *Immunity.* 2011; 34(5):637-50. doi: 10.1016/j.immuni.2011.05.006.
73. O'Neill, L.A., Golenbock, D., Bowie, A.G. The history of Toll-like receptors-redefining innate immunity. *Nat Rev Immunol.* 2013; 13(6):453-60.
74. Vijay, K. Toll-like receptors in immunity and inflammatory diseases: Past, present, and future. *Int Immunopharmacol.* 2018; 59:391-412. doi: 10.1016/j.intimp.2018.03.002.
75. Michael, A., Bachman-William, D., Bar, L. *First Principles of Clinical Microbiology: Collection, Handling, and Diagnostics*, Editor(s): Thomas M. Schmidt, *Encyclopedia of Microbiology (Fourth Edition)*, Academic Press, 2019; 276-81. ISBN 9780128117378, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.66116-0>.
76. Carroll, K.C., Pfaller, M.A., Tenover, J.C., Landry, M.L., McAdam, A.J., Patel, R., Pritt, B.S. *Manual of Clinical Microbiology*. ASM Press-Wiley, 13th Edition. 2023. New Jersey. ISBN: 978-1683674290.
77. OMIM, An Online Catalog of Human Genes and Genetic Disorders. 2024. www.omim.org.
78. Pelak, K., Goldstein, D.B., Walley, N.M., Fellay, J., Ge, D., Shianna, K.V., Gumbs, C., Gao, X., Maia, J.M., Cronin, K.D., Hussain, S.K., Carrington, M., Michael, N.L., Weintrob, A.C. Infectious Disease Clinical Research Program HIV Working Group., National Institute of Allergy and Infectious Diseases Center for HIV/AIDS Vaccine Immunology (CHAVI). Host determinants of HIV-1 control in African Americans. *J Infect Dis.* 2010; 201(8):1141-9. doi: 10.1086/651382.

79. Carrington, M., Nelson, G.W., Martin, M.P., Kissner, T., Vlahov, D., Goedert, J.J., Kaslow, R., Buchbinder, S., Hoots, K., O'Brien, S.J. HLA and HIV-1: heterozygote advantage and B*35-Cw*04 disadvantage. *Science*. 1999; 283(5408):1748-52. doi: 10.1126/science.283.5408.1748.
80. Samson, M., Libert, F., Doranz, B.J., Rucker, J., Liesnard, C., Farber, C.M., Saragosti, S., Lapoumeroulie, C., Cognaux, J., Forceille, C., Muyldermans, G., Verhofstede, C., Burtonboy, G., Georges, M., Imai, T., Rana, S., Yi, Y., Smyth, R.J., Collman, R.G., Doms, R.W., Vassart, G., Parmentier, M. Resistance to HIV-1 infection in caucasian individuals bearing mutant alleles of the CCR-5 chemokine receptor gene. *Nature*. 1996; 382(6593):722-5. doi: 10.1038/382722a0.
81. McLaren, P.J., Coulonges, C., Bartha, I., Lenz, T.L., Deutsch, A.J., Bashirova, A., Buchbinder, S., Carrington, M.N., Cossarizza, A., Dalmau, J., De Luca, A., Goedert, J.J., Gurdasani, D., Haas, D.W., Herbeck, J.T., Johnson, E.O., Kirk, G.D., Lambotte, O., Luo, M., Mallal, S., van Manen, D., Martinez-Picado, J., Meyer, L., Miro, J.M., Mullins, J.I., Obel, N., Poli, G., Sandhu, M.S., Schuitemaker, H., Shea, P.R., Theodorou, I., Walker, B.D., Weintrob, A.C., Winkler, C.A., Wolinsky, S.M., Raychaudhuri, S., Goldstein, D.B., Telenti, A., de Bakker, P.I., Zagury, J.F., Fellay, J. Polymorphisms of large effect explain the majority of the host genetic contribution to variation of HIV-1 virus load. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015; 112(47):14658-63. doi: 10.1073/pnas.1514867112.
82. Chapman, S.J., Hill, A.V. Human genetic susceptibility to infectious disease. *Nat Rev Genet*. 2012; 13(3):175-88. doi: 10.1038/nrg3114.
83. Haque, R., Duggal, P., Ali, I.M., Hossain, M.B., Mondal, D., Sack, R.B., Farr, B.M., Beaty, T.H., Petri, W.A.Jr. Innate and acquired resistance to amebiasis in bangladeshi children. *J Infect Dis*. 2002; 186(4):547-52. doi: 10.1086/341566.
84. Guo, X., Roberts, M.R., Becker, S.M., Podd, B., Zhang, Y., Chua, S.C.Jr., Myers, M.G.Jr., Duggal, P., Houpt, E.R., Petri, W.A.Jr. Leptin signaling in intestinal epithelium mediates resistance to enteric infection by *Entamoeba histolytica*. *Mucosal Immunol*. 2011; 4(3):294-303. doi: 10.1038/mi.2010.76.
85. Robledo, D., Matika, O., Hamilton, A., Houston, R.D. Genome-Wide Association and Genomic Selection for Resistance to Amoebic Gill Disease in Atlantic Salmon. *G3 (Bethesda)*. 2018; 8(4):1195-203. doi: 10.1534/g3.118.200075.
86. Muñoz-Cabas, D., Cando-Caluña, W., Cando-Herrera, F., Cando-Herrera, J. Epidemiología de la Malaria en Ecuador de 2018–2022. *RECIAMUC*. 2023; 7(1):151-62. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(1\).enero.2023.151-62](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(1).enero.2023.151-62).

87. Hill AV, Allsopp CE, Kwiatkowski D, Anstey NM, Twumasi P, Rowe PA, Bennett S, Brewster D, McMichael AJ, Greenwood BM. Common west African HLA antigens are associated with protection from severe malaria. *Nature*. 1991; 352(6336):595-600. doi: 10.1038/352595a0.
88. Malaria Genomic Epidemiology Network. Insights into malaria susceptibility using genome-wide data on 17,000 individuals from Africa, Asia and Oceania. *Nat Commun*. 2019; 10(1):5732. doi: 10.1038/s41467-019-13480-z.
89. Ayi, K., Turrini, F., Piga, A., Arese, P. Enhanced phagocytosis of ring-parasitized mutant erythrocytes: a common mechanism that may explain protection against falciparum malaria in sickle trait and beta-thalassemia trait. *Blood*. 2004; 104(10):3364-71. doi: 10.1182/blood-2003-11-3820.
90. Auburn, S., Barry, A.E. Dissecting malaria biology and epidemiology using population genetics and genomics. *Int J Parasitol*. 2017; 47(2-3):77-85. doi: 10.1016/j.ijpara.2016.08.006.
91. Dumonteil, E., Herrera, C., Martini, L., Grijalva, M.J., Guevara, A.G., Costales, J.A., Aguilar, H.M., Brenière, S.F., Waleckx, E. Chagas Disease Has Not Been Controlled in Ecuador. *PLoS One*. 2016; 11(6):e0158145. doi: 10.1371/journal.pone.0158145.
92. Deng, X., Sabino, E.C., Cunha-Neto, E., Ribeiro, A.L., Ianni, B., Mady, C., Busch, M.P., Seielstad, M. REDSII Chagas Study Group from the NHLBI Retrovirus Epidemiology Donor Study-II Component International. Genome wide association study (GWAS) of Chagas cardiomyopathy in Trypanosoma cruzi seropositive subjects. *PLoS One*. 2013; 8(11):e79629. doi: 10.1371/journal.pone.0079629.
93. Vasconcelos, R.H., Montenegro, S.M., Azevedo, E.A., Gomes, Y.M., Morais, C.N. Genetic susceptibility to chronic Chagas disease: an overview of single nucleotide polymorphisms of cytokine genes. *Cytokine*. 2012; 59(2):203-8. doi: 10.1016/j.cyto.2012.04.035.
94. Frade, A.F., Pissetti, C.W., Ianni, B.M., Saba, B., Lin-Wang, H.T., Nogueira, L.G., de Melo-Borges, A., Buck, P., Dias, F., Baron, M., Ferreira, L.R., Schmidt, A., Marin-Neto, J.A., Hirata, M., Sampaio, M., Fragata, A., Pereira, A.C., Donadi, E., Kalil, J., Rodrigues, V., Cunha-Neto, E., Chevillard, C. Genetic susceptibility to Chagas disease cardiomyopathy: involvement of several genes of the innate immunity and chemokine-dependent migration pathways. *BMC Infect Dis*. 2013; 12(13):587. doi: 10.1186/1471-2334-13-587.
95. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Boletín anual de Tuberculosis. 2018. [www.https://www.salud.gob.ec/gacetitas-tuberculosis/](https://www.salud.gob.ec/gacetitas-tuberculosis/)
96. Thye, T., Vannberg, F.O., Wong, S.H., Owusu-Dabo, E., Osei, I., Gyapong, J., Sirugo, G., Sisay-Joof, F., Enimil, A., Chinbuah, M.A., Floyd, S., Warndorff, D.K., Sichali, L., Malema, S., Crampin, A.C., Ngwira, B., Teo, Y.Y., Small, K., Rockett, K., Kwiatkowski, D., Fine, P.E., Hill,

- P.C., Newport, M., Lienhardt, C., Adegbola, R.A., Corrah, T., Ziegler, A. African TB Genetics Consortium; Wellcome Trust Case Control Consortium; Morris AP, Meyer CG, Horstmann RD, Hill AVS. Genome-wide association analyses identifies a susceptibility locus for tuberculosis on chromosome 18q11.2. *Nat Genet.* 2010; 42(9):739-41. doi: 10.1038/ng.639.
97. Davila, S., Hibberd, ML., Hari-Dass, R., Wong, H.E., Sahiratmadja, E., Bonnard, C., Alisjahbana, B., Szeszko, J.S., Balabanova, Y., Drobniowski, F., van Crevel, R., van de Vosse, E., Nejentsev, S., Ottenhoff, T.H., Seielstad, M. Genetic association and expression studies indicate a role of toll-like receptor 8 in pulmonary tuberculosis. *PLoS Genet.* 2008; 4(10):e1000218. doi: 10.1371/journal.pgen.1000218.
98. Curtis, J., Luo, Y., Zenner, H.L., Cuchet-Lourenço, D., Wu, C., Lo, K., Maes, M., Alisaac, A., Stebbings, E., Liu, J.Z., Kopanitsa, L., Ignatyeva, O., Balabanova, Y., Nikolayevskyy, V., Baessmann, I., Thye, T., Meyer, C.G., Nürnberg, P., Horstmann, R.D., Drobniowski, F., Plagnol, V., Barrett, J.C., Nejentsev, S. Susceptibility to tuberculosis is associated with variants in the *ASAP1* gene encoding a regulator of dendritic cell migration. *Nat Genet.* 2015; 47(5):523-7. doi: 10.1038/ng.3248.
99. McNicholl, J. M., Downer, M. V., Udhayakumar, V., Alper, C. A., & Swerdlow, D. L. Host-pathogen interactions in emerging and re-emerging infectious diseases: a genomic perspective of tuberculosis, malaria, human immunodeficiency virus infection, hepatitis B, and cholera. *Annu Rev Public Health.* 2000; 21(1):15-46.
100. Aravindan, P.P. Host genetics and tuberculosis: Theory of genetic polymorphism and tuberculosis. *Lung India.* 2019, 36(3):244-52. doi: 10.4103/lungindia.lungindia_146_15.
101. Gupta, K., Kaur, G., Pathak, T., Banerjee, I. Systematic review and meta-analysis of human genetic variants contributing to COVID-19 susceptibility and severity. *Gene.* 2022; 30(844):146790. doi: 10.1016/j.gene.2022.146790.
102. Debnath, M., Banerjee, M., Berk, M. Genetic gateways to COVID-19 infection: Implications for risk, severity, and outcomes. *FASEB J.* 2020; 34(7):8787-95. doi: 10.1096/fj.202001115R.
103. Saengsiwaritt, W., Jittikoon, J., Chaikledkaew, U., Udomsinprasert, W. Genetic polymorphisms of *ACE1*, *ACE2*, and *TMPRSS2* associated with COVID-19 severity: A systematic review with meta-analysis. *Rev Med Virol.* 2022; 32(4):e2323. doi: 10.1002/rmv.2323.
104. Pecoraro, V., Cuccorese, M., Trenti, T. Genetic polymorphisms of *ACE1*, *ACE2*, *IFTM3*, *TMPRSS2* and *TNF α* genes associated with susceptibility and severity of SARS-CoV-2 infection: a systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Med.* 2023; 23(7):3251-64. doi: 10.1007/s10238-023-01038-9.

105. Paz-y-Miño, C. COVID19 MÁS QUE UNA PANDEMIA: Genes y Genomas. Editorial Universitaria UTE. Quito: 2020. ISBN: 978-9978-389-96-6.

106. Paz-y-Miño, C. COVID-19 DE MITOS A VACUNAS, DESDE LA ALFA A LA ÓMICRON. Editorial Universitaria UTE. Quito: 2023. ISBN: 978-9942-843-21-0.

/ **Received:** 15 June 2024 / **Accepted:** 28 August 2024 / **Published:** 14 September 2024 /

Citation: Paz-y-Miño, C., Paz-y-Miño, A. Aspectos genéticos y genómicos de la susceptibilidad y resistencia a las infecciones. *Bionatura*. **2024**; Volume (9). No 3.

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/>)



El Laboratorio de Secuenciación de Ácidos Nucleicos del INABIO cuenta con cerca de **3.500** tejidos criopreservados y **1.300** secuencias de ácidos nucleicos de diferentes especies de plantas y vertebrados. Se han secuenciado genomas completos de cuatro bacterias, permitiendo el desarrollo científico en la descripción de nuevas especies, y la aplicación de herramientas moleculares en proyectos de investigación aplicada y monitoreo de la biodiversidad.

El conocimiento de nuestra biodiversidad, y el desarrollo de la ciencia y tecnología son la base para el fomento de la bioeconomía en el Ecuador.

EL NUEVO ECUADOR RESUELVE
Instituto Nacional de Biodiversidad

EL NUEVO ECUADOR

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación



 **Biodiversity**
Bioingeniería a la medida

Contacto

<https://www.facebook.com/BiodiversityEC>
info.biodiversity@gmail.com
Cel.: +593 99 758 9267. Ibarra-Ecuador.

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 arábica 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/mbelvincouver.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



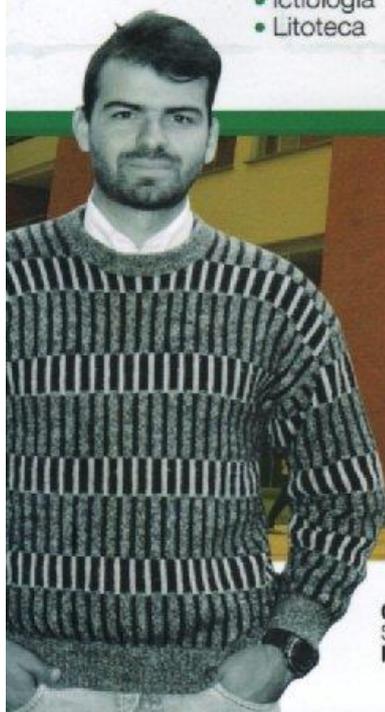
Fortalezas institucionales

- > 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

