



CEDAMAZ

Julio - Diciembre 2024

Volumen 14

Número 2

Páginas 110 - 157

e-ISSN: 1390-5902



unl

Universidad
Nacional
de Loja



Julio - Diciembre 2024

Volumen 14

Número 2

Páginas 110 - 157

e-ISSN: 1390-5902



unl

Universidad
Nacional
de Loja



AUTORIDADES

Nikolay Aguirre, Ph.D.
Rector

Elvia Zhapa, Ph.D.
Vicerrectora

COMITÉ EDITORIAL

Paúl Eguiguren, Ph.D.
Director General
paul.eguiguren@unl.edu.ec

Zhofre Aguirre, Ph.D.
Editor Ejecutivo
zhofre.aguirre@unl.edu.ec

Tatiana Ojeda Luna, Ph.D.
Editora Ejecutiva
tatiana.oluna@unl.edu.ec

Marina Mazón Morales, Ph.D.
Editora en Ciencias Forestales, Biodiversidad y Medio Ambiente
marina.mazon@unl.edu.ec

Rodrigo Abad Guamán, Ph.D.
Editor en Ciencias Agropecuarias
rodrigo.abad@unl.edu.ec

Amable Bermeo, M.Sc.
Editor en Ciencias de la Salud y Biotecnología
bermeoa@unl.edu.ec

Oscar Cumbicus Pineda, M.Sc.
Editor en Ciencias Exactas e Ingenierías
oscar.cumbicus@unl.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

Nikolay Aguirre, Ph.D.
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

Juan Maita, M.Sc.
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

Natalia Samaniego, M.Sc.
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

Aura Paucar-Cabrera, Ph.D.
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

Helena España, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional (Ecuador)

James Aronson, Ph.D.
Centro de Ecología Evolutiva (Francia)

Pablo Lozano, Ph.D.
Universidad Estatal Amazónica (Ecuador)

Selene Báez, Ph.D.
CONDESAN (Ecuador)

Ximena Palomeque, Ph.D.
Universidad de Cuenca (Ecuador)

Dennis Denis, Ph.D.
Universidad de La Habana (Cuba)

John Lattke, Ph.D.
Universidade Federal do Paraná (Brasil)

Jerónimo Torres, Ph.D.
Universidad de Córdoba (España)

Dan Cogalniceanu, Ph.D.
Universidad de Bucarest (Rumanía)

Pablo Cuenca, Ph.D.
IKIAM (Ecuador)

Gretel Geada López, Ph.D.
Universidad del Pinar del Río (Cuba)

Luis Ordoñez, M.Sc.
Corporación ECOPAR (Ecuador)

Marlon Cobos, M.Sc.
Universidad de Kansas (Estados Unidos)

Bolier Tores, Ph.D.
Universidad Estatal Amazónica (Ecuador)

Fernando Gordillo, M.Sc.
Instituto Thünen (Alemania)

Max Gonzáles, M.Sc.
Sociedad Ecuatoriana de Salud Pública (Ecuador)

Diego Moya, M.Sc.
Grantham Institute SSCP-DTP (Reino Unido)

Mario Heredia, Ph.D.
Humboldt Universität zu Berlin (Alemania)

Aitor Soroa Echave, Ph.D.
Universidad del País Vasco (España)

Itziar González-Dios, Ph.D.
Universidad del País Vasco (España)

Lisset A. Neyra-Romero, M. Sc.
Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador)

La Revista Científica **CEDAMAZ**, es una revista multidisciplinaria, con revisión por pares (peer-review process) y de acceso abierto (open access license), dirigida a profesores, estudiantes, profesionistas e investigadores. Tiene como objetivo fomentar la comunicación científica y la colaboración entre personas y organizaciones involucradas en investigación y el desarrollo a nivel local, regional e internacional. La revista fomenta la transferencia del conocimiento científico de manera gratuita tanto para las y los autores, como para las y los lectores, a través de la divulgación de resultados de trabajos científicos originales, en un amplio rango de disciplinas que incluyen las siguientes áreas de investigación:

- Ciencias forestales, biodiversidad y medio ambiente.
- Ciencias veterinarias y agropecuarias.
- Ciencias de la salud y biotecnología.
- Ciencias exactas e ingenierías.

CEDAMAZ presenta información actualizada y pertinente a nivel regional e internacional destacando temáticas en experiencias forestales, biodiversidad, medio ambiente, veterinarias, agropecuarias, salud humana, biotecnología, ciencias exactas e ingenierías.

Los trabajos o revisiones de literatura presentadas a **CEDAMAZ** no deben haberse publicado previamente en libros de memorias de un congreso o revistas

científicas arbitradas. Las presentaciones previas en un evento científico pueden publicarse en la revista **CEDAMAZ**, pero también estarán sujetos a un proceso de revisión por pares.

CEDAMAZ se publica en español o en inglés, desde el año 2019 dos veces al año, en un solo volumen. Las opiniones expresadas en documentos publicados en **CEDAMAZ** representan la opinión de los autores y no reflejan necesariamente la política oficial de **CEDAMAZ** o de sus Editores.

Publicada por

Universidad Nacional de Loja

Oficina Editorial

Universidad Nacional de Loja. Av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa, La Argelia, 110150 Loja - Ecuador. <https://unl.edu.ec>

Diseño de logotipo

Lcda. Sara Jaramillo Carrión

Edición

M.Sc. Oscar M. Cumbicus-Pineda


Ph.D. Paúl Eguiguren

CEDAMAZ

E-ISSN: 1390-5902

PBX: (593) 07 - 2545100

<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz>

Esta obra esta sujeta a la licencia internacional CC BY-NC-ND 4.0 

ÍNDICE

ARTÍCULOS

CIENCIAS FORESTALES, BIODIVERSIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Establecimiento de protocolos de cultivo y mantenimiento de *Acanthamoeba castellanii* 110
Daniela Román-Cáceres, Ana Claudia Samaniego-Villacís,
Adamary Vásquez y Jorge Armijos-Rivera

Capacidad adaptativa al cambio climático de los hogares rurales del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador 117
Cecilia Fajardo, Tatiana Ojeda Luna, Paul Eguiguren y Nikolay Aguirre

Pérdida de biomasa por actividades de mantenimiento en plantaciones forestales, en la Provincia de Napo 127
Tarcisio Paspuel

CIENCIAS VETERINARIAS Y AGROPECUARIAS

Efecto de diferentes condiciones de deshidratación en la calidad organoléptica de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) 132
Jenniffer Patiño-Armijos y Wilson Chalco-Sandoval

Ciclo biológico de *Diaspis echinocacti* (Bouché,1833) (Hemiptera: Diaspididae) en Tuna *Opuntia ficus - indica* bajo condiciones de laboratorio 138
Guillermo Rogel, Marlon Pineda-Escobar, Byron Cisneros y Esperanza Gia Ajila

CIENCIAS DE LA SALUD Y BIOTECNOLOGÍA

Satisfacción estudiantil posutilización del simulador dental para prácticas de anestesia 144
Zulema Castillo-Guarnizo, Celena Azuero-Guerrero, Jhoanna Riofrío-Herrera,
Darlen Díaz Pérez y Tannya Valarezo-Bravo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

Fabricación de placas de PEAD reciclado como una alternativa sostenible en el desarrollo de productos 150
Gerardo Hernández Neria y Cesar Adolfo Muñoz Herrera

INDEX

ARTICLES

FOREST, BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Establishment of culture and maintenance protocols for
Acanthamoeba castellanii

Daniela Román-Cáceres, Ana Claudia Samaniego-Villacís,
Adamary Vásquez, and Jorge Armijos-Rivera

110

Adaptive capacity to climate change of rural households in the
Zamora canton, Zamora Chinchipe province, Ecuador
Cecilia Fajardo, Tatiana Ojeda Luna, Paul Eguiguren, and Nikolay Aguirre

117

Biomass loss due to maintenance activities in forest
plantations in Napo Province
Tarcisio Paspuel

127

VETERINARY AND AGRICULTURAL SCIENCES

Effect of different dehydration conditions on the organoleptic
quality of jicama (*Smallanthus sonchifolius*)

Jennifer Patiño-Armijos and Wilson Chalco-Sandoval

132

Life cycle of *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae)
in prickly pear cactus *Opuntia ficus-indica* (L) Miller. under laboratory conditions
Guillermo Rogel, Marlon Pineda-Escobar, Bayron Cisneros and Esperanza Gia Ajila

138

HEALTH SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

Student satisfaction after using the dental simulator for
anesthesia practices

Zulema Castillo-Guarnizo, Celena Azuero-Guerrero, Johanna Riofrío-Herrera,
Darlen Díaz Pérez and Tannya Valarezo-Bravo

144

EXACT SCIENCES AND ENGINEERING

Manufacturing of recycled HDPE plates as a sustainable alternative
in product development

Gerardo Hernández Neria and Cesar Adolfo Muñoz Herrera

150

Establecimiento de protocolos de cultivo y mantenimiento de *Acanthamoeba castellanii*

Establishment of culture and maintenance protocols for Acanthamoeba castellanii

Daniela Román-Cáceres^{1,*}, Ana Claudia Samaniego-Villacís¹, Adamary Vásquez¹ y Jorge Armijos-Rivera¹

¹ Grupo de Investigación de Genética y Biología Molecular, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: daniela.roman@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 04/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 20/12/2024

Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—El género *Acanthamoeba* abarca diversas especies de amebas de vida libre, se aíslan con frecuencia de distintas fuentes ambientales como el agua, el suelo y el aire. Varias especies son conocidas por causar infecciones y enfermedades en humanos y animales. Además, amebas como *Acanthamoeba castellanii* se reconoce como un relevante reservorio de virus, brindándoles protección contra condiciones ambientales adversas, en particular de virus del tipo nucleocitoplasmáticos de gran tamaño, también llamados virus gigantes, los cuales pueden ser aislados mediante la inoculación directa de cultivos de *Acanthamoeba castellanii* con muestras de agua de cuerpos lacustres. Este estudio se centró en establecer protocolos de cultivo en laboratorio para *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010, con el objetivo de comprender mejor la respuesta de estas amebas al entorno y sus interacciones con depredadores de protozoos. Desarrollamos y aplicamos un enfoque para evaluar la viabilidad de este género en un medio líquido de proteasa-peptona-glucosa y un medio sólido no nutritivo, utilizando *Escherichia coli* ATCC 25922 como sustrato. La incubación a temperaturas específicas y un mantenimiento regular permitieron establecer cultivos axénicos de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010. Mediante la observación bajo un microscopio invertido (10x y 40x), se verificó el crecimiento de *Acanthamoeba*, confirmando el estado de trofozoitos de las células y la presencia de la vacuola amebal en ambos tipos de cultivo.

Palabras clave—*Acanthamoeba castellanii*, *Escherichia coli*, cultivos axénicos, medio PYG.

Abstract—The genus *Acanthamoeba* encompasses various species of free-living amoebas, often isolated from different environmental sources such as water, soil, and air. Several species are known to cause infections and diseases in both humans and animals. Additionally, amoebas like *Acanthamoeba castellanii* are recognized as significant reservoirs of viruses, providing protection against adverse environmental conditions, especially nucleocytoplasmic large DNA viruses, also known as giant viruses. These viruses can be isolated by directly inoculating *Acanthamoeba castellanii* cultures with water samples from lacustrine bodies. This study focused on establishing laboratory cultivation protocols for *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010, aiming to better understand the response of these amoebas to the environment and their interactions with protozoan predators. We developed and implemented an approach to assess the viability of this genus in a liquid medium of protease-peptone-glucose and a non-nutritive solid medium, using *Escherichia coli* ATCC 25922 as a substrate. Incubation at specific temperatures and regular maintenance allowed for the establishment of axenic cultures of *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010. Through observation under an inverted microscope (10x and 40x), the growth of *Acanthamoeba* was verified, confirming the trophozoite state of the cells and the presence of the amoebal vacuole in both types of culture.

Keywords—*Acanthamoeba castellanii*, *Escherichia coli*, axenic cultures, PYG medium.

INTRODUCCIÓN

El género *Acanthamoeba* se descubrió en 1931 (Weisman, 1976), describiéndose como amebas caracterizadas por su morfología de trofozoitos y quistes, lo que llevó a grandes confusiones durante mucho tiempo en la literatura sobre su nomenclatura y estado taxonómico (Weisman, 1976). Posteriormente, en 1975 se posicionó al género *Acanthamoeba* en el esquema taxonómico de la Sociedad de Protozoólogos (Visvesvara, 1991) y desde entonces se cono-

ce que estas amebas de vida libre están adaptadas para vivir en una variedad de entornos naturales y entornos creados por actividades humanas (Caumo *et al.*, 2014). Estas *Acanthamoeba* se aíslan con frecuencia de distintas fuentes ambientales, como el agua, el suelo, el polvo y el aire, y son capaces de resistir condiciones extremas como tiempo prolongado de desecación, temperatura alta/baja, ambientes alcalinos o ácidos y exposición elevada a radiación (Landell *et al.*, 2013). Es así como este género ha ido ganando atención de la comu-

nidad científica a lo largo de los años, debido a sus roles versátiles en el ecosistema. Adicionalmente, se han identificado unas 24 especies dentro del género, de las cuales, varias se consideran como importantes patógenos humanos: *Acanthamoeba castellanii*, *A. polyphaga*, *A. astronyxis*, *A. hatchetti*, *A. culbertsoni*, *A. healyi* y *A. byersi* (Landell *et al.*, 2013).

Por otra parte, *Acanthamoeba spp.* son considerados un importante reservorio de bacterias, virus y hongos, ya que estos microorganismos se protegen de las condiciones ambientales desfavorables dentro del sistema celular de *Acanthamoeba spp.* (Siddiqui y Khan, 2012).

Posteriormente, los microorganismos regresan al medio ambiente con implicaciones de interacciones parásito-parásito, que pueden contribuir a la evolución y transmisión exitosa de microorganismos en el medio ambiente. Sin embargo, la naturaleza exacta de la simbiosis y el beneficio que representan para las amebas anfitrionas aún no están claros (Greub y Raoult, 2004).

Según Siddiqui y Khan (2012), el género *Acanthamoeba* desempeña dos funciones ecológicas principales en el suelo: el reciclaje de nutrientes y la formación de la estructura de la comunidad microbiana. En general, *Acanthamoeba* puede desarrollar una función importante en la regulación de las poblaciones, contribuyendo al comportamiento de los ecosistemas (Greub y Raoult, 2004).

El ciclo de vida de *Acanthamoeba spp.* se divide en dos etapas: el trofozoito y el quiste. Los tamaños de los trofozoitos y quiste varían entre las diferentes especies de *Acanthamoeba* (Siddiqui y Khan, 2012). Tanto el trofozoito como el quiste se caracterizan por un solo núcleo que tiene un gran nucléolo denso y central. Cuando el trofozoito se divide rápidamente por mitosis, la membrana nuclear y el nucléolo desaparecen. El trofozoito, cuando se encuentra en condiciones desfavorables, se enquistá y dichos quistes pueden tener una morfología variada pudiendo ser poliédricos o convexos con paredes dobles; cuando el quiste es externo se conoce como ectoquiste y endoquiste cuando es interno (Świdorski, 2009)

El género *Acanthamoeba* se alimenta de microorganismos presentes en superficies, en diversos ambientes (Khan, 2006) e incluso en la interfase aire-agua conocida como zona pelágica (Siddiqui y Khan, 2012). Las estructuras espinosas o acanthopodia que surgen de la superficie de los trofozoitos de *Acanthamoeba* pueden usarse para capturar partículas de alimentos, que generalmente son bacterias (Świdorski, 2009), pero también se alimentan de algas, levaduras (Khan, 2006) y otros protistas. La absorción de nutrientes, solutos etc. en *Acanthamoeba* se produce por fagocitosis y pinocitosis. Estas amebas pueden tomar solutos de diferentes pesos moleculares, incluyendo albúmina (Mw 65 000), inulina (Mw 5000), glucosa (Mw 180) y leucina (Mw 131) ((de Souza Gonçalves *et al.*, 2018). Posteriormente a la absorción de partículas, *Acanthamoeba* exhibe la capacidad de distinguir vacuolas que contienen partículas digeribles e indigeribles. Por ejemplo, Bowers y Olszewski (1983) demostraron que el destino de las vacuolas dentro de *Acanthamoeba* depende de la naturaleza de las partículas. Adicionalmente, estudios sobre la absorción de partículas en *Acanthamoeba* sugieren que es un proceso complejo que puede desempeñar un papel importante tanto en la supervivencia como en la patogenicidad de estos organismos (de Souza Gonçalves *et al.*, 2018).

Los trofozoitos de *Acanthamoeba spp.* se han utilizado ampliamente como sistemas modelo para estudiar la biología de las células eucariotas, debido a su tamaño relativamente grande, rápido crecimiento en cultivo y motilidad activa (Caumo *et al.*, 2014). El citoesqueleto bien desarrollado de estos organismos los convierte en modelos especialmente buenos para comprender la motilidad basada en el citoesqueleto de actina y otros aspectos moleculares de motilidad celular (Siddiqui y Khan, 2012).

Por otra parte, estudios de proteómica para *Acanthamoeba spp.* en etapa de trofozoito han determinado la variedad de proteínas expresadas por especies de este género, lo que ha ayudado a dilucidar los mecanismos moleculares de interacción con las especies huésped y a identificar posibles biomarcadores para el diagnóstico y dianas para el desarrollo de nuevos fármacos y vacunas (Khan, 2006).

Como se mencionó anteriormente, el género *Acanthamoeba* en ambientes naturales suele alimentarse de bacterias, levaduras, pequeños protozoos, entre otros, por lo que cualquiera de ellos puede ser usado como sustrato de crecimiento en condiciones de laboratorio. Siddiqui y Khan (2012) mencionan que existen algunos problemas cuando se usan levaduras y pequeños protozoos como sustrato de crecimiento debido a la complejidad de la preparación del medio. Sin embargo, las sustancias orgánicas como la glucosa, la peptona u otros sustratos proporcionan nutrientes ricos para organismos no deseados, es decir, levaduras, hongos, otros protozoos y bacterias. Para superar estos problemas técnicos y maximizar la probabilidad de aislar únicamente *Acanthamoeba* de muestras ambientales y clínicas, se han desarrollado protocolos utilizando ensayos de placas petri con bacterias Gram negativas como sustrato para obtener un gran número de trofozoitos de *Acanthamoeba* para estudios bioquímicos. Las bacterias Gram negativas más utilizadas son *Escherichia coli* o *Klebsiella aerogenes* que se siembran en la placa de agar sin nutrientes como fuente de alimento para *Acanthamoeba*. El agar sin nutrientes contiene nutrientes mínimos y, por lo tanto, inhibe el crecimiento de organismos no deseados (Khan *et al.*, 2002).

Acanthamoeba se puede cultivar 'axénicamente' en ausencia de organismos alimentarios vivos externos. Esto generalmente se conoce como cultivo axénico para indicar que no hay otros organismos vivos presentes. Sin embargo, se considera que es posible que los cultivos de *Acanthamoeba* nunca sean verdaderamente axénicos, ya que pueden contener bacterias vivas que sobreviven internamente como endosimbiontes (Siddiqui y Khan, 2012). En este sentido, en condiciones de laboratorio, el crecimiento axénico se logra utilizando medio líquido PYG (Khan, 2001).

A pesar de su distribución extensa en la naturaleza y su relevancia ecológica, en Ecuador, las investigaciones sobre este género de amebas son limitadas, lo que resulta en una falta de métodos estandarizados para su cultivo. La carencia de estudios específicos ha llevado a la ausencia de protocolos establecidos y a una brecha de conocimiento significativa. Este vacío en la investigación plantea preguntas fundamentales sobre los métodos de cultivo y sus limitaciones, ya que no se han delineado claramente. Establecer protocolos y comprender las posibles restricciones en caso de su existencia se convierte, por tanto, en una necesidad imperante para abordar este vacío y avanzar en el interés científico en torno a

estos protozoos en Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

■ **Obtención de cepas *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010.**

La cepa Neff, ATCC 30010, fue donada por la Dra. Karin Silva Caumo del grupo de Investigación de Protozoarios Emergentes y Oportunistas y el Laboratorio Didáctico de Parasitología Clínica de la Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil; fueron enviadas en viales de 1,5 ml a temperatura ambiente.

■ **Medios de cultivo para *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010**

Los medios de cultivo son un requisito indispensable que se emplea para propagar las células de microorganismos, de este dependerá el crecimiento y rapidez de reproducción de las mismas. Las cepas de *Acanthamoeba castellanii* no son la excepción, y se ha encontrado en la literatura algunos de los medios empleados para su cultivo, los más relevantes son el medio líquido de proteasa-peptona-glucosa (PYG) para los cultivos axénicos, es decir, los cultivos de la cepa amebal, y el medio agar no-nutritivo como medio sólido que se vierte en placas petri para cultivos monoxénicos, es decir, cultivo de la cepa amebal en presencia de otras células, ya sean bacterianas o virales. Para estos medios se necesitó una serie de reactivos tales como sulfato de magnesio, cloruro de calcio, citrato de sodio, sulfato amónico ferroso, fosfato dihidrógeno de potasio, glucosa, extracto de levadura y peptona (Machado et al., 2022). En el mercado existen fórmulas preparadas de estos medios, en especial del PYG, pero, pese a ello, en su mayoría son para el cultivo de bacterias y cabe recalcar que las cantidades de los reactivos difieren notablemente para la siembra de amebas, por lo que en esta investigación se buscaron las medidas adecuadas para obtener un crecimiento óptimo de la cepa ATCC 30010. Además, para la elaboración del medio de cultivo sólido, se necesitó una preparación adicional conocida como solución salina amebal. Esta etapa también implicó una evaluación detallada para determinar las cantidades apropiadas, así como la incorporación de gentamicina para prevenir el crecimiento de otros microorganismos no deseados. La base para establecer las proporciones adecuadas se derivó de un análisis cuidadoso y consideración de los requisitos específicos del medio, asegurando así la eficacia y selectividad del cultivo.

■ **Cultivo de *Escherichia coli* ATCC 25922 para ser usado como sustrato de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010**

Acanthamoeba puede interactuar con una serie de microorganismos, no solo virus, sino también levaduras, algas e inclusive bacterias. Sin embargo, el mecanismo de acción de la ameba frente a las bacterias es la depredación. Estudios indican que al poner en contacto a *A. castellanii* ATCC 30010 en un medio con *E. coli* ATCC 25922 existirá una invasión por parte de la cepa amebal (Yousuf et al., 2013). Así mismo se indica que para el

aislamiento de *Acanthamoeba* es necesario enriquecer el medio en el que se la cultive con cepas de bacterias de *E. coli*, pues estas servirán como sustrato de la ameba (Attariani et al., 2020)).

En este sentido, se realizaron cultivos de *E. coli* ATCC 25922, se sembró 1 l de inóculo microbiano en medio agar nutritivo mediante siembra por agotamiento en estrías, se incubó a 30 °C por 24 horas siguiendo la metodología de Anjum et al. (2021).

■ **Inactivación de *Escherichia Coli* ATCC 25922 para ser usado como sustrato de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010**

Para que *E. coli* ATCC 25922 sirva como sustrato de *A. castellanii* ATCC 30010 debió ser inactivada, para evitar que el crecimiento de la bacteria inhibiera la reproducción de la ameba. Se emplearon tubos Falcon de 15 ml donde se colocó 5 ml de agua de peptona. Luego con ayuda de un asa de siembra se tomó una colonia de la placa de agar nutritivo con cultivo de la bacteria, seguido a esto se colocó el asa en posición vertical y se dejó caer la colonia tomada en el tubo con peptona. Se dejó incubar a 30 °C por 24 horas. Una vez que se comprobó el crecimiento de *E. coli* se tomó 1 ml del cultivo líquido y se colocó en viales de 1,5 ml, los mismos se llevaron a baño María a 56 °C por 2 horas Lee y Kaletunç (2010).

■ **Cultivo axénico de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010**

Con una pipeta de 100 l, se vertió sobre la placa con agar no-nutritivo 75 l de inóculo de amebas ATCC 30010 y 75 l de *E. coli* ATCC 25922 inactivas. Las cajas fueron selladas y etiquetadas con la fecha en la que se realizó, se dejó incubar por 4 días a 30 °C, transcurrido este tiempo se observó el crecimiento amebal con ayuda de un microscopio invertido.

■ **Almacenamiento de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010**

Se sembraron amebas ATCC 30010 en un frasco de cultivo celular (T-75) en medio PYG y se incubaron a 27 °C hasta que se formara una monocapa en el fondo del frasco. A partir de estos cultivos, se obtuvieron muestras para el almacenamiento, separando las amebas por medio del método de congelación. Para ejecutar este último, se debió reemplazar el medio por 2 ml de PYG fresco, luego el frasco de medio celular se llevó a congelar a -20 °C por 10 min, posteriormente se tomó 1 ml del contenido y se colocó en tubos tapa rosca y se almacenaron en el refrigerador a 8 °C (Machado et al., 2022).

RESULTADOS

*Protocolo de cultivo axénicos de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010*

*Protocolo de cultivo e inactivación de *E. coli* ATCC 25922*

1. Preparar medio de cultivo (se puede preparar Agar nutritivo).

2. Con ayuda de la probeta tomar 1000 ml de agua destilada.
 3. Colocar el agua destilada en un matraz de 1000 ml junto con el medio que se pesó y disolver todo en el agua.
 4. Colocar el matraz en la plancha caliente y también dejar agitar durante 15 min para homogeneizar el medio del cultivo.
 5. Llevar a la autoclave a 120 °C durante 20 min.
 6. Una vez que sale de la autoclave colocar en cajas petri en un ambiente estéril.
 7. Para la inactivación de *E. coli* se emplean tubos Falcon de 15 ml donde se debe colocar 5 ml de agua de peptona.
 8. Con ayuda de un asa de siembra tomar una colonia de la placa con cultivo de *E. coli* en medio sólido (agar nutritivo).
 9. Colocar el asa en posición vertical y dejar caer la colonia de *E. coli* en los tubos con peptona. Tener cuidado, el asa no deberá tocar las paredes del tubo.
 10. En caso de que la colonia no se desprenda con facilidad se puede dar movimientos de agitación dentro del tubo hasta que caiga.
 11. Dejar los tubos en la incubadora a una temperatura de 30 °C por aproximadamente 24 horas (los mismos deben estar sellados con parafilm).
 12. Comprobar el crecimiento de *E. coli* en el medio líquido.
 13. Tomar el contenido de los tubos y colocar a aproximadamente 1 ml en viales de 1,5 ml, los mismos deben estar sellados con parafilm.
 14. Llevar a baño María los viales a una temperatura de 56 °C por dos horas.
 15. Culminado el proceso *E. coli* estará inactiva.
4. Añadir los reactivos restantes al matraz de 500 ml en el orden que se ha mencionado previamente y disolver en aproximadamente 300 ml de agua destilada.
 5. Verter la preparación de cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en el frasco que contiene los reactivos disueltos restantes.
 6. Luego se coloca en una plancha caliente el matraz con la solución para facilitar la homogeneización.
 7. Llevar la solución al autoclave a 121 °C durante 20 min.
 8. Colocar 5 ml de contenido de amebas (en medio PYG) en tubos de 15 ml.
 9. Llevar los tubos a la centrífuga a 15 rpm por 5 min.
 10. Se obtiene un sobrenadante el cual se desecha.
 11. El pallet de amebas se deja en los mismos tubos y se les agrega 5 ml de PYG fresco.
 12. Los tubos se llevan a incubar a 30 °C. Los mismos deben estar correctamente sellados con parafilm.

Protocolo de cultivo axénico de A. castellanii ATCC 30010 utilizando E. coli ATCC 25922 como sustrato

Protocolo de cultivo axénico en medio líquido de A. castellanii ATCC 30010

1. Preparar medio PYG, para lo que se emplean una gama de reactivos en las siguientes cantidades: peptona (3,75 g), extracto de levadura (0,37 g), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (0,49 g), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (0,0295 g), citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (0,5 g), sulfato de hierro (II) y amonio [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] (0,01 g), fosfato dihidrógeno de potasio (KH_2PO_4) (0,017 g), fosfato de hidrógeno disódico anhidro (Na_2HPO_4) (0,1775 g), glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) (7,5 g) y agua destilada (500 ml).
2. Pesar los reactivos en un recipiente en la balanza analítica y en cuanto al agua destilada se debe ajustar en una probeta graduada.
3. Tomar un matraz de 200 ml, agregar la cantidad pesada de cloruro de calcio y disolver en 100 ml de agua destilada.
4. Añadir los reactivos restantes a un matraz de 500 ml en el orden que se ha mencionado previamente y disolver en aproximadamente 300 ml de agua destilada. Finalizado esto se mezcla con la solución de cloruro de calcio.
5. Para que se disuelva de manera más uniforme, llevar a una plancha caliente la solución.
6. Esterilizar en autoclave a 121 °C por 15 min. Para la preparación del agar sin nutrientes se emplean una serie de reactivos en las siguientes cantidades: agar-agar (6 g), solución salina amebal estéril de Page (40 ml) y agua destilada (400 ml).
7. Pesar los reactivos en una balanza analítica y en cuanto al agua destilada y la solución salina se debe ajustar en una probeta graduada.
8. Añadir la cantidad pesada de Agar-Agar a la botella de 500 ml y disolver en aproximadamente 300 ml de agua destilada.

9. Esterilizar en autoclave a 121°C por 15 min, una vez que salga se dispensará el medio en cajas petri y se sellan con parafilm.
10. Ahora, en cuanto al cultivo monoxénico se emplea el cultivo de amebas (centrifugadas) en medio PYG, *E.coli* previamente inactivas y agar no nutritivo.
11. Con una pipeta de 100 l se esparce el contenido de los cultivos en cajas petri con agar no nutritivo. La caja debe contener 75 l de *A. castellanii* y 75 l de *E.coli*.
12. Se deja en la incubadora a 30° C por 4-5 días aproximadamente donde se podrá observar el crecimiento de las amebas.

Protocolo de mantenimiento de Acanthamoeba castellanii ATCC 30010

1. Sembrar la cepa amebal en un frasco de cultivo celular (T-75) en medio PYG e incubar a 27 °C hasta que se forme una capa en el fondo del frasco.
2. A partir de estos cultivos se obtendrán muestras para almacenamiento separando las amebas por medio del método de congelación suave.
3. En el método de congelación el medio se reemplaza por 2 ml de medio PYG fresco. El frasco de cultivo celular se lleva a congelar a -20 °C por 10 min (esto permitirá que las amebas se despeguen).
4. Seguido a ello se toman muestras de 1 ml y se ponen en tubos con tapa rosca.
5. Estas muestras se almacenan en el refrigerador a 4 - 8 °C.

Conteo de células de Acanthamoeba inoculadas en medio PYG

Las células amebales formaron una monocapa de tono transparente en la parte inferior de los frascos de cultivo celular (T-75). Se han observado en un microscopio invertido en lente 10x comprobando que existe una confluencia del 90 - 100 %, además en el lente 40x se determinó que las células estaban en su etapa de trofozoito lo cual indica la viabilidad y buen estado de las mismas, también se observó la presencia de núcleos prominentes y vacuolas contráctiles. El conteo de células mostró que en promedio existen aproximadamente $2,8 \times 10^6$ células por mililitro (figura 1).

DISCUSIÓN

La reproducibilidad de resultados de investigación está ligada a la protocolización de los métodos y técnicas utilizadas, aún más cuando se trata de métodos de cultivo y mantenimiento de microorganismos. A pesar de que varias condiciones de nutrientes, temperaturas y rangos de pH, entre otras, pueden permitir la subsistencia de un organismo, las variables del medio en que proliferan y se mantienen pueden acabar siendo factores que interfieran con los resultados de los experimentos que se lleven a cabo con dicho organismo o que conduzcan a diferentes resultados (Raymond Choo *et*

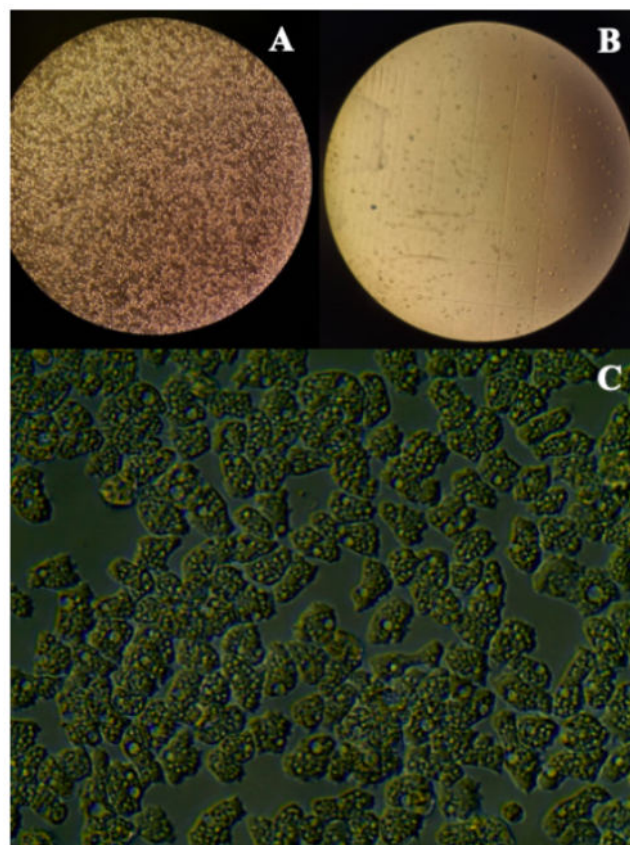


Fig. 1: A: *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010 vista en microscopio invertido en lente 10x; se observa una confluencia del 100 % de las células amebales. B: *A. castellanii* ATCC 30010 en las rejillas de la cámara de Neubauer. C: *A. castellanii* ATCC 30010 vista en microscopio invertido en lente 40x.

al., 2006). Es por esta razón, que la estandarización de protocolos de cultivo y mantenimiento de *Acanthamoeba* emerge como una necesidad.

Las amebas del género *Acanthamoeba* son un excelente modelo de organismo hospedador que puede ser utilizado en el laboratorio para el estudio de patógenos a los que alberga y protege: bacterias, hongos y principalmente virus cuyo cultivo es complejo y dependiente de células que les permitan completar su ciclo de vida (Khan, 2006).

La propagación de las amebas del género *Acanthamoeba* en medio axénico es necesaria para el mantenimiento de cultivos puros en el laboratorio y como se muestra en los resultados, el medio PYG resulta ser el más adecuado (Byers, 1979). A pesar de la existencia de este medio preparado en formulación comercial, el requerimiento de cantidades significativas hace que la preparación de este sea más atractiva desde el punto de vista costo-beneficio. Los reactivos son comunes a una gran cantidad de medios de cultivo microbiológico y, por esta razón, son de fácil acceso y disponibilidad en laboratorios de microbiología. Asimismo, el cultivo en medio líquido permite verificar parámetros físicos, como la turbidez, de manera sencilla para determinar posibles contaminaciones además del monitoreo del crecimiento de las amebas (Penland y Wilhelmus, 1997).

Para el cultivo de las amebas en medio PYG, los tubos cónicos de 50 ml resultan especialmente útiles pues permiten la propagación amplia de los microorganismos. No obstante, es importante que se considere la disponibilidad de una cen-

trífuga adecuada para dichos tubos que será necesaria para el lavado y recolección de las amebas previa su refrigeración o trasvaso a cultivos monoxénicos. En caso de ser necesario se recomienda utilizar tubos cónicos de 15 ml, el pasaje de las amebas deberá ser más frecuente puesto que existe menos disponibilidad de superficie de adherencia.

Debido a que las amebas son organismos eucariotas que naturalmente se alimentan de bacterias, el cultivo monoxénico, es decir el cultivo en que se utiliza un medio poco nutritivo y el sustrato consiste en una capa de bacterias, es altamente efectivo para el crecimiento y reproducción de estas (Penland y Wilhelmus, 1997). Para el diseño del medio de cultivo, fue importante tener en cuenta que existiera la mínima cantidad de nutrientes. El razonamiento de esta preparación es que las bacterias *E. coli* no deben ser capaces de alimentarse y reproducirse, pues la velocidad de crecimiento de las bacterias es mucho mayor que la velocidad de reproducción de las amebas. De ser el medio en exceso nutritivo, las bacterias competirían por recursos con las amebas y existiría un sobrecrecimiento que resultaría perjudicial para el adecuado mantenimiento de las amebas (Byers, 1979). La formulación del medio que se propone en este trabajo asegura la supervivencia de bacterias y amebas, pero favorece la proliferación de las amebas. Aquí también es relevante que se tenga en cuenta que, por la composición de agar en el medio, las cajas deben mantenerse como máximo 4 - 5 días en la incubadora y que un nivel de condensación que resulte en gotas de agua sobre la superficie se considera normal.

En este mismo tema, la inactivación de las bacterias es un paso crítico, justamente por la velocidad de proliferación de estas (Goldblith y Wang, 1967). Este paso es indispensable para asegurar que las amebas puedan utilizar a las bacterias como alimento. Durante la inactivación se puede utilizar medio PYG, solución salina para amebas o idealmente agua de peptona y se recomienda sellar el tubo con Parafilm para evitar contaminaciones. El tiempo para la inactivación ideal es de dos horas a una temperatura baja (56 grados centígrados), de esta manera, las bacterias no están muertas en su totalidad, sino que están en un estado inactivo que les dificultará la proliferación en la placa y serán presa fácil de las amebas (Goldblith y Wang, 1967).

CONCLUSIONES

Estos protocolos permiten la viabilidad de células de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010 cultivado en condiciones de laboratorio. Usando cantidades adecuadas tanto de inóculo como de reactivos para realizar los medios de cultivo se logró la propagación de la cepa ATCC 30010.

En los protocolos se establecen los pasos necesarios para la obtención de cultivo de *Acanthamoeba castellanii* ATCC 30010 en medio líquido PYG así como en medio sólido utilizando agar no-nutritivo y *Escherichia coli* ATCC 25922 como su fuente de sustrato, indicando las condiciones ambientales óptimas para su replicación en laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Dra. Karin Caumo de la Universidad de Santa Catarina, Brasil, por su generosa donación de cepas de *Acanthamoeba cas-*

tellanii. Su invaluable contribución enriqueció significativamente nuestros esfuerzos de investigación y desempeñó un papel crucial en el éxito de nuestros estudios.

Además, extendemos nuestro más sincero agradecimiento a la Ingeniera Fernanda Jaramillo por su dedicada participación en la parte práctica de los cultivos.

Estas personas han realizado contribuciones significativas a nuestro proyecto, y estamos verdaderamente agradecidos por su apoyo y colaboración.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: DRC y JAR; metodología: DRC, ASV, AVT Análisis formal: DAC; investigación: DRC, ASV, AVT recursos: DRC y JAR; redacción — preparación del borrador original: DAC, AVT; redacción — revisión y edición: DRC; visualización: DRC y JAR; supervisión: JAR; administración de proyecto: DRC y JAR; adquisición de financiamiento para la investigación: DRC y JAR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

Este estudio se llevó a cabo con financiamiento propio y de la Universidad Nacional de Loja, con el proyecto 18-DI-FARNR-2021 titulado “Identificación física y molecular de un nuevo virus nucleocitoplasmático de ADN de gran tamaño (NCDLVs), presente en cuerpos lacustres de la provincia de Loja, por medio de la infección de cultivo de *Acanthamoeba castellanii*” otorgado por la Dirección de Investigación a Daniela Román-Cáceres y al grupo de investigación de Genética y Biología Molecular de la UNL.

REFERENCIAS

- Anjum, M. F., Schmitt, H., Börjesson, S., Berendonk, T. U., Donner, E., Stehling, E. G., ... Pedersen, K. (2021). The potential of using *e. coli* as an indicator for the surveillance of antimicrobial resistance (amr) in the environment. *Current Opinion in Microbiology*, 64. doi: 10.1016/j.mib.2021.09.011
- Attariani, H., Turki, H., Shoja, S., Salahi-Moghaddam, A., Ghanbarnejad, A., y Shamseddin, J. (2020). Investigating the frequency of free-living amoeba in water resources with emphasis on acanthamoeba in bandar abbas city, hormozgan province, iran in 2019-2020. *BMC Research Notes*, 13(1). doi: 10.1186/s13104-020-05267-z
- Bowers, B., y Olszewski, T. E. (1983). *Acanthamoeba* discriminates internally between digestible and indigestible particles. *The Journal of Cell Biology*, 97(2). doi: 10.1083/jcb.97.2.317
- Byers, T. J. (1979). Growth, reproduction, and differentiation in acanthamoeba. *International Review of Cytology*, 61. doi: 10.1016/S0074-7696(08)62000-8
- Caumo, K. S., Monteiro, K. M., Ott, T. R., Maschio, V. J., Wagner, G., Ferreira, H. B., y Rott, M. B. (2014). Proteomic profiling of the infective trophozoite stage of acanthamoeba polyphaga. *Acta Tropica*, 140. doi: 10.1016/j.actatropica.2014.08.009
- de Souza Gonçalves, D., da Silva Ferreira, M., Liedke, S. C., Gomes, K. X., de Oliveira, G. A., Leão, P. E. L., ... Guimaraes, A. J. (2018). Extracellular vesicles and vesicle-free secretome of the protozoa acanthamoeba castellanii under homeostasis and nutritional stress and

- their damaging potential to host cells. *Virulence*, 9(1). doi: 10.1080/21505594.2018.1451184
- Goldblith, S. A., y Wang, D. I. C. (1967). Effect of microwaves on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Applied Microbiology*, 15(6). doi: 10.1128/aem.15.6.1371-1375.1967
- Greub, G., y Raoult, D. (2004). Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clinical Microbiology Reviews*, 17(2). doi: 10.1128/CMR.17.2.413-433.2004
- Khan, N. A. (2001). Pathogenicity, morphology, and differentiation of *Acanthamoeba*. *Current Microbiology*, 43(6). doi: 10.1007/s002840010325
- Khan, N. A. (2006). *Acanthamoeba*: Biology and increasing importance in human health. *FEMS Microbiology Reviews*, 30(4). doi: 10.1111/j.1574-6976.2006.00023.x
- Khan, N. A., Jarroll, E. L., y Paget, T. A. (2002). Molecular and physiological differentiation between pathogenic and nonpathogenic *Acanthamoeba*. *Current Microbiology*, 45(3). doi: 10.1007/s00284-001-0108-3
- Landell, M. F., Salton, J., Caumo, K., Broetto, L., y Rott, M. B. (2013). Isolation and genotyping of free-living environmental isolates of *Acanthamoeba* spp. from bromeliads in southern Brazil. *Experimental Parasitology*, 134(3). doi: 10.1016/j.exppara.2013.03.028
- Lee, J., y Kaletunç, G. (2010). Inactivation of *Salmonella enteritidis* strains by combination of high hydrostatic pressure and nisin. *International Journal of Food Microbiology*, 140(1). doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.010
- Machado, T. B., de Aquino, I. L. M., y Abrahão, J. S. (2022). Isolation of giant viruses of *Acanthamoeba castellanii*. *Current Protocols*, 2(5). doi: 10.1002/cpz1.455
- Penland, R. L., y Wilhelmus, K. R. (1997). Comparison of axenic and monoxenic media for isolation of *Acanthamoeba*. *Journal of Clinical Microbiology*, 35(4). doi: 10.1128/jcm.35.4.915-922.1997
- Raymond Choo, K. K., Boyd, C., y Hitchcock, Y. (2006). The importance of proofs of security for key establishment protocols. formal analysis of Jan-Chen, Yang-Shen-Shieh, Kim-Huh-Hwang-Lee, Lin-Sun-Hwang, and Yeh-Sun protocols. *Computer Communications*, 29(15). doi: 10.1016/j.comcom.2005.10.030
- Siddiqui, R., y Khan, N. A. (2012). Biology and pathogenesis of *Acanthamoeba*. *Parasites and Vectors*, 5(1). doi: 10.1186/1756-3305-5-6
- Visvesvara, G. S. (1991). Classification of *Acanthamoeba*. *Reviews of Infectious Diseases*, 13. doi: 10.1093/clind/13.Supplement_5.S369
- Weisman, R. A. (1976). Differentiation in *Acanthamoeba castellanii*. *Annual Review of Microbiology*, 30. doi: 10.1146/annurev.mi.30.100176.001201
- Yousuf, F. A., Siddiqui, R., y Khan, N. A. (2013). *Acanthamoeba castellanii* of the t4 genotype is a potential environmental host for *Enterobacter aerogenes* and *Aeromonas hydrophila*. *Parasites and Vectors*, 6(1). doi: 10.1186/1756-3305-6-169
- Świdorski, Z. (2009). *Acanthamoeba*. biology and pathogenesis. *Acta Parasitologica*, 54(3). doi: 10.2478/s11686-009-0036-0

Capacidad adaptativa al cambio climático de los hogares rurales del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador

Adaptive capacity to climate change of rural households in the Zamora canton, Zamora Chinchipe province, Ecuador

Cecilia Fajardo¹, Tatiana Ojeda Luna^{2,3,4,*}, Paul Eguiguren^{2,3,5} y Nikolay Aguirre²

¹ *Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, cecilia.fajardo@unl.edu.ec*

² *Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad (CITIAB), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador Loja, Ecuador, tatiana.oluna@unl.edu.ec, pauleguiguren@unl.edu.ec*

³ *Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador*

⁴ *Maestría en Restauración de Paisajes Tropicales, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador*

⁵ *Grupo de biodiversidad, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador*

* *Autor para correspondencia: tatiana.oluna@unl.edu.ec*

Fecha de recepción del manuscrito: 11/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 25/12/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—El cambio climático es un fenómeno global que está afectando a todos los rincones del mundo, pero sus impactos recaen de manera desproporcionada en los más pobres y vulnerables del planeta. Los hogares rurales son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su dependencia de los recursos naturales, la falta de información y recursos para enfrentar estos desafíos. Sin embargo, a nivel global aún persiste una falta de conocimiento sobre la capacidad de adaptación de estos hogares para hacer frente a los impactos del cambio climático, lo que dificulta la toma de decisiones adecuadas para mitigar los impactos. En este contexto, la pregunta central que orienta esta investigación es: ¿cuál es la capacidad adaptativa de los hogares rurales del cantón Zamora? Con el fin de abordar esta brecha de conocimiento, se llevó a cabo una investigación en las parroquias Timbara y Guadalupe del cantón Zamora Chinchipe que consistió en evaluar la capacidad adaptativa en función de un índice que consideró tres dimensiones: socioeconómica, institucional y socioecológica. Como resultado de dicha investigación los hogares de las comunidades rurales de Timbara y Guadalupe muestran un nivel medio y bajo de capacidad adaptativa. Los hogares que obtuvieron la puntuación más alta en el índice de capacidad adaptativa se caracterizan por tener un nivel educativo más elevado, acceso a crédito, una mayor diversificación de ingresos económicos, mayores ingresos y una menor proporción de personas menores de 15 años y mayores de 65 años. Estos resultados evidencian que es crucial implementar programas de educación y políticas inclusivas para fortalecer la capacidad adaptativa en comunidades rurales.

Palabras clave—capacidad adaptativa, cambio climático, adaptación basada en comunidades

Abstract—Climate change is a global phenomenon affecting every corner of the world, yet its impacts disproportionately burden the poorest and most vulnerable populations. Rural households are particularly susceptible to climate change due to their dependence on natural resources and their lack of information and resources to face these challenges. However, at a global level, there is still a significant lack of knowledge about the adaptive capacity of these households to cope with the impacts of climate change, making it difficult to make informed decisions to mitigate these effects. In this context, the central question guiding this research is: What is the adaptive capacity of rural households in the canton of Zamora? To address this knowledge gap, a study was conducted in the parishes of Timbara and Guadalupe in the canton of Zamora Chinchipe. The research evaluated adaptive capacity using an index that considered three dimensions: socioeconomic, institutional, and socioecological. The results of this study revealed that households in the rural communities of Timbara and Guadalupe exhibit medium and low levels of adaptive capacity. Households that scored highest on the adaptive capacity index were characterized by higher educational levels, access to credit, greater income diversification, higher income levels, and a lower proportion of individuals under 15 and over 65 years of age. These findings highlight the critical need to implement educational programs and inclusive policies to strengthen adaptive capacity in rural communities.

Keywords—adaptive capacity, climate change, community-based adaptation

INTRODUCCIÓN

Estudios científicos evidencian que el cambio climático es reconocido como un problema socioambiental

de importancia mundial (IPCC, 2022; Jori, 2009) que está afectando de manera significativa a todo el clima del mundo (Rosatto *et al.*, 2016). El clima está y seguirá cambiando a un ritmo considerable, por ejemplo, el aumento de las tem-

peraturas globales llegará a 1,5 °C en torno al 2040 (IPCC, 2019). Así mismo, se prevé que el aumento del nivel medio global del mar sea de 0,26 a 0,7 m para el 2100 si el calentamiento global es de 1,5 °C. El cambio climático plantea riesgos tanto para los sistemas naturales como humanos. En el caso de los sistemas naturales los efectos son más evidentes, mientras que en los sistemas humanos es más compleja su interacción, ya que entra en juego factores sociales, económicos y culturales (IPCC, 2014).

En América Latina, se ha registrado un aumento de la temperatura, y el derretimiento de las capas de hielo y glaciares (Lempert *et al.*, 2021). Además, se han registrado aumentos de precipitaciones en el Sudeste de América del Sur y al Noroeste de Perú y Ecuador, también se han registrado eventos climáticos extremos, especialmente lluvias intensas, huracanes, y temperaturas cálidas extremas (Magrin, 2015; Siclari, 2020). Las proyecciones indican que para finales del siglo XXI, el aumento de temperatura en América del Sur llegaría a los 4 °C con reducción de lluvias en la región tropical y aumentos de 15 y 20 % en el Sudeste de América del Sur, además, se espera que aumente la cantidad de noches, días cálidos y las lluvias intensas (Magrin, 2015).

Ecuador, ubicado en la zona tropical, experimenta un clima influenciado por la topografía; las corrientes marinas cálidas y frías del Océano Pacífico; por la presencia de la Cordillera de los Andes; por la ubicación con respecto a las masas de agua y aire y por la influencia de la humedad proveniente de la Amazonía (Aguilar *et al.*, 2020; Varela y Ron, 2022). Estas condiciones determinan la distribución y ubicación de los ecosistemas del Ecuador y hacen que sea vulnerable a las posibles alteraciones ocasionadas por el calentamiento global (Aguilar *et al.*, 2020; Espinoza Villar *et al.*, 2009)). A dicha vulnerabilidad, se suma la situación económica y cultural, así como la limitada capacidad de adaptación (2019; 2010). El cambio climático en el país se manifiesta a través del deshielo de los nevados andinos, el aumento de la temperatura y del nivel del mar, inundaciones y sequías, afectando negativamente en las actividades productivas (disminución de turismo, pesca y agricultura) y en la biodiversidad (pérdida de hábitats, aumento de especies invasoras y alteración de los ciclos biológicos) (Aguilar *et al.*, 2020).

El cambio climático afectará a los más pobres y vulnerables del planeta debido a su mayor exposición de eventos extremos, alta dependencia hacia los recursos naturales, infraestructuras deficientes, falta de acceso a información, tecnologías inadecuadas y limitaciones de recursos para adaptarse (Cordero, 2016; Fischer *et al.*, 2005; IPCC, 2022; Nakashima *et al.*, 2012; Smit y Pilifosova, 2003). Es decir, el cambio climático profundizará la vulnerabilidad de las poblaciones pobres al afectar aspectos claves como la disponibilidad del agua, la generación de energía, la agricultura y la capacidad de los ecosistemas para proveer adecuadamente bienes y servicios ecosistémicos primordiales para el desarrollo de los medios de vida locales (IPCC, 2014, 2022). No obstante, a nivel global, poco se conoce sobre cuál es la capacidad de los hogares rurales para adaptarse efectivamente al cambio climático, ya que la información disponible es limitada y, en la mayoría de los casos, de difícil acceso. Esta ausencia de información es aún más evidente en el contexto ecuatoriano, lo cual impide que se tomen decisiones adecuadas para que los hogares de las comunidades rurales afronten de mejor mane-

ra los actuales y futuros eventos climáticos extremos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad adaptativa al cambio climático de los hogares rurales del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, con el fin de identificar los aspectos que inciden en su nivel de adaptación ante eventos climáticos extremos. La investigación se desarrolló en dos parroquias del cantón Zamora, ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe, al sur-este de Ecuador. Como resultado de la presente investigación, el 100% los hogares de la parroquia de Timbra presentan un nivel medio de capacidad adaptativa, sin embargo, los hogares de la parroquia Guadalupe muestran un bajo y medio nivel de capacidad adaptativa. Los resultados servirán de base para que actores claves puedan tomar decisiones encaminadas a mejorar la capacidad adaptativa de la población ante los impactos negativos del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló en las parroquias rurales de Timbara y Guadalupe, pertenecientes al cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, al sur-este del Ecuador. Se seleccionó las parroquias mencionadas debido a que se han visto afectadas por eventos climáticos extremos y los hogares dependen estrechamente de actividades productivas relacionadas con el uso de recursos naturales renovables (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón Zamora, 2019). Para identificar los sitios para el desarrollo del estudio se revisó información secundaria en la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGRD) sobre la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos sucedidos en el cantón Zamora desde el 2010 hasta el año 2022. También se investigó en medios de comunicación como el periódico Zamorano, Diario La Hora y Diario Crónica en donde se revisaron reportes de eventos climáticos extremos. Dicha información fue complementada con visitas de campo en donde se dialogó con moradores de la zona para conocer si habían sufrido alguno de estos eventos en la última década.

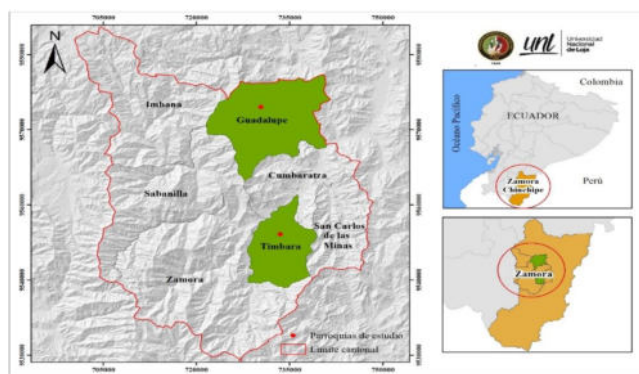


Fig. 1: Ubicación de las parroquias seleccionadas para la presente investigación.

Una vez definidos los sitios de estudio, se llevaron a cabo visitas de campo para dialogar con actores clave de la zona, tales como: líderes comunitarios, presidentes de las juntas parroquiales y barriales, y personas con amplio conocimiento sobre la parroquia. Durante estas visitas se explicó el objetivo de la investigación, se gestionaron los permisos de ingreso en cada zona y se recopiló información para generar una base de datos de los hogares afectados por eventos extremos y que

Tabla 1: Estructura del índice de capacidad adaptativa.

Dimensiones	Indicadores	Subindicadores	Efecto esperado de las variables	
Socioeconómica	Nivel de educación del jefe de hogar (IEJH)	Años de educación completada	A mayor valor de todas estas variables, disminuye la vulnerabilidad y aumenta la capacidad adaptativa.	
	Ingreso total del hogar (IITH)	Ingreso anual total del hogar en dólares		
	Número de actividades económicas (INO)	Número total de actividades económicas del jefe de hogar		
	Estado de la vivienda (IEV)	Resistencia del material de la pared		Resistencia del material del techo Evaluación del estado de la vivienda
		Resistencia del material del techo		
	Índice de activos (IIA)	Activos del hogar (casa, carro, moto, bicicleta, teléfono celular, televisión, radio, cocina, refrigeradora, motosierra, guadaña, machete, bomba de fumigar, lavadora, computadora)		
Vulnerabilidad por personas menores de 15 años (IPV)	Personas menores de 15 años	A mayor número de personas vulnerables, aumenta la vulnerabilidad y disminuye la capacidad adaptativa		
Vulnerabilidad por personas mayores de 65 años (IPV)	Personas mayores de 65 años			
Institucional	Densidad organizacional (IDO)	Densidad organizacional	A mayor valor de todas estas variables, disminuye la vulnerabilidad y aumenta la capacidad adaptativa.	
	Acceso a crédito (IAC)	Hogares con acceso a crédito		
Socioecológica	Dependencia del uso de recursos naturales (RUD)	Dependencia de la agricultura	A mayor dependencia de los recursos naturales, mayor vulnerabilidad y menor capacidad adaptativa.	
		Dependencia de la ganadería		
		Dependencia de la pesca		
		Dependencia de la productos forestales maderables		
Dependencia de productos forestales no maderables				
Conocimiento ecológico local (CEL)	Número de plantas medicinales que usa	A mayor valor de todas estas variables, disminuye la vulnerabilidad y aumenta la capacidad adaptativa.		
Capacidad para adaptarse al cambio (ICAC)	Número de medidas de adaptación a los impactos del cambio climático implementadas por los hogares			
Conciencia sobre el cambio climático (ICSCC)	Percepción sobre el cambio del clima		Percepción de eventos climáticos que afectaron los cultivos Percepción de eventos climáticos que afectaron los animales domésticos	
	Percepción de eventos climáticos que afectaron los cultivos			
	Percepción de eventos climáticos que afectaron los animales domésticos			

estén vinculados con actividades relacionadas con el uso de recursos naturales. En la parroquia de Timbara y Guadalupe se identificaron 197 y 109 hogares respectivamente. Una vez identificada la población meta, se seleccionó al azar los hogares a encuestar, obteniendo un total de 149 hogares. De estos,

93 (56,59%) están ubicados en Timbara, abarcando un total de 8 comunidades, y 56 (60,42%) en Guadalupe, distribuidos en 13 comunidades. El número de hogares a encuestar se determinó mediante la aplicación de la ecuación (1) planteada por Gabaldón (1980).

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N-1)e^2 + Z^2pq} \quad (1)$$

Donde:

- *n*: Tamaño de la muestra
- *N*: Tamaño del universo (Total de hogares)
- *Z*²: Nivel de confianza de la estimación equivalente a 1.96 considerando el 95 % de confianza.
- *p*: Probabilidad de éxito (0.5)
- *q*: Probabilidad de fracaso (0.5)
- *e*²: Error (5.64 %)

A los hogares seleccionados se les aplicó una encuesta que abordó secciones referentes a información socio-demográfica, usos de la tierra, actividades económico-productivas y adaptación al cambio climático. El cuestionario fue diseñado junto con el equipo de trabajo del Centro de Investigaciones Tropicales para el Ambiente y la Biodiversidad (CITIAB), en el proyecto de investigación sobre “Restauración y dinámica de los ecosistemas andino – amazónicos del sur del Ecuador”, financiado por la Universidad Nacional de Loja. Las encuestas se aplicaron únicamente a los hogares que dieron su consentimiento previo e informado para participar en el estudio.

Metodología para evaluar la capacidad adaptativa de los hogares

Para construir el índice que permitió evaluar la capacidad adaptativa se tomaron como referencia los trabajos de Hahn *et al.* (2009), Maldonado y Moreno-Sánchez (2014) y Moreno-Sánchez y Gómez (2015), que comprenden tres dimensiones: (i) socioeconómica, (ii) institucional y (iii) socioecológica. Dentro de cada dimensión se consideraron indicadores y subindicadores adaptados a la información recopilada para la zona de estudio. El detalle de los indicadores y subindicadores empleados se muestra en la **Tabla 1**.

Dimensión socioeconómica

- **Indicador nivel de educación del jefe de hogar**
Subindicador: años de estudio que han cursado los jefes de hogar.
- **Indicador ingreso total del hogar**
Subindicador: ingreso anual total generado en los últimos doce meses, derivado de actividades productivas realizadas dentro y fuera de la finca (Ecuación 2). Los ingresos generados por las actividades dentro de la finca incluyen ganadería, agricultura, acuicultura, así como productos forestales maderables y no maderables. El ingreso por actividades fuera de la finca comprende ingresos externos provenientes de empleos estables o temporales, emprendimientos propios, alquileres, inversiones y pensiones, ayudas económicas (Bono de Desarrollo Humano y el Joaquín Gallegos Lara), y remesas

enviadas por familiares

$$\text{Ingreso anual total del hogar} = \text{Ingreso dentro de la finca} + \text{Ingreso fuera de la finca} \quad (2)$$

- **Indicador número de actividades económicas**
Subindicador: conteo de todas las actividades, primarias y secundarias, y otras actividades que realiza cada jefe de hogar.
- **Indicador estado de la vivienda** Subindicadores: material de la pared, material del techo y valoración del estado de la vivienda.
Para asignar una puntuación a los materiales de construcción del techo y pared de la vivienda se consideró la resistencia de cada uno de los materiales a los cambios climáticos en la zona de estudio. Para el material de la pared se empleó siete criterios: resistencia a la humedad, durabilidad frente a cambios de temperatura, capacidad de aislamiento térmico, resistencia a la corrosión, estabilidad estructural, sostenibilidad, costo y disponibilidad. Para el material del techo se consideró diez criterios: durabilidad frente a la radiación solar, resistencia a vientos y tormentas, capacidad de drenaje y los siete criterios mencionados anteriormente. Para obtener la puntuación del material utilizado en la construcción de las viviendas, se empleó la siguiente calificación dependiendo de los criterios mencionados: 1 = alto; 0,5 = medio; 0 = bajo; por ejemplo, el cemento tiene una alta resistencia a la humedad, por lo que tendrá una puntuación de 1, si tiene media durabilidad frente a cambio de temperatura se le asignará una puntuación de 0,5.
Para la evaluación del estado de la vivienda, la encuesta incluyó una pregunta de evaluación visual rápida realizada por el equipo de investigación, para ello se utilizó cuatro opciones. 1) mal estado, riesgoso, 2) aceptable, pero deteriorado, 3) bueno y 4) excelente estado.
Para obtener la calificación total de cada material se sumó las puntuaciones parciales de cada subindicador.
- **Indicador índice de activos**
Subindicador: índice de activos del hogar.
Para la construcción de este índice, se consideró un total de 15 activos físicos del hogar (excluyendo la vivienda), los cuales aportan a la prevención o afrontamiento de eventos relacionados al cambio climático, ya que contribuyen significativamente a mejorar la calidad de vida y la capacidad de respuesta frente a los desafíos climáticos (Moreno-Sánchez y Gómez, 2015). Entre los activos físicos, se incluyeron activos que ayudan en los quehaceres domésticos del hogar y permiten ahorro de tiempo y recursos (cocina, refrigeradora, lavadora); activos que facilitan la movilidad en emergencias (bicicleta, carro, moto); medios de comunicación (celular, televisión, radio, computadora); y activos que ayudan en la agricultura de los jefes de hogar (tractor, motosierra, guadaña, machete, bomba de fumigar).
- **Indicador vulnerabilidad por personas menores de 15 años y mayores de 65 años**

Subindicador: número de hombres y mujeres mayores de 65 y menores de 15 años en cada hogar.

Dimensión institucional

■ Indicador densidad organizacional

Subindicador: densidad organizacional Se obtiene mediante la Ecuación 3 (Moreno-Sánchez y Gómez, 2015).

$$Ido = \left(\frac{X_1}{X_2} \right) \quad (3)$$

Donde:

- Ido: Indicador de densidad organizacional.
- X_1 : Número de personas mayores de 15 años que pertenece a organizaciones en el hogar i .
- X_2 : Personas mayores de 15 años del hogar i .

■ Indicador acceso a crédito

Subindicador: acceso a crédito

Es estimado para los hogares como el número de jefes de hogar que han tenido acceso a crédito en los últimos 12 meses. Según Di Falco *et al.* (2011), el no poder acceder a créditos limita las medidas de adaptación, ya que al no tener mayor liquidez no pueden invertir en medidas adaptativas. En la encuesta, se incluyó una pregunta específica para evaluar este aspecto en una escala binaria de 0 a 1, donde 0 representa la falta de acceso a crédito y 1 indica que el jefe de hogar ha accedido al menos a un crédito en el periodo mencionado.

Dimensión socioecológica

■ Indicador dependencia del uso de recursos naturales

Subindicador: dependencia económica de los recursos naturales Para obtener este indicador se aplicó la Ecuación 4 (Rodríguez, 2023).

$$RUD_i = \left(\frac{ITDF}{ITH} * 100 \right) \quad (4)$$

Donde:

- RUD_i : Dependencia del uso de recursos naturales
- $ITDF$: Ingreso total dentro de la finca.
- ITH : Ingreso total del hogar.

■ Indicador conocimiento ecológico local

Subindicador: número de plantas medicinales que usa (PMU_i)

El uso de plantas medicinales refleja una estrategia de adaptación basada en el conocimiento local. Mientras más plantas usen los hogares, mejor será su capacidad de adaptación puesto que se aumenta su resiliencia económica. Adicionalmente, cada especie tiene tolerancia diferente a factores como sequías, inundaciones o heladas. Si una especie falla, otras pueden seguir proporcionando servicios esenciales. Para este indicador, en el cuestionario se incluyó la siguiente pregunta: ¿Cuántas especies de plantas diferentes emplean en su hogar para

curarse de enfermedades? PMU_i toma diferentes valores así: ninguno = 0 puntos, una = 1,25 puntos, dos = 2,5 puntos, tres = 3,75 puntos, cuatro = 5 puntos, cinco = 6,25 puntos, seis = 7,50, siete = 8,75, ocho = 10 puntos. La puntuación se determinó mediante una estandarización de los valores máximos y mínimos. En este proceso, el hogar que empleó el mayor número de plantas para curarse recibió la puntuación máxima, que corresponde 10 puntos.

■ Indicador capacidad para adaptarse al cambio

Subindicador: número de medidas implementadas en cada hogar ante afectaciones extremas debido a altas temperaturas, lluvias intensas, sequía extrema, heladas, inundaciones y presencia de plagas o enfermedades.

Este indicador toma diferentes valores de acuerdo con el número de medidas implementadas por los hogares. Así: ninguna = 0 puntos, una = 2,5 puntos, dos = 5 puntos, tres = 7,5 puntos, cuatro = 10 puntos. La asignación de la puntuación se la realizó de manera similar al indicador de conocimiento ecológico local.

■ Indicador conciencia sobre el cambio climático Se obtiene mediante la aplicación de la Ecuación 5.

$$AAD_i = PSCC + PAC + PAG \quad (5)$$

Donde:

- *Subindicador*: percepción del cambio del clima (PSCC)
- *Subindicador*: percepción de afectación en los cultivos (PAC)
- *Subindicador*: percepción de afectación en la ganadería (PAG)

Los tres subindicadores toman valores dependiendo de las respuestas de las siguientes preguntas “¿Ha notado cambios de clima importantes en los últimos 10 años?” “¿En los últimos 10 años, ha notado algún problema en sus cultivos debido al clima?” “¿En los últimos 10 años, ha notado algún problema en sus animales debido al clima?” Cada pregunta tenía dos posibles respuestas: 0 para “no” 1 para “sí”. Los tres subindicadores se calcularon sumando las respuestas de las tres preguntas y luego se ponderaban a un total de 10 puntos. Dependiendo del número total de respuestas afirmativas, se asignaban diferentes puntajes: ninguna respuesta afirmativa equivalía a 0 puntos, una respuesta afirmativa a 3,33 puntos, dos respuestas afirmativas a 6,67 puntos y tres respuestas afirmativas a 10 puntos.

Cálculo del índice de Capacidad Adaptativa (ICA) Para el cálculo del Índice de Capacidad Adaptativa (ICA), se siguió el procedimiento descrito en la Figura 2. Este proceso comenzó con la definición de las variables (X_i) que integran cada componente del índice (**Paso 1**). Estos variables representan valores claves de las unidades de análisis, por ejemplo, el ingreso económico total de cada hogar.

En el **paso 2**, se interpretaron las variables en el contexto de la capacidad adaptativa, por ejemplo, un mayor ingreso

económico de los hogares aumenta su capacidad adaptativa y disminuye su vulnerabilidad frente al cambio climático.

El **paso 3** consistió en el cálculo de cada variable mediante la selección de la ecuación de estandarización más adecuada. En casos donde el aumento de la variable incrementa la capacidad adaptativa (Ejemplo; ingreso económico), se utilizó la Ecuación A. Por otro lado, si un mayor valor en la variable disminuye la capacidad adaptativa (Ejemplo. Dependencia de los recursos naturales o alta proporción de menores de 15 años o mayores de 65 años en el hogar), se empleó la Ecuación B. Esta estandarización se basó en valores mínimos (Smin) y máximos (Smax) observados en cada unidad de análisis, asegurando una homogeneidad para todas las variables (Treviño, 2023).

En el **paso 4**, se calculó el índice de cada dimensión mediante la suma de los valores estandarizados de las variables correspondientes, dividida entre el número total de indicadores dentro de esa dimensión.

Finalmente, en el **paso 5**, se calculó el ICA como un índice compuesto, sumando las dimensiones ponderadas por el número de indicadores (Wd) en cada una, y dividiendo el resultado entre el total de indicadores de todas las dimensiones. Tal como se puede observar en la Figura 2.

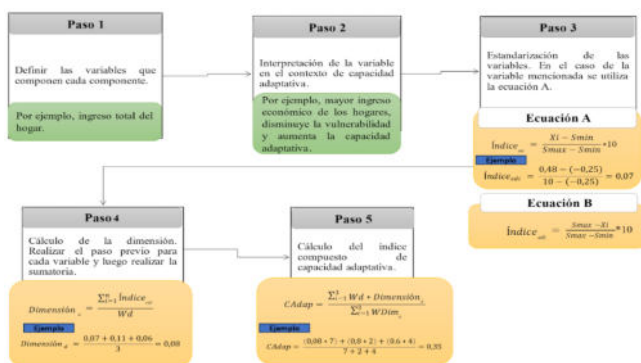


Fig. 2: Proceso para el cálculo del índice de capacidad adaptativa

El resultado es un índice compuesto que proporciona información detallada sobre la capacidad de adaptación de los hogares participantes en el estudio, específicamente aquellos que han enfrentado eventos climáticos extremos y dependen de los recursos naturales para su subsistencia. Este índice, que varía de 0 a 10, valores cercanos a 0 indican baja capacidad adaptativa, mientras que aquellos cercanos a 10 denotan una alta capacidad adaptativa. Para clasificar los hogares rurales del cantón Zamora según su capacidad adaptativa al cambio climático se utilizó los rangos establecidos por (Moreno-Sánchez y Gómez, 2015), los mismos se presentan a continuación.

Tabla 2: Rangos de clasificación de los hogares rurales del cantón Zamora según su capacidad adaptativa.

Alto	>6,66	
Medio- Alto	>3,33 y <6,66	
Bajo	<3,33	

RESULTADOS

La Tabla 3 proporciona información general de variables sociodemográficas de las comunidades en las que se aplica-

ron las encuestas.

Percepción de los hogares encuestados ante el cambio climático

El 86,02% de los jefes de hogar de la parroquia Timbara han percibido un cambio en el clima de su localidad desde el 2012 hasta el 2022, mientras que el 13,98% no han percibido ningún cambio en el clima. Así mismo en la parroquia Guadalupe el 96,43% ha percibido cambios frente al 3,57% que indican que no han notado ningún cambio del clima.

En la parroquia Timbara, 67 hogares mencionan que uno de los principales cambios que han percibido son las lluvias intensas. Estas han provocado daños principalmente en los cultivos de plátano, yuca, achote y guineo ya que, debido al exceso de agua, sumado a la ausencia de manejo de los cultivos, estos se pudren. No obstante, también se han percibido altas temperaturas (16 hogares encuestados) desde el 2015 hasta el 2022, las cuales han afectado la salud de los habitantes (gripes, quemaduras de piel) y han perjudicado los pastizales, pues estos se secan.

En la parroquia Guadalupe, 32 hogares señalaron que las altas temperaturas han sido el cambio más significativo, especialmente durante los años 2020 y 2022. Estas han repercutido en la salud de las personas, manifestándose en dolores de cabeza, fiebre y resfriados. Adicionalmente, han perjudicado la producción de yuca, plátano, guineo, maíz y café. Por otro lado, 26 personas mencionaron que han observado un aumento en las lluvias intensas, las cuales han afectado especialmente cultivos como la papaya, plátano, guineo, maíz, pasto y yuca.

Índice de capacidad adaptativa al cambio climático de los hogares rurales del cantón Zamora

Los resultados obtenidos muestran que todas las comunidades de la parroquia Timbara presentan un nivel medio de capacidad adaptativa (>3,33 y <6,66), sin embargo, sobresale la comunidad de Martin Ujukam con una valoración de 4,99 puntos. Por otra parte, en la parroquia Guadalupe el 80, 64% de los hogares presentan un nivel de capacidad adaptativa medio (>3,33 y <6,66) y el 19,35% bajo (<3,33), sin embargo, sobresale la comunidad de San Antonio con una puntuación de 5,35 obteniendo el valor más alto de capacidad adaptativa, tal como se puede observar en la Figura 3.

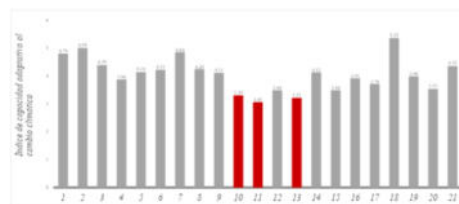


Fig. 3: Índice de capacidad adaptativa al cambio climático en hogares afectados por eventos climáticos extremos en las comunidades rurales del cantón Zamora. Parámetro del Índice, verde = alto >6,66; gris = medio >3,33 y <6,66; rojo = bajo <3,33

De los valores promedios obtenidos para cada dimensión en cada comunidad, resalta que la dimensión institucional es la que más restringe la capacidad de adaptación en los hogares de Timbara con un valor de 1,91 y Guadalupe con 1,13

Tabla 3: Perfil demográfico de los jefes de hogares encuestados en la parroquia Timbara y Guadalupe

Parroquia	Comunidad	# total de hogares	# de hogares encuestados	Hombres	Mujeres	Edad promedio del jefe/a de hogar	Años promedio de educación	# promedio de integrantes del hogar	Promedio anual del ingreso dentro de la finca (USD)	Promedio anual del ingreso fuera de la finca (USD)	% de hogares con acceso a crédito
Timbara	Jambue	23	3	2	1	57,33	9,33	3,33	3280,85	3606,67	66,67
	Martin Ujukam	7	4	3	1	53,50	10,75	2,50	754,60	16153,75	0,00
	Numbami	14	11	7	4	53,81	8,15	4,18	1368,51	6925,65	45,45
	Pituca	68	15	11	4	42,46	8,07	4,87	1491,01	3864,83	13,33
	Romerillo	29	22	17	5	62,09	5,03	2,77	2949,14	2234,27	27,27
	Sakantza	30	20	14	6	52,15	5,45	3,75	1667,02	2048,79	35,00
	Santa Cecilia	15	10	7	3	47,40	7,20	5,20	2365,57	6868,89	40,00
	Sevilla de Oro	11	8	6	2	57,12	5,38	3,63	1779,75	3994,01	12,50
Total Timbara		197	93	67	26	53,23	7,42	3,78	1957,06	5712,11	30,03
Guadalupe	Cantzam	10	5	3	2	50,80	7,20	4,80	148,24	3218,95	0,00
	Conchay	2	2	1	1	49,00	9,00	3,50	53,65	300,00	0,00
	El Carmelo	7	6	2	4	58,16	3,33	3,17	347,90	1142,17	16,67
	El Carmen	12	5	2	3	41,80	10,40	6,00	1529,91	1767,15	20,00
	El Progreso	5	3	1	2	73,00	4,33	2,00	586,20	400,00	0,00
	Guaguayme	17	8	6	2	64,12	7,28	4,88	2510,30	3294,66	37,50
	La Saquea	3	2	1	1	74,50	4,50	4,50	5529,06	300,00	50,00
	Piuntza	19	6	3	3	70,16	8,17	3,17	1509,87	2160,83	16,67
	San Agustín	3	2	1	49,00	10,00	3,50	238,35	1005,00	0,00	
	San Antonio	4	3	2	1	61,33	10,00	4,33	10001,61	2600,00	66,67
	San Juan	6	4	0	4	43,50	7,50	6,00	1336,58	1394,00	0,00
	San Ramón	12	6	2	4	51,33	4,33	3,50	740,47	963,04	16,67
	Santa Cruz	9	4	1	3	42,50	9,50	4,00	2002,41	1882,50	50,00
Total Guadalupe		109	56	25	31	56,09	7,35	4,10	2041,12	1571,41	21,09

puntos. Mientras que la dimensión socioeconómica es la que más aporta a mejorar la capacidad adaptativa, obteniendo un valor promedio de 5,56 para el caso de Timbara y 4,86 para Guadalupe (Figura. 4).

Por otro lado, los indicadores que mayor peso tienen en la dimensión socioeconómica son la vulnerabilidad por presencia de personas mayores de 65 años y menores a 15 años. Según los resultados obtenidos de esta investigación, tanto en la parroquia de Timbara como en la de Guadalupe, la presencia de estos grupos es reducida; por ende, estos indicadores adquieren una alta valoración, con un promedio de 9,15 y 8,64 respectivamente. En contraste, el indicador que menos peso aporta al ICA es el ingreso económico, con un promedio de 1,5.

En la dimensión institucional, tanto el indicador de densidad organizacional como el de acceso a crédito muestran pesos bajos de aporte al ICA, con promedios de 0,48 y 2,55 respectivamente.

En la dimensión socioecológica, el indicador conocimiento sobre el cambio climático es el que mayor peso aporta al ICA con un promedio de 6,62. En contraste, el indicador capacidad para adaptarse al cambio es el que menor peso aporta, con un promedio de 1,75.

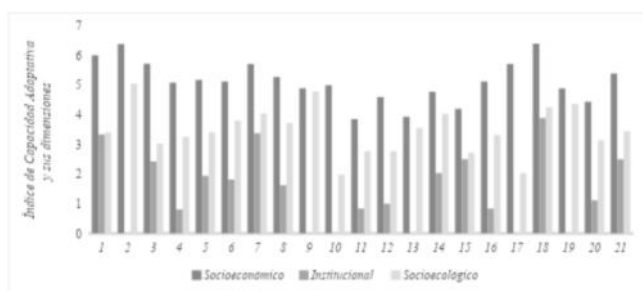


Fig. 4: Dimensiones del índice de capacidad adaptativa de los hogares afectados por eventos climáticos extremos en las comunidades rurales del cantón Zamora.

DISCUSIÓN

El presente estudio evalúa la capacidad adaptativa de hogares rurales ante el cambio climático, empleando tres dimensiones planteadas por Moreno-Sánchez y Gómez (2015), e incorporando variables que pueden incidir en una mayor o menor capacidad adaptativa y que además están adaptadas a las características de la zona de estudio. Según Zabala y Victorino (2019), si el interés es discriminar a una escala local o más fina y en áreas donde existen comunidades humanas muy heterogéneas, se debe abordar la investigación con variables que respondan directamente a atributos de los hogares. Este estudio puede servir como punto de partida para orientar el análisis del ICA de hogares rurales en la Amazonía del Ecuador, y puede ser enriquecido con nuevas experiencias y resultados de campo.

Los hogares con mayores valores del ICA, son aquellos cuyos jefes de hogar poseen más años de estudio, tienen una mayor diversidad ocupacional, generan mayores ingresos económicos, pueden acceder a créditos, tienen una menor dependencia de los recursos naturales, y poseen un mayor conocimiento ecológico local. Esto subraya la importancia de los factores socioeconómicos e institucionales en la resiliencia frente al cambio climático.

La educación fomenta habilidades para diversificar ingresos, acceder a información y recursos, generar conciencia climática, participar en procesos de toma de decisiones y desarrollar respuestas al cambio climático (Portilla, 2018). La diversificación ocupacional, la capacidad para generar los ingresos más altos y acceder a créditos, reflejan una menor vulnerabilidad económica, permitiendo a los hogares afrontar adversidades con mayor flexibilidad.

Contar con varias fuentes de ingresos económicos permite a los hogares enfrentar eventos climáticos extremos de mejor manera en comparación con aquellos que dependen exclusivamente de una única fuente de ingreso. La diversificación de fuentes de ingreso, es por ejemplo una de las medidas de

adaptación contempladas en el Plan Nacional de Adaptación 2023-2027 (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2023). Estudios como los de Zabala y Victorino (2019) e Ibararán *et al.* (2013), también coinciden en la importancia de una economía saludable para afrontar los impactos generados por inundaciones, sequías, tormentas u otros fenómenos climáticos extremos.

Los hogares con acceso a crédito tienen una mayor capacidad para recuperarse rápidamente de impactos negativos relacionados con el cambio climático, en comparación con aquellos hogares que no tienen acceso a crédito. Di Falco *et al.* (2011), señalan que el limitado acceso a crédito es una restricción para la adopción de medidas de adaptación. En este sentido, el MAATE (2023), recomienda como medida de adaptación impulsar acciones con entidades bancarias para promover y facilitar el acceso a crédito, especialmente a las personas que pertenecen a grupos vulnerables para que puedan prepararse para enfrentar épocas de sequía.

Los jefes de hogar con conocimiento sobre el cambio climático tienden a implementar de manera más efectiva medidas de adaptación. En los hogares donde se evidenció este conocimiento se observaron medidas de adaptación que fueron adoptadas después de haber sido afectados por eventos climáticos extremos, tales como la reubicación de estanques de peces en zonas con bajo riesgo de inundaciones, y la construcción de invernaderos para evitar que se pudran los cultivos por exceso de agua. Según el MAATE (2023), una medida de adaptación importante es recuperar conocimientos y prácticas ancestrales en el uso sostenible de los recursos del sector agropecuario que permitan reducir la vulnerabilidad y generar capacidad adaptativa local como respuesta a los efectos del cambio climático.

Por otra parte, la dimensión institucional aparece como la mayor limitante para la adaptación de los hogares en Timbara y Guadalupe; esto se debe a la escasa organización, el limitado acceso a crédito, la carencia de sistemas de alerta temprana, falta de recursos y apoyo por parte de entidades competentes.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de políticas integrales que combinen acceso a educación, inclusión financiera y fortalecimiento de capacidades locales para reducir la vulnerabilidad y potenciar la adaptabilidad de los hogares rurales. En este contexto, se vuelve crucial diseñar intervenciones que consideren tanto los factores estructurales como el conocimiento comunitario para lograr soluciones sostenibles y equitativas.

CONCLUSIONES

La educación, la diversificación de ingresos e inclusión financiera de los hogares, pueden convertirse en los pilares de la capacidad adaptativa ante el cambio climático. Esto evidencia que la inversión en educación y la promoción de políticas de inclusión financiera son fundamentales para fortalecer la resiliencia de los hogares rurales.

El conocimiento ecológico local y una menor dependencia de recursos naturales pueden ser claves una transición hacia sistemas más resilientes. Por tanto, las estrategias de adaptación deben integrar saberes tradicionales con enfoques modernos, fomentando prácticas productivas sostenibles que reduzcan la presión sobre los recursos naturales sin compro-

meter los medios de vida locales.

La mayoría de los hogares rurales dependen de los recursos naturales para el desarrollo de medios de vida centrados en la agricultura, ganadería, acuicultura y productos forestales maderables. Esta dependencia hace que los hogares sean vulnerables al cambio climático, ya que cualquier alteración en los patrones climáticos o eventos climáticos extremos puede afectar la disponibilidad y productividad de estos recursos. Esto indica que es necesario y urgente desarrollar e implementar sistemas de gestión de riesgo y seguros agrícolas que ayuden a enfrentar a los agricultores las pérdidas económicas ocasionadas por los impactos negativos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad (CITIAB) por contribuir a la investigación mediante el financiamiento y asesoría técnica; a la Fundación Naturaleza y Cultura Internacional y al GAD parroquial de Guadalupe por la hospitalidad brindada en territorio; a los pobladores de la parroquia Timbara y Guadalupe por facilitar la información requerida; a Darío Quinde, Evelyn Valencia, Fanny Aguinsaca, Jennifer Rodríguez, Mirca Quizhpe y Valeria Sánchez por su colaboración en la recopilación de información en campo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: CF, TOL y PE; metodología: CF y TOL; análisis formal: CF y TOL.; investigación: CF y TOL; recursos: CF, TOL, PE y NA; curación de datos: CF y TOL; redacción — preparación del borrador original: CF; redacción — revisión y edición: CF, TOL, PE y NA; visualización: CF y TOL; supervisión: TOL; administración de proyecto: PE, TOL y NA; adquisición de financiamiento para la investigación: PE y TOL. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Cecilia Marisol Fajardo Aguirre: CF. Tatiana Ojeda Luna: TOL. Paúl Eguiguren: PE. Nikolay Aguirre: NA.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja, mediante el proyecto “Restauración y Dinámica de los Ecosistemas Andino-Amazónicos del Sur del Ecuador” 08-DI-FARNR-2021, ejecutado por el Centro de Investigaciones Tropicales para el Ambiente y la Biodiversidad (CITIAB).

REFERENCIAS

- Aguilar, S. A. V., Ceferino, C. C. M., y Copo, H. F. B. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72–76. Descargado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/388/367>
- Cordero, V. (2016). *Análisis crítico de la estrategia nacional de erradicación de la pobreza en el Ecuador con énfasis en la relación de los conceptos de pobreza, vulnerabilidad, y cambio climático* (Tesis Doctoral, Universidad Andina Simón Bolívar). Descargado de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/>

10644 / 5352 / 1 / T2083 -MCCNA -Cordero -Análisis .pdf

- Di Falco, S., Veronesi, M., y Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? a micro-perspective from ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(3), 829–846.
- Espinoza Villar, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., ... Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the amazon basin countries (brazil, peru, bolivia, colombia, and ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1574–1594. Descargado de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/72/Espinoza-villar-2009.pdf?sequence=1>
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N., y Van Velhuizen, H. (2005). Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2067–2083.
- Gabaldón, N. (1980). *Algunos conceptos de muestreo*. Caracas, Venezuela: División de Publicaciones. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Central de Venezuela.
- González, J., González, F., y Gonzalez, A. (2019). *El cambio climático y su afectación en la planificación y ordenamiento territorial en ecuador*. Descargado de <https://www.researchgate.net/publication/343399323>
- Hahn, M. B., Riederer, A. M., y Foster, S. O. (2009). The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—a case study in mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74–88. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002
- Ibarrarán, M. E., Reyes, M., y Altamirano, A. (2013). Adaptación al cambio climático como elemento de combate a la pobreza. *Región y Sociedad*, 26(61). Descargado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252014000400001
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multcapítulos*. Descargado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C: Informe especial del ipcc sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °c con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero*. Descargado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf
- IPCC. (2022). *Climate change 2022 - mitigation of climate change - summary for policymakers (spm)* (Vol. 1). Cambridge University Press. Descargado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
- Jori, G. (2009). El cambio climático como problema y el diálogo social como solución. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 48. Descargado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17620925005>
- Lempert, R. J., Miro, M. E., y Prosdocimi, D. (2021). *Una guía de dmdu para la planificación del transporte en un escenario de cambio climático*. Descargado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Una-guia-de-DMDU-para-la-planificacion-del-transporte-en-un-escenario-de-cambio-climatico.pdf>
- MAATE. (2023). *Plan nacional de adaptación al cambio climático del ecuador 2023 -2027*. Descargado de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA_Plan-Nacional-de-Adaptacion_2023_2027.pdf
- Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en américa latina y el caribe*. Descargado de <http://hdl.handle.net/11362/39842>
- Maldonado, J. H., y Moreno-Sánchez, R. (2014). Estimating the adaptive capacity of local communities at marine protected areas in latin america: a practical approach. *Ecology and Society*, 19(1). doi: 10.5751/ES-05962-190116
- Moreno-Sánchez, R., y Gómez, G. (2015). *Capacidad de adaptación al cambio climático en comunidades indígenas de la amazonía peruana*. Descargado de https://www.researchgate.net/publication/281006060_Capacidad_de_adaptacion_al_cambio_climatico_en_comunidades_indigenas_de_la_Amazonia_peruana
- Nakashima, D., Galloway, K., Thulstrup, H., Ramos, A., y Rubis, J. (2012). *Weathering uncertainty: Traditional knowledge for climate change assessment and adaptation*. Descargado de <https://act-adapt.org/wp-content/uploads/2012/09/216613e.pdf>
- O'Brien, K. L., y Wolf, J. (2010). A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(2), 232–242. Descargado de <https://asset-pdf.scinapse.io/prod/2050599067/2050599067.pdf>
- Portilla, D. F. R. (2018). *Evaluación espacial de la vulnerabilidad al cambio climático en la cuenca del río blanco ubicado en el departamento de nariño*. Descargado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1085921967.2018.pdf>
- Rodriguez, J. (2023). *Usos de los productos forestales no maderables de origen vegetal y su aporte económico para los hogares rurales de la parroquia timbara, provincia de zamora chichipe*. Descargado de https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27518/1/JenniferAlexandra_RodriguezOviedo.pdf
- Rosatto, H., Botta, G. F., Becerra, A., Tardito, H., y Leveratto, M. (2016). Problemáticas del cambio climático en la ciudad autónoma de buenos aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(1). Descargado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652016000100014&script=sci_arttext&tlnq=pt
- Siclari, P. (2020). *Amenazas de cambio climático, métricas de mitigación y adaptación en ciudades de américa latina y el caribe*. Descargado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46575/4/S2000867_es.pdf
- Smit, B., y Pilifosova, O. (2003). *Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity* (Vol. 8) (n.º 9). Descargado de <https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/69936524/wg2TARchap18-with-cover-page-v2.pdf>
- Treviño, J. A. (2023). Alternativas de estandarización pa-

ra índices compuestos espacio-temporales. el caso del rezago educativo en los estados de México, 2000 a 2020. *Investigaciones Geográficas*, 109. doi: 10.14350/rig.60615

Varela, A. L., y Ron, S. R. (2022). *Geografía y clima del Ecuador*. Descargado de <https://bioweb.bio/geografiaClima.html>

Zabala, F. A., y Victorino, I. (2019). Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río orotoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida. *Biodiversidad En La Práctica*, 4(1), 51–85. Descargado de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/672/560>

Pérdida de biomasa por actividades de mantenimiento en plantaciones forestales, en la Provincia de Napo

Biomass loss due to maintenance activities in forest plantations in Napo Province

Tarcisio Paspuel ^{1,*}

¹ Operador de Proyectos Forestales, Tena, Ecuador, anibalpaspuel@yahoo.es

* Autor para correspondencia: anibalpaspuel@yahoo.es

Fecha de recepción del manuscrito: 24/06/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 15/12/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—El presente estudio, se realizó en el sector de El Para, parroquia San Pablo, cantón Archidona, de Napo, el objetivo fue estimar la biomasa que se pierde por efecto de las actividades de mantenimiento silvicultural en una plantación forestal de 19 meses de edad con la especie nativa denominada Chunchu/Seike (*Cedrelinga cateniformis*). Para determinar la pérdida de biomasa se realizó la medición directa con técnica de cosecha destructiva, para lo cual se tomaron 30 muestras de materia verde en dos tipos de cobertura (rastrujo y pastos), en una subparcelas de 0,25 m², empleando un marco de 0,50 × 0,50 m. Luego de la Chapia, se obtiene que el peso seco corresponde al 53 % del peso verde, en cobertura de pastos, mientras en cobertura de rastrujo el peso seco corresponde al 40,5 % del peso verde. La chapia en la cobertura de pastos pierde 20,63 ton/ha de biomasa seca y en cobertura de rastrujo 27,58 ton/ha; si consideramos las intervenciones de dos coronamientos adicionales necesarios para completar el mantenimiento de la plantación en un año, se pierde 33,01 ton/ha/año de biomasa seca en cobertura de pastos y 35,8 ton/ha/año en cobertura de rastrujo, siendo de vital importancia la información obtenida para el diseño de futuros planes de mitigación para la disminución en las emisiones de GEI en el manejo de plantaciones forestales.

Palabras clave—Biomasa, plantaciones forestales, mantenimiento, *Cedrelinga*, Seike.

Abstract—This study was carried out in the El Para sector, San Pablo parish, Archidona canton, Napo. The objective was to estimate the biomass lost due to the effects of silvicultural maintenance activities in a 19-month-old forest plantation with the native species called Chunchu/Seike (*Cedrelinga cateniformis*). To determine the biomass loss, a direct measurement was carried out using a destructive harvesting technique. For this, 30 samples of green matter were taken from two types of cover (stubble and grass), in a 0.25 m² subplot, using a 0.50 × 0.50 m frame. After Chapia, it is obtained that the dry weight corresponds to 53 % of the green weight in grass cover, while in stubble cover the dry weight corresponds to 40.5 % of the green weight. The stubble cover loses 20.63 tonnes/ha of dry biomass and the stubble cover loses 27.58 tonnes/ha; if we consider the interventions of two additional crowns necessary to complete the maintenance of the plantation in one year, 33.01 tonnes/ha/year of dry biomass is lost in the pasture cover and 35.8 tonnes/ha/year in the stubble cover, the information obtained being of vital importance for the design of future mitigation plans for the reduction of GHG emissions in the management of forest plantations.

Keywords—Biomass, forest plantations, maintenance, *Cedrelinga*, Seike

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial hay una discusión cada vez más amplia sobre la problemática ambiental en el planeta. La madera es uno de los recursos naturales más utilizados en casi todas las actividades humanas, a diferencia de otros sectores, es un recurso renovable, ambientalmente amigable y económicamente rentable si es manejado técnicamente (MAGAP, 2015). Ecuador debido a su ubicación geográfica, es un país con gran riqueza natural y con un enorme potencial forestal si se consideran todos los bienes y servicios ambientales, el aporte del bosque podría constituirse en una de las principales fuentes de ingreso de un recurso renovable (MAGAP, 2015).

La preocupación por el daño ambiental ha permitido establecer diversos modelos para medir y evaluar los efectos de cada una de las actividades antropogénicas que contribuyen indirectamente al cambio climático a grandes niveles (IPCC, 2015). En la actualidad, la emanación de gases de efecto invernadero debido a acciones antrópicas, son las más altas registradas a lo largo de la historia, causando un impacto generalizado sobre el medio ambiente y por ende, en los sistemas humanos y naturales. La concentración en la atmósfera de dióxido de carbono se ha incrementado de 280 partes por millón (ppm) en la época preindustrial a 387 ppm en el 2009. Esta concentración supera el límite natural de concentración de dióxido de carbono en los últimos 600.000 años (Rodri-

guez y Mance, 2009).

Es por ello que, actualmente se buscan planes de mitigación sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), para así encontrar soluciones temporales al cambio climático. Sin embargo, antes de crear dichos planes, es necesario obtener cifras claras y concisas de cada una de las actividades antropogénicas generadoras de GEI, por lo tanto, es indispensable la utilización de los diversos modelos que existen para medir dicha emisión (Rodríguez y Mance, 2009). Bajo este contexto, este estudio tuvo como objetivo estimar la pérdida de biomasa que ocurre por las intervenciones de mantenimiento de la plantación forestal de Chunchu (*Cedrelinga cateniformis*), establecida con fines comerciales en la provincia del Napo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en una plantación forestal de una extensión de 197 hectáreas de propiedad de BALCAOSA S.A, ubicada en el sector El Para, a 9,6 km de la parroquia San Pablo, cantón Archidona, Provincia de Napo, a una altitud de 800 m s.n.m, una temperatura media de 20°C una precipitación anual de 3000 mm (Paspuel, 2013). (Figura 1).

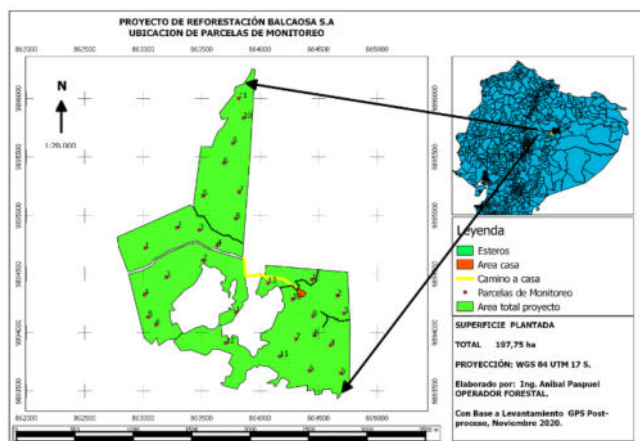


Fig. 1: Ubicación del proyecto de reforestación y las áreas de monitoreo.

La plantación se estableció con la especie nativa denominada chunchu (*Cedrelinga cateniformis*), a una densidad de 833 plantas/ha (4×3 m), en suelos arcillosos; el uso anterior de los suelos fue pastos abandonados de un período aproximado de 8 a 10 años.

La plantación corresponde a una edad de 19 meses, en el primer año se ejecutó mantenimiento (dos coronamientos y una Chapia), mientras que la cobertura vegetal predominante fue pastos Elefante, (*Pennisetum purpureum*) Marandu, (*Brachiaria brizantha*), Dalis, (*Brachiaria decumbens*) y cortadera (*Cyperus osculentus*). El rastrojo (arbustos-malezas), compuesto por varias especies de arbustos entre los principales son: Rumipanga (*Piper sp.*), Toquilla (*Carludovica palmata*), Canilla de vendado (*Citharexylum sp.*), Bejuco (*Pueraria sp.*), Matico (*Piper sp.*), Ortiga (*Urtica sp.*), Pigue (*Piptocoma discolor*), Amarillo (*Miconia sp.*) y Lechero (*Ficus sp.*).

Los datos de esta investigación fueron colectados a los 11 meses después de realizada la primera Chapia, (previo a realizar una segunda chapia). Al momento de la toma de datos,

los pastos alcanzaban un promedio de altura de 1,20 m. y el rastrojo de 2,50 m. (Figura 2).

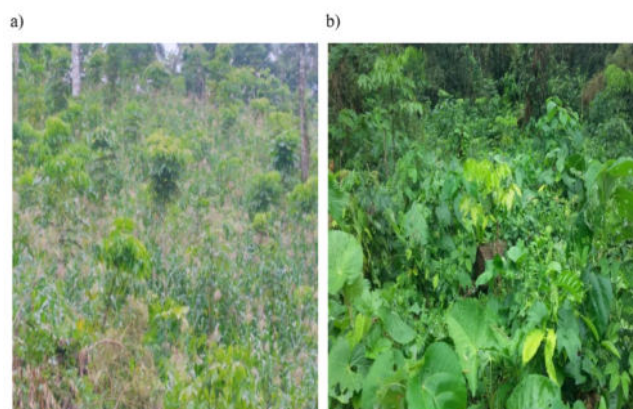


Fig. 2: a) Vista de la cobertura de pastos. b) Vista de la cobertura de rastrojo

Se evaluó la cantidad de biomasa que se pierde en una de las actividades de mantenimiento que se denomina chapia (limpieza total de malezas misma que se deja dispersa en la toda el área). Para lo cual, se realizó la medición directa con técnica de cosecha destructiva, que consistió en la toma y peso de una muestra de materia verde y la toma de submuestras para obtener el peso de la materia seca en laboratorio (Andrade C., 2014).

La investigación siguió los siguientes pasos:

■ Selección de los sitios de muestreo

La plantación tiene una superficie de 197 ha., distribuidas en 4 bloques en los cuales se seleccionaron dos áreas: una de 15 hectáreas con cobertura vegetal más homogénea de pastos y otra de 40 hectáreas en rastrojo, en cada área seleccionada se tomaron 15 muestras distribuidas al azar. (Figura 3).

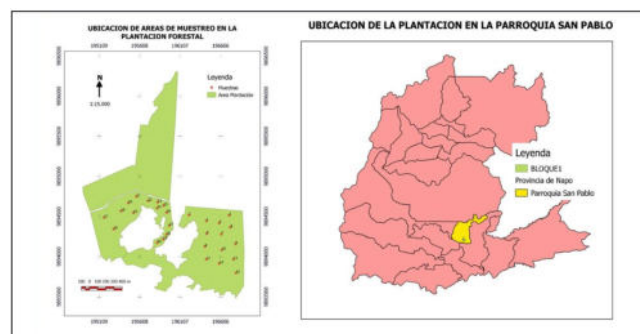


Fig. 3: Ubicación de sitios de muestreo

■ Toma de muestras y pesaje de materia verde

Se consideraron dos tipos de cobertura que predominan en la plantación forestal, en subparcelas de 0,25 m² y se tomaron 15 muestras por cada cobertura (pastos y rastrojo). En total se levantó información en campo de 30 muestras de materia verde y de cada muestra se tomó una submuestra para obtener el peso seco en laboratorio y posteriormente determinar la biomasa que se pierde por las actividades de mantenimiento. (Andrade C., 2014). Para esto se colectó toda la biomasa verde disponible sobre el suelo en un marco de 0,50 m x 0,50 m,

empleando tijeras y machetes hasta el ras del suelo (tal como queda después de realizar una chapia), se registró el peso total de cada muestra verde proveniente de pastos y rastrosos, en una balanza graduada en gramos (0,10 kg), se tomó una submuestra que fue empacada en bolsas plásticas impermeables.

■ Determinación del peso seco

El secado se lo realizó en una estufa marca MEMMERT DINEN60525-IP20; Type UNB500 de 50/60 Hz 2000w, en el laboratorio de Biología del Colegio San José de la ciudad del Tena; hasta obtener un peso constante, para las muestras de pastos se trabajó a una temperatura de 70°C por un tiempo de 23 horas. Para el caso de las muestras de rastrojo, se necesitó de 100 °C por un tiempo de 20 horas para cada muestra, hasta conseguir el peso seco constante (Timoteo, 2016).

Las diferencias en el tiempo de secado entre pastos y arbustos leñosos se deben principalmente a la composición y estructura de los tejidos de estas plantas. Los pastos tienen una estructura celular menos densa y una mayor proporción de tejido parenquimatoso, lo que facilita la evaporación del agua. En cambio, los arbustos leñosos poseen tejidos más densos y lignificados (con alto contenido de lignina), que retienen más agua y requieren más tiempo para secarse completamente (González, 2008).

■ Estimación de la biomasa

Con los valores obtenidos de peso seco por muestra, se obtuvo los promedios de cada cobertura (pastos y rastrojo), el peso seco corresponde a la biomasa que se pierde por cada cobertura evaluada, posteriormente se procedió a extrapolar los valores de peso seco obtenidos por muestra a kilogramos por hectárea (Jara, 2000).

■ Interpretación y análisis estadístico

La información fue analizada e interpretada por medio de estadística descriptiva, se compararon los datos obtenidos de las diferentes muestras, para obtener una media de la cantidad de biomasa seca por cada tipo de cobertura vegetal investigada.

RESULTADOS

Pérdida total de biomasa por actividad:

Luego de la actividad de mantenimiento de Chapia en cobertura de pastos, se obtuvo que el peso seco corresponde al 53 % del peso verde, mientras en cobertura de rastrojo el peso seco fue de 40,5% del peso verde. (Figura 4).

La pérdida total de biomasa al ejecutar la Chapia en la plantación forestal de Chunchu en el sector de El Para, es de 20.631,54 kg/ha/chapia, en cobertura de pastos y en cobertura de rastrojo de 27.577,83 kg/ha/chapia (Tabla 1).

Si consideramos que el coronamiento consiste en realizar mangas de aproximadamente 1,20 m de ancho, en cada línea de la plantación, se afecta una superficie de 3000 m²/ha que corresponde al 30% de afectación de una chapia. Con este análisis, la biomasa que se pierde en esta actividad es de 6.189,46 kg/ha/coronamiento en cobertura de pastos. En cobertura de rastrojo la biomasa que se pierde es de 4.136,67

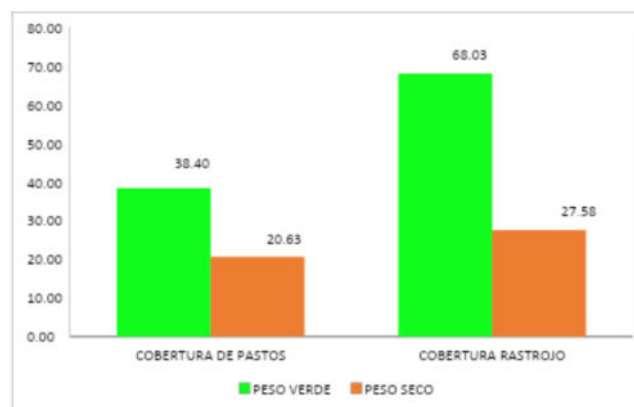


Fig. 4: Promedio de peso seco y peso verde por tipo de cobertura en ton/ha/chapia

kg/ha/coronamiento, corresponde al 15% de la biomasa que se pierde en la Chapia ya que los arbustos y otras especies leñosas, no crecen tan rápido como los pastos y los coronamientos se realizan cada 4 meses, (Tabla 1).

Tomando en consideración que se realiza tres intervenciones de mantenimiento en el año (2 coronamientos y una chapia), la biomasa total que se pierde por año en la cobertura de pastos es de 33.010,46 kg/ha/año y en rastrojo es de 35.851,18 kg/ha/año. Tabla 1.

Tabla 1: Pérdida de biomasa, en actividades de mantenimiento de plantaciones forestales, en cobertura de pastos y rastrosos.

Actividad	Pastos (t/ha/Actividad)	Rastrojo (t/ha/Actividad)
Chapia	20,63	27,58
Corona 1	6,19	4,14
Corona 2	6,19	4,14
Total año t/ha	33,01	35,85

Elaborado por el Autor (2016)

La pérdida de biomasa depende del área afectada por las actividades de mantenimiento, del tipo de cobertura y del período de intervención, para el caso de la plantación de chunchu, se planificó realizar dos coronamientos (mangas) y una chapia cada año con intervalos de intervención cada 4 meses, durante los primeros 4 años (Paspuel, 2013). Mientras que El crecimiento de malezas depende del tipo de suelos; en suelos planos y profundos las malezas crecen más rápido, sin embargo, en la presente investigación se consideró la distribución de muestras en zonas planas y representativas de la plantación.

DISCUSIÓN

En la Plantación Forestal de Chunchu, ubicada en el sector de El Para, cantón Archidona, se planificó ejecutar tres actividades de mantenimiento, dos coronamientos y una chapia por año durante los cuatro primeros años (Paspuel, 2015). Considerando estas actividades, la pérdida promedio de biomasa por año es de 33.01 t/ha/año en cobertura de pastos y de 35.85 t/ha/año en cobertura de rastrojo, tomando en cuenta realizar dos coronamientos (mangas) y una Chapia por año. De estos valores el 63% corresponde a las actividades de chapia

en cobertura de pastos, mientras que en cobertura de rastrojo corresponde a 77 %.

Según (Hilario, 2014), en varios experimentos realizados en Alto de Mayo Colombia, sitio con características similares a la zona de estudio, menciona que la producción de pastos con soporte al pisoteo, sin fertilización y ciclos de consumo al cuarto mes, se registra una producción de materia seca en pastos tropicales (*Brachiaria dictyoneura*) de 15 a 25 ton./ha./año, en *B. humidicola*, se registra una producción de materia seca de 25 a 30 t/ha. Por lo que los valores resultados del presente estudio están similares.

Si analizamos en términos de carbono, en promedio se pierde 16,5 ton/ha/año en cobertura de pastos y 17,9 ton/ha/año en rastrojo, de estos valores se desconoce cuánto se libera y cuánto se incorpora al suelo como materia orgánica.

Entre una de las medidas para mitigar el cambio climático consta la fijación de carbono por medio de actividades forestales, implementando nuevos ecosistemas forestales con la finalidad de capturar CO₂ ambiental y mantenerlo en la biomasa de las plantaciones establecidas. No obstante, no se consideran las pérdidas de biomasa en el crecimiento inicial de la plantación (Aguirre, 2002).

Los resultados de pérdida de biomasa concuerdan, con (Bendezú, 2021), quien manifiesta que la postergación de la edad de corta y la reducción de las intervenciones en mantenimientos, favorecen la producción de biomasa aérea y la fijación de carbono.

Bajo este contexto, es necesario, generar información del incremento de la biomasa ocurrida por el crecimiento inicial de la plantación para comparar y observar si se compensa con las pérdidas de la biomasa causada por las actividades de mantenimiento. Así mismo conocer qué cantidad de biomasa se libera y que porcentaje de biomasa se incorpora al suelo como materia orgánica, como aporte al crecimiento de la plantación. Se recomienda investigar el potencial de recuperación y uso de la biomasa que se pierde cada vez que se realiza las prácticas de mantenimiento de las plantaciones, especialmente en los pastizales.

CONCLUSIONES

Las actividades de mantenimiento en plantaciones forestales, son inevitables ya que el crecimiento acelerado de las malezas afecta en la sobrevivencia de la especie y se hace necesario hacer mantenimiento al menos los cuatro primeros años, tiempo en el cual, se estima que la especie *Cedrelinga cateniformis*, alcanza un promedio de 7 m. de altura total.

La biomasa que se pierde al realizar una actividad de mantenimiento (Chapia) en cobertura de pastos es del 53 % del peso verde. Mientras en cobertura de rastrojo el peso seco corresponde al 41 % del peso verde. Figura 1.

En la ejecución de las actividades de mantenimiento de la plantación de *Cedrelinga cateniformis*, durante un año, se ejecutaron dos coronamientos y una chapia, en los cuales se pierde, 33,01 t/ha/año en cobertura de pastos y 35,85 t/ha/año en cobertura de rastrojos.

La pérdida de biomasa en la ejecución de un coronamiento corresponde al 30 % de la biomasa que se pierde en la ejecución de una Chapia en cobertura de pastos. Mientras que en la cobertura de rastrojo la biomasa que se pierde en un co-

ronamiento es del 15 % de la biomasa que se pierde en una chapia.

AGRADECIMIENTOS

A BALCAOSA S.A propietarios de la plantación forestal con fines comerciales, quienes apoyaron realizar la presente investigación.

Al Colegio San José en su nombre el Lic. Bruno Castro responsable de laboratorio de Biología por su apoyo decidido en el secado y pesaje de muestras.

Al Ing. Hernán J. Andrade PhD, Profesor de la Universidad del Tolima, coordinador e instructor del Curso Internacional “herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra” por su apoyo decidido en el asesoramiento y orientación para culminar con éxito la presente investigación.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Corporación Financiera Nacional (CFN), BALCAOSA S.A. y el Autor como operador forestal (OF-0067-2013-SPF-MAGAP), en el marco de la ejecución del proyecto de reforestación con fines comerciales.

REFERENCIAS

- Aguirre, N. (2002). *Guía para monitorear la biomasa y dinámica de carbono relacionado a las actividades forestales en el Ecuador*. Quito: Corporación ECOPAR. (Ecopar)
- Andrade C., H. J. (2014). *Desarrollo de modelos alométricos para volumen de madera, biomasa y carbono en especies leñosas perennes*. Ibagué: Universidad de Tolima.
- Bendezú, Y. (2021). *Modelos alométricos para estimar la biomasa aérea en plantaciones forestales con especies nativas en selva baja*. Pucallpa, Perú: Ministerio de Desarrollo y Riego, INIA. (INIA)
- González, M. E. (2008). *La biomasa: teoría y práctica*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Hilario, E. P. (2014). *Pastos y forrajes tropicales introducidos y experimentados en el alto de mayo*. Descargado de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/pastos-forrajes-tropicales-introducidos-t30925.htm> (Engormix)
- IPCC. (2015). *Cambio climático 2014, informe de síntesis*. (Intergovernmental Panel on Climate Change)
- Jara, L. F. (2000). Metodología para la estimación de carbono en plantaciones jóvenes en el Ecuador. *IUFRO, Revista Forestal Iberoamericana*, 1.
- MAGAP. (2015). *Guía para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales* (Vol. 1). Quito.
- Paspuel, T. A. (2013). *Establecimiento y manejo de una plantación forestal con fines comerciales, en la propiedad de la compañía balcaosa s.a.* Archidona. (Ficha técnica, Preparada para la CFN, por mandato de BALCAOSA S. A.)
- Paspuel, T. A. (2015). *Informe de monitoreo de la plantación forestal de chuncho y melina, ubicada en el predio sacha yacu del cantón archidona*. Archidona, Napo.
- Rodríguez, B. M., y Mance, H. (2009). *Cambio climático: Lo que esta en juego*. Bogotá.

Timoteo, K. R.-D.-S. (2016). *Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de huánuco*. Tingo María, Perú: IIAP.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Toma de muestras en cobertura de pastos



Toma de muestras en cobertura de rastrojos.

Efecto de diferentes condiciones de deshidratación en la calidad organoléptica de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*)

Effect of different dehydration conditions on the organoleptic quality of jicama (Smallanthus sonchifolius)

Jennifer Patiño-Armijos^{1,*} and Wilson Chalco-Sandoval²

¹ Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovable, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; japatinoa@unl.edu.ec

² Carrera de ingeniería agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovable, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; wilson.chalco@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: japatinoa@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 21/02/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 12/12/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—La jícama es un cultivo que posee alto contenido nutricional, sin embargo, con el paso del tiempo su uso se ha desvalorizado por desconocimiento. En este contexto, se realizó la presente investigación con el objetivo de revalorizar la jícama mediante la elaboración de un subproducto deshidratado. Para esto, se obtuvo la materia prima en las fincas de la parroquia San Lucas pertenecientes a la Red Agroecológica de Loja, a continuación, las muestras se deshidrataron, empleando 3 temperaturas 50, 55 y 60 °C y 3 tiempos 10, 12 y 14 horas. Para el análisis de datos se aplicó el diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo bifactorial de 3 x 3. Las condiciones óptimas de deshidratación de la jícama se obtuvieron a partir del análisis organoléptico, el cual fue realizado por 9 panelistas, empleando una escala hedónica de 5 puntos; además, se determinó el contenido nutricional del subproducto de jícama con mejor aceptabilidad. Los resultados evidenciaron que el tratamiento 6 fue el que obtuvo las mayores calificaciones en: color 4,56; sabor 4,78; textura 4,78 y aceptabilidad 4,44. Con estos resultados se establece que la temperatura y el tiempo óptimo de deshidratación fueron 60 °C y 14 h, respectivamente. Además, el análisis nutricional permitió determinar que la jícama deshidratada es rica en carbohidratos, fibra, potasio, fósforo, calcio y vitamina C; convirtiéndose en una alternativa nutricional, que contribuye a la soberanía alimentaria, y permite mejorar la economía de los agricultores.

Palabras clave—Análisis organoléptico, deshidratación, escala hedónica, temperatura, tiempo.

Abstract—Jicama is a crop with high nutritional content; however, with the passage of time its use has been devalued due to lack of knowledge. In this context, this research was carried out with the objective of revaluing jicama through the production of a dehydrated by-product. For this, the raw material was obtained from the farms of the San Lucas parish belonging to the Agroecological Network of Loja, then the samples were dehydrated, using 3 temperatures 50, 55 and 60 °C and 3 times 10, 12 and 14 hours. For data analysis, the completely randomized experimental design (DCA) was applied with a 3 x 3 bifactorial arrangement. The optimal dehydration conditions of jicama were obtained from the organoleptic analysis, which was carried out by 9 panelists, using a 5-point hedonic scale; In addition, the nutritional content of the jicama byproduct with the best acceptability was determined. The results showed that treatment 6 was the one that obtained the highest scores in: color 4.56; taste 4.78; texture 4.78 and acceptability 4.44. These results establish that the optimal dehydration temperature and time were 60 °C and 14 h, respectively. In addition, the nutritional analysis allowed us to determine that dehydrated jicama is rich in carbohydrates, fiber, potassium, phosphorus, calcium and vitamin C; becoming a nutritional alternative, which contributes to food sovereignty, and improves the economy of farmers.

Keywords—Organoleptic analysis, dehydration, hedonic scale, temperature, time.

INTRODUCCIÓN

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*) también conocida como nabo mexicano, pelenga o yacón es una herbácea de la familia de las asteráceas, de 1 a 3 metros de alto (Lachman et al., 2003). La planta es originaria de Méxi-

co y actualmente es cultivada en Indonesia, Centroamérica, y América del Sur en países como Brasil, Perú y Ecuador (Arrobo, 2013). En Ecuador el cultivo de jícama se produce de forma silvestre en la región interandina, principalmente en las provincias de Loja, Azuay, Cañar, Bolívar, Chimborazo, Pichincha y Carchi (Mejía, 2017).

La jícama es un alimento perecedero debido a su alto contenido de agua; en este contexto, la deshidratación es una de las principales técnicas empleadas para alargar la vida útil de los alimentos (Marín B *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2014). La jícama posee un importante valor nutricional, es rica en potasio, calcio, fósforo y vitamina C, con contenidos de 334, 34, 12 y 15 mg/100 g, respectivamente; así mismo, posee una azúcar denominada inulina, la cual no es digerida por el organismo de la persona, por lo cual, se recomienda su consumo para personas con enfermedades como diabetes y obesidad; adicionalmente presenta propiedades prebióticas, debido a que promueve el crecimiento de bacterias benéficas presentes en el colon (Alvarez *et al.*, 2008; Lachman *et al.*, 2003). Sin embargo, pese a su alto valor nutricional, la jícama está desvalorizada, a tal punto que se considera en peligro de extinción (Arrobo, 2013).

Considerando lo antes mencionado la jícama presenta características idóneas para ser industrializada; sin embargo, existen pocos productos elaborados a partir de este tubérculo (Rascón *et al.*, 2016). En este contexto es necesario buscar nuevas alternativas para la industrialización de la jícama, como es la deshidratación (Ortiz *et al.*, 2014). Sin embargo, para obtener productos de deshidratados de buena calidad es necesario conocer los parámetros adecuados de deshidratación, que permitan preservar la calidad sensorial del alimento (Marín B *et al.*, 2006). Es por ello que, debido a la escasa información en cuanto a la aplicación de esta técnica en la jícama se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar las condiciones óptimas de deshidratación de la jícama en base al análisis organoléptico; además, determinar la calidad nutricional de la jícama deshidratada con mejor aceptabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y material vegetal

El material vegetal se obtuvo en la parroquia San Lucas de la ciudad de Loja (Fig. 1), la cual se encuentra ubicada a 55 km de la ciudad de Loja, a una altura de 2.800 m.s.n.m. y presenta un clima templado frío (Andrade, 2019). Para la recolección de la jícama se tomó en cuenta el estado de madurez de la misma, el cual es a los 10 meses después de la siembra tal como lo establece Gavilánez y Lara (2017). Se adquirió un total de 10 kg de jícama fresca.

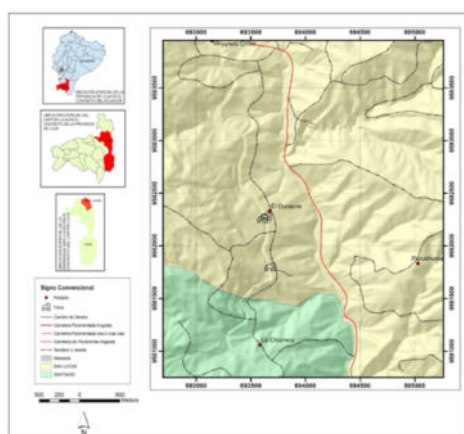


Fig. 1: Mapa de la parroquia San Lucas de la ciudad de Loja.

Manejo poscosecha de la jícama

Una vez obtenida la materia prima se realizó el manejo poscosecha (Fig. 2) considerando las siguientes etapas: recepción de la materia prima y selección de tubérculos sanos y enteros, con pesos que oscilen de 0,2 a 0,4 kg, lo cual se realizó con una balanza digital marca kitchen scale con capacidad de 1 a 10 000 gramos, el lavado empleando agua potable con la finalidad de eliminar la tierra e impurezas, pelado y cortado del tubérculo en rebanadas de 2 mm de espesor, deshidratación por aire caliente usando el deshidratador marca Klarstein Florida Jerky con rangos temperatura de 0 a 75°C; a continuación, se empaquetó en fundas de polipropileno HG 3X4.



Fig. 2: Diagrama del proceso de obtención de la jícama deshidratada.

Diseño experimental y tratamientos

Se aplicó un diseño experimental bifactorial, completamente al azar (DCA), donde se evaluaron 9 tratamientos de deshidratación compuestos por dos factores (Tabla 1). El factor A corresponde a la temperatura de deshidratación (50, 55 y 60 °C) y el factor B corresponde al tiempo de deshidratación (12, 13 y 14 horas). Se consideró como unidad experimental 5 gramos de jícama deshidratada.

Tabla 1: Tratamientos de deshidratación aplicados a la jícama.

Tratamientos	FACTOR A	FACTOR B
	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
T1	50	12
T2	50	13
T3	50	14
T4	55	12
T5	55	13
T6	55	14
T7	60	12
T8	60	13
T9	60	14

Análisis organoléptico

El análisis organoléptico se aplicó a los 9 tratamientos, donde se evaluaron las siguientes variables: color, sabor, textura y aceptabilidad. Para las variables evaluadas se empleó

una escala hedónica de 5 puntos como lo establece Watts *et al.*. Las muestras del subproducto de jícama bajo los diferentes tratamientos se analizaron por 9 panelistas, a cada persona se le proporcionara 5 g de cada muestra debidamente etiquetadas.

A partir de establecer el tratamiento con mejor aceptabilidad se realizó el análisis nutricional en el cual se determinó los contenidos de: humedad, proteína y cenizas según los protocolos establecidos por las normas AOAC 968.11, 991.20 y 920.93, respectivamente, la determinación de carbohidratos se realizó mediante calculo proximal, fibra por gravimetría siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTE INEN-ISO 6865, calcio con el método APHA 3500 CA B (MOD), potasio por espectrofotometría según el método 3111B-K, fósforo de acuerdo a la norma INEN ISO 13730 y vitamina C empleando el método yodométrico.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico, se empleó el software Infostat, mediante el cual se realizó el análisis de varianza (ANOVA) a todas las variables evaluadas; además, se determinó las diferencias estadísticas entre tratamientos mediante la prueba de comparaciones múltiples Tukey con un nivel de significancia del 0.05 %.

RESULTADOS

Análisis organoléptico

En el análisis organoléptico de la jícama deshidratada que se presenta en la Tabla 2 se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos para el atributo color; siendo, el T6 (temperatura 55 °C y tiempo 14 horas) el que obtuvo las más altas calificaciones según la percepción de los catadores. Mientras que el tratamiento T1 y T3 obtuvieron las valoraciones más bajas con respecto a la escala hedónica de 5 puntos.

Con respecto al color se puede evidenciar que la temperatura de 55 °C y tiempo de 14 horas (T6) influyen significativamente en el sabor de la jícama deshidratada de acuerdo al criterio de los panelistas debido a que existe diferencias estadísticas significativas (P-valor <0,05), entre el tratamiento T6 y los demás tratamientos.

Así mismo, en la variable textura existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, esto evidencia las variaciones existentes en cuanto a la textura. Tal es el caso que a medida que aumenta la temperatura de 50 a 55 °C, el alimento tiende a obtener mejores calificaciones; sin embargo, cuando se emplea la temperatura superior 60 °C la valoración tiende a disminuir.

En cuanto a la variable aceptabilidad se identificó 4 grupos homogéneos (a, b, bc y c); el grado de aceptabilidad de los tratamientos estuvo influenciado por las calificaciones obtenidas en los atributos sabor y textura. El tratamiento con mayor aceptabilidad fue el T6 mientras que el menos aceptable fue el T1 (Tabla 2).

Tabla 2: Análisis organoléptico de la jícama bajo diferentes tratamientos de temperatura y tiempo de deshidratación.

Tratamiento	Atributos			
	Color	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T1	2,44 c	3,44 b	2,11 e	2,22 c
T2	2,56 c	3,67 b	2,22 e	2,89 bc
T3	2,44 c	3,56 b	2,89 de	3 bc
T4	2,56 c	3,67 b	2,22 e	2,89 bc
T5	3,33 bc	3,56 b	3,44 cd	3,11 bc
T6	4,56 a	4,78 a	4,78 a	4,44 a
T7	3,67 ab	3,56 b	3,44 cd	3,22 bc
T8	4,11 ab	3,78 b	3,89 bc	3,33 b
T9	4,33 a	3,44 b	4,56 ab	3 bc

a-e: Medias con distinta letra dentro de la misma columna, indica que difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Análisis nutricional del tratamiento con mejor aceptabilidad

En la Tabla 3 se puede observar los resultados que se obtuvo en el análisis nutricional de la jícama deshidratada empleando una temperatura de 55 °C durante 14 horas. El mismo muestra un alto contenido en cuanto a carbohidratos, fibra, potasio, fósforo, calcio y vitamina C.

Tabla 3: Análisis nutricional del subproducto de jícama.

Parámetro	Valor
Humedad (%)	4,998
Carbohidratos totales (%)	86,608
Fibra (%)	4,194
Proteína (%)	1,738
Grasa (%)	0,252
Cenizas (%)	2,210
Potasio (mg/100g)	214,040
Fósforo (mg/100g)	49,000
Calcio (mg/100g)	10,000
Vitamina C (mg/100g)	50,000

En la Tabla 4 se muestra que el aporte de calórico esta dado por el contenido de carbohidratos, proteínas y fibras; siendo los hidratos de carbono los que aportan la mayor cantidad de calorías, sin embargo; 100 gramos de jícama deshidratada aportan 355,65 calorías.

Tabla 4: Aporte calórico de 100 g de jícama deshidratada.

Macronutrientes	Valor (g)	Aporte de cal/g	Aporte calórico total
Carbohidratos totales	86,608	4	346,432
Proteína	1,738	4	6,952
Grasa	0,252	9	2,268
Total cal/100g			355,652

DISCUSIÓN

Análisis organoléptico

Las variaciones en el color muestran el siguiente comportamiento, a medida que se incrementan los tiempos y temperaturas de deshidratación las calificaciones del atributo color son mejores, excepto en el tratamiento 9. Esto podría deberse a que a medida que pasa el tiempo el deshidratado adquiere su color característico (pasando de amarillo pálido a amarillo semioscuro). Arias(2016) y Ramos(2016), mencionan que la aplicación de calor en el proceso de secado ocasiona que los pigmentos carotenos experimenten cambios químicos. Mientras que, la disminución en el promedio del color del T9 se lo atribuye a que altas temperaturas empleadas en la deshidratación con el afán de acelerar el proceso, ocasionando la destrucción de las vitaminas lo cual produce la pérdida de color (Ramos, 2016).

Respecto al sabor se evidencia que los tratamientos en los que se empleó temperatura y tiempos inferiores a las del T6 (55 °C y 14 horas) obtuvieron menores calificaciones. Según Rodríguez(2017), esto se debe a que el sabor del alimento se concentra cuando llega al punto óptimo de deshidratación. Por otro lado, la aplicación de temperaturas superiores a la ideal afecta el sabor del deshidratado. Arias(2016) atribuye este comportamiento a la pérdida de compuestos volátiles como alcoholes, aldehídos, cetona y ésteres; durante la deshidratación a elevadas temperaturas. Así mismo, Gavilánez y Lara(2017) expone que el aumentar la temperatura para acelerar el proceso de deshidratación destruye las vitaminas, lo que ocasiona la pérdida del sabor del alimento.

Los cambios en la textura del deshidratado se deben principalmente a la pérdida de agua durante el proceso de deshidratación, lo cual ocasiona cambios superficiales del alimento como encogimiento y endurecimiento (Arias, 2016). Por otro lado la disminución en la textura lo ocasionan las temperaturas muy elevadas mismas que producen capas impermeables (costras) en la superficie del alimento, evitando que la humedad que estaba emergiendo continúe su curso, interrumpiendo de esa manera el proceso de deshidratación del producto y por lo tanto afectando la textura del mismo (Caicedo, 2017).

Análisis nutricional del tratamiento con mejor aceptabilidad

El contenido de humedad de la jícama deshidratada es de 4,998%; siendo este el parámetro que tuvo más variación con respecto al valor de humedad (90,10%) establecido por la jícama United States Department of Agriculture USDA (2019), para jícama fresca. Esto era de esperarse, pues el objetivo principal de la deshidratación es reducir el contenido de agua del alimento a fin de prevenir el crecimiento y desarrollo de los microorganismos responsables del deterioro del alimento (Fiallos, 2018).

Adicionalmente, al no existir una norma específica del límite de humedad máximo para la jícama deshidratada, se ha tomado como referencia la norma INEN 2996 en la cual se establece los requisitos de productos deshidratados como la zanahoria, zapallo y uvilla. Para efectos de comparación se tomó en cuenta la zanahoria, ya que es el alimento que más se asemeja con el contenido de agua y nutrientes de la jícama. Para la cual se establece que la humedad del deshidratado no debe superar el 6%; por lo tanto, el contenido de humedad de

la jícama de 4,998% cumple con lo establecido por la norma.

Por otro lado, el análisis nutricional permitió determinar los siguientes contenidos de: carbohidratos 86,608%; fibra 4,194%; grasa 0,252% y cenizas 2,210%. Los valores obtenidos presentan similitudes con lo mencionado por Lachman *et al.*(2003), quienes establecen valores para carbohidratos en un rango de 88 a 93,2%; fibra 3,2 a 4,1%; grasa 0,17 a 0,24% y cenizas 2,5 a 3,2%. Sin embargo, existe una diferencia importante en cuanto a proteína, ya que el autor señala un contenido entre 2,6 a 2,8%, lo que difiere con lo obtenido en esta investigación mismo que es 1,738% de proteína. Así mismo, Gavilánez y Lara (2017) deshidrataron la jícama a 70 °C durante 12 h, en el análisis físico-químico obtuvo un contenido de proteína de 1,99% y cenizas de 3,30%. Por otro lado, Palomino (2019), quien deshidrato la jícama a temperatura de 70 °C durante 75 minutos y realizó el análisis nutricional del tratamiento con mejor aceptabilidad, reportando valores de carbohidratos 81,86%; fibra 2,65%, proteína 3,36%; grasa de 2,29% y cenizas 2,99%; los mismos que difieren con lo encontrado en la presente investigación. Dichas diferencias, se deben principalmente al manejo del cultivo, la variedad de jícama, el estado de madurez, condiciones climáticas y edáficas de la zona de cultivo y método de deshidratación (Greenfield y Southgate, 2006; Pérez, 2013; Valdés, 2006).

Los resultados del contenido de carbohidratos, fibra y grasa permitieron determinar que 100 gramos de jícama deshidratada aportan 355,652 calorías (**Tabla 4**). Tomando en cuenta que la Organización Mundial de la Salud OMS (2018) establece un consumo entre 1,600 a 2,000 calorías al día para las mujeres y entre 2,000 a 2,500 para los hombres, se puede decir que el aporte calórico de la jícama deshidratada en promedio representa un 19,76 y 15,81% del consumo diario para las mujeres y hombres, respectivamente. Considerando que las calorías se traducen a energía, se puede decir que el consumo de jícama deshidratada representa una importante fuente energética, la misma que se requiere para el adecuado desarrollo de funciones como la respiración, circulación, trabajo físico y síntesis de proteínas (Hernández, 2004).

Así mismo, la jícama tiene un alto contenido de fibra 4,19%; calcio 10% y vitamina C 50 mg; en comparación con la papa la cual tiene 1,7% de fibra; 5% de calcio y 14 mg de vitamina C (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO 2019). Se tomó como referencia este alimento debido a que es el tercer alimento más consumido a nivel mundial después del arroz y el trigo, y, es el tubérculo más consumido en el Ecuador (Basantes *et al.*, 2020; FAO, 2022). En este contexto, el consumo de jícama presenta múltiples ventajas nutricionales, por lo cual podría ser un complemento en la dieta alimenticia; además, presenta propiedades medicinales, tales como: contribuye a la prevención de la diabetes, desórdenes gastrointestinales, enfermedades cardiovasculares y facilita el proceso de digestión, previniendo así el cáncer de colon debido a su importante contenido de fibra (Almeida-Alvarado *et al.*, 2014; Valdés, 2006). Además, la jícama podría favorecer la formación de huesos, cartílagos, dientes gracias a su alto contenido de calcio y vitamina C (Valdés, 2006).

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis organoléptico las condiciones óptimas de deshidratación de la jícama son a temperatura de 55 °C durante 14 horas, bajo estas condiciones la jícama adquiere las mejores características de calidad organoléptica; es decir, se obtienen un producto deshidratado de color amarillo semioscuro, sabor dulce y textura crujiente.

La jícama deshidratada tiene un importante valor nutricional principalmente en carbohidratos 86,61 %, fibra 4,20 %, potasio y vitamina C 214 y 50 mg/100g, respectivamente.

La jícama deshidratada tiene un importante valor nutricional principalmente en carbohidratos, fibra, proteína y vitamina C; por lo cual, tiene el potencial para convertirse en una alternativa de consumo, con alto valor nutritivo, fácil manejo y aceptación; además, puede contribuir a la soberanía alimentaria y a mejorar la economía de los agricultores.

AGRADECIMIENTOS

A los productores de jícama de la parroquia San Lucas, por la predisposición al momento de proveer la materia prima para el desarrollo de la investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: JPA; metodología: JPA y WCS; análisis formal: JPA y WCS; recursos: JPA y WCS; curación de datos: JPA; redacción — preparación del borrador original: JPA; redacción — revisión y edición: JPA y WCS; visualización: JPA y WCS; supervisión: JPA y WCS. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Jennifer Patiño-Armijos: JPA. Wilson Chalco-Sandoval: WCS

FINANCIAMIENTO

REFERENCIAS

Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López, T., y Hervet-Hernández, D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27(1), 73–76.

Alvarez, P. P., Jurado, B., Calixto, M., Incio, N., y Silva, J. (2008). Prebiótico inulina/oligofructosa en la raíz del yacón (*smallanthus sonchifolius*), fitoquímica y estandarización como base de estudios preclínicos y clínicos. *Revista de Gastroenterología del Perú*, 28(1), 22–27.

Andrade, M. (2019). *Estudio técnico económico para la creación de una planta productora de jícama deshidratada en la ciudad de guayaquil* (Tesis Doctoral, Universidad de Guayaquil). Descargado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/44990/1/ESTUDIO%20T%20C%20CNICO%20ECON%20C%20MICO%20PARA%20LA%20CREACI%20C%20N%20DE%20UNA%20PLANTA%20PRODUCTORA%20DE%20J%20C%208DCAMA%20DESHIDRATADA%20EN%20LA%20CIUDAD%20DE%20GUAYAQUIL.pdf>

Arias, R. A. (2016). *Deshidratación de jícama smallanthus sonchifolius para obtención de hojuelas* (Tesis Doctoral, Universidad Técnica del Norte). Descargado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5642/2/ARTICULO.pdf>

Arrobo, J. (2013). La fruta de jícama una alternativa de nutrición y salud. *Yachana Revista Científica*, 2(2), Article 2. doi: 10.1234/yach.v2i2.48

Basantes, T., Albuja, L., Aragón, J., y Vázquez, L. (2020). Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (*solanum tuberosum* L.) en la zona 1 del Ecuador e-agronegocios. *Revista e-Agronegocios*, 6(2). Descargado de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/5103>

Caicedo, D. G. (2017). *Efectos del proceso de secado e índice de madurez sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de láminas de carambola averrhoa carambola* (Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Ibarra). Descargado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6778/2/ARTICULO.pdf>

FAO. (2019). *Infodocs: Bases de datos fao/infodocs de composición de alimentos*. Descargado de <https://www.fao.org/3/ca7779b/CA7779B.PDF>

FAO. (2022). *Duplicar la producción mundial de papa en 10 años es posible*. Descargado de <https://www.fao.org/newsroom/detail/doubling-global-potato-production-in-10-years-is-possible/es>

Fiallos, T. G. (2018). *Efecto de la utilización de antioxidantes en la producción de un pulverizado a partir de jícama (smallanthus sonchifolius) para la empresa huikundo sa* (Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Ambato). Descargado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28390/1/AL%20684.pdf>

Gavilánez, S. M., y Lara, K. G. (2017). *Deshidratación osmótica de la jícama (smallanthus sonchifolius)* (Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Cotopaxi). Descargado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4199/1/UTC-PC-000106.pdf>

Greenfield, H., y Southgate, A. (2006). *Datos de composición de alimentos: Obtención, gestión y utilización*. Food Agriculture Org.

Hernández, M. (2004). Recomendaciones nutricionales para el ser humano: Actualización. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 23(4), 266–292.

Lachman, J., Fernández, E. C., y Orsák, M. (2003). Yacón [*smallanthus sonchifolia* (poepp. et endl.) h. robinson] chemical composition and use—a review. *Plant, Soil and Environment*, 49(6), 283–290. doi: 10.17221/4126-PSE

Marín B, E., Lemus M, R., Flores M, V., y Vega G, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527–538. doi: 10.4067/S0717-75182006000500009

Mejía, F. (2017). Formulación y elaboración de productos de panificación con yacón (*smallanthus sonchifolius*) como endulzante, para la población con deficiencias en el metabolismo de los disacáridos. *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 127–139. doi: 10.22490/25394088.2259

Ortiz, A. C., Eligio, M. V., Cervantes, M. E., Xool, J. I., Alavez, J. A., Torres, K. A., y Magaña, W. d. C. (2014). Deshidratación en la jícama: Una forma de darle el valor agregado en el municipio de escárcega, campeche. *Revista de Ciencias*, 15(1), 103–105.

Pérez, R. (2013). Exactitud de las tablas de composición de alimentos en la determinación de nutrientes. *Sanidad Militar*, 69(2), 102–111. doi: 10.4321/S1887-85712013000200008

Ramos, K. E. (2016). *Efecto de la temperatura sobre las características físico-químicas y sensoriales de la jícama smallanthus sonchifolius y oca oxalis tuberosa, durante el proceso de maduración con dos métodos artificiales* (Tesis Doctoral, Universidad Técnica del Norte).

Descargado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5850/1/03%20EIA%20414%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Rascón, L., Ibarra, E., Ramírez, P., Peralta, A., Martínez, J., y Candelas, M. (2016). Cinética de secado, textura y color de jícama (*pachyrhizus erosus*) sometida a diferentes tratamientos de escaldado. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 502–507.

Rodríguez, T. D. R. (2017). *Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las característi-*

cas física, fisicoquímica y nutricional de una variedad de cubio (tropaeolum tuberosum rp) (Tesis Doctoral, Universidad de la Salle). Descargado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1074&context=ing_alimentos

Valdés, S. E. (2006). *Química de los alimentos (cuarta)*. Pearson Educación.

Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L., y Elías, L. (1992). *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*.

Ciclo biológico de *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) en Tuna *Opuntia ficus – indica* bajo condiciones de laboratorio

Life cycle of Diaspis echinocacti (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) in prickly pear cactus *Opuntia ficus - indica* (L) Miller. under laboratory conditions

Guillermo Rogel¹, Marlon Pineda-Escobar^{1,*}, Bayron Cisneros¹ y Esperanza Gia Ajila²

¹ Carrera de Agronomía, Universidad Nacional de Loja, Ciudadela Guillermo Falconí, Loja, Ecuador, jose.rogel@unl.edu.ec, marlon.o.pineda@unl.edu.ec, bayron.cisneros@unl.edu.ec

² Colegio 7 de Septiembre, Ministerio de Educación, Zaruma, El Oro, Ecuador, ezpehellen@gmail.com

* Autor para correspondencia: marlon.o.pineda@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 10/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 22/07/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—En la presente investigación se estudió el ciclo biológico de *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1883) (Hemiptera: Diaspididae) además, de otros parámetros biológicos para la hembra adulta, utilizando como hospedero los cladodios de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), bajo condiciones ambientales en el laboratorio de Ecología del Museo de Entomología Klaus Raven Büller de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), durante las estaciones de invierno $21,5 \pm 1,5$ °C y 70 ± 4 % HR (junio a septiembre de 2018) y otoño 27 ± 2 °C y 80 ± 2 % HR (marzo a junio de 2019). Se realizó una crianza masal, con el fin de obtener un pie de cría puro, que sirvió para dar inicio a las evaluaciones tanto del ciclo biológico como de otros parámetros biológicos, considerando dos repeticiones para cada época del año. La duración del ciclo biológico para las hembras en invierno fue de 53,05 días y para los machos de 51,05 días; en otoño fue de 39,75 días para las hembras y 37,25 días para los machos. Estos resultados reflejan la influencia de la temperatura en el ciclo biológico de *D. echinocacti* en otoño y esto es contrariamente en invierno. En referencia a la evaluación de otros parámetros biológicos para la hembra adulta, se registraron: la capacidad de oviposición con un promedio de 120 ± 30 huevos por hembra; ritmo de oviposición de 2 – 6 huevos/hembra/día y su longevidad de 44,75 días para la época de otoño.

Palabras clave—*Diaspis echinocacti*, tuna, ciclo biológico, factores ambientales.

Abstract—In the present investigation, the biological cycle of *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1883) (Hemiptera: Diaspididae) was studied, in addition to other biological parameters for the adult female, using prickly pear cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*) as host, under environmental conditions in the Ecology laboratory of the Museo de Entomología Klaus Raven Büller of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM); during the winter season 21.5 ± 1.5 °C and 70 ± 4 % RH (June to September 2018) and autumn season 27 ± 2 °C and 80 ± 2 % RH (March to June 2019). A mass rearing was carried out in order to obtain a pure batch breeding that served to start evaluations of both the biological cycle and other biological parameters considering two repetitions for each time of year. The life cycle duration for females in winter was 53.05 days and for males 51.05 days; in autumn it was 39.75 days for females and 37.25 days for males. These results reflect the influence of temperature on the biological cycle of *D. echinocacti* in autumn and this is the opposite in winter. In reference to the evaluation of other biological parameters for adult females, the following were recorded: oviposition capacity with an average of 120 ± 30 eggs per female; Oviposition rate of 2 - 6 eggs / female / day and its longevity of 44.75 days for the autumn season.

Keywords—*Diaspis echinocacti*; prickly pear cactus; biological cycle; environmental factors.

INTRODUCCIÓN

Los diáspidos presentan un gran número de especies que ocasionan daños económicos a una diversidad de plantas cultivadas: frutales, ornamentales y cactáceas. De ahí su importancia en realizar estudios de biología entre otros (Arruda, 1983; De Haro y Claps, 1999). El cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) es un cultivo de gran importancia en los sistemas agro-pastoriles de los Andes Peruanos

y esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país (Amaya, 2009).

En cuanto a su distribución geográfica el Ministerio de Agricultura y Riego (de Agricultura y Riego, 2017), detalla los 16 departamentos que registran áreas de superficie sembradas del cultivo de tuna con respecto al total de los departamentos del Perú. En primer lugar, es Ayacucho con 3425 ha, seguidamente de Arequipa 1853 ha, Huancavelica 1752 ha, Cuzco 1643 ha, y en quinto lugar se sitúa el departamento de

Lima 1541 ha, y otros 3 263 ha.

Entre las plagas asociadas a las cactáceas está la escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) “escama de la tuna” (Oetting, 1984; Arruda, 1983) y *Dactylopius coccus* (Costa, 1835) (Hemiptera: Dactylopiidae) “cochinilla del carmín” (R. Marín, 1991). Como todo diaspidido las ninfas y adultos succionan la savia de los cladodios causando inicialmente clorosis y finalmente la muerte de su hospedero, Santos *et al.* 2006; Cavalcanti *et al.* 2008 por Rhannaldy (2017) (2017).

Según Oetting (1984)(1984), *D. echinocacti*, se reproduce sexualmente y tiene múltiples generaciones superpuestas cada año. El ciclo biológico de (huevo a adulto) a 27 °C fue de 23 días para hembras y 24 días machos. El período total de una generación de (huevo a adulto incluyendo longevidad) fue de 50 días aproximadamente.

Cabe resaltar que la escama de *Hemiberlesia cyanophylli*, tiene similitud al de *D. echinocacti* durante la evaluación en campo y para discriminar se debe realizar micro preparados (Gill, 1997).

Es por este motivo, que debe realizarse investigación en el ciclo biológico para obtener datos y así contribuir a un plan de MIP. Por consiguiente, se tiene pocos trabajos relacionados al ciclo biológico de *Diaspis echinocacti* (Bouché), bajo condiciones de laboratorio en ambientes no controlados de temperatura y humedad relativa para el Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, se desarrolló en el laboratorio de Ecología del Museo de Entomología “Klaus Raven Büller” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), distrito de La Molina, provincia de Lima, departamento de Lima, en dos estaciones del año, cuya fecha de inicio y final son las siguientes respectivamente: época lluviosa (06/06/2018 – 19/09/2018) y época seca 11/03/2019 – 17/06/2019).

■ Metodología de la crianza masiva

Se realizó una crianza masiva con el fin de obtener un pie de cría con cladodios de tuna infestados con escamas colectadas en los predios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) acondicionadas en tápe-res rectangulares (70cm × 18cm × 25cm) cubiertas con tela poliseda para la ventilación. Los huevos fueron colocados en cladodios de tuna (hospedero) en recipientes plásticos previamente esterilizados con hipoclorito de sodio al 10% y mantenidas en condiciones de laboratorio donde se registró temperatura y humedad relativa con un termo registrador, a los treinta días aproximadamente, se obtienen hembras adultas de la escama libres de enemigos naturales y dando inicio al estudio del ciclo biológico (Figura 1).

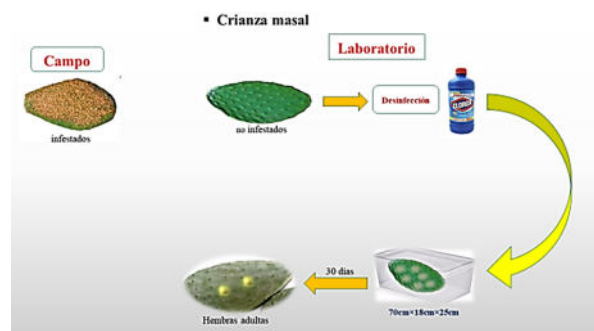


Fig. 1: Representación esquemática de la crianza masal de *D. echinocacti*

■ Metodología para la evaluación del ciclo biológico

Para evaluar el ciclo biológico se seleccionaron al azar cinco hembras ovíparas de la crianza masiva, se levantó la conchuela y trasladaron los huevos recién ovipuestos (coloración blanquecina) con la ayuda de un pincel fino N.º 0,01 a los cladodios (hospedero), obteniendo un total de sesenta huevos en diferentes repeticiones con este valor se evaluaron los tiempos en días transcurridos de la eclosión de huevos y la fase de migrante (ninfa I) obteniendo el promedio en días.

Para evaluar las fases sedentarias (ninfa I), ninfa II, hembra joven y para la hembra adulta se consideraron cincuenta individuos que fueron marcados con un plumón alrededor de su cuerpo, asignándole un número para facilitar las evaluaciones correspondientes a las modificaciones de la morfología externa de cada estadio.

Para la evaluación de otros parámetros biológicos en la hembra adulta, se realizó un marcado de quince individuos (hembras adultas) consignándoles un número para su identificación y posterior evaluación. Para el caso de la capacidad de ovoposición se contabilizó el número total de huevos ovipuestos, así como el ritmo de oviposición se observó y registro diariamente la cantidad de huevos ovipuestos, esta metodología se adoptó por la naturaleza de oviposición de la familia Diaspididae. Finalmente, la longevidad es la suma del tiempo que transcurre desde el inicio de la hembra joven hasta el final de la hembra adulta.

Cabe indicar que para el presente estudio los estados inmaduros desde huevo a adulto cumplen todo su ciclo biológico alimentándose en su hospedero es una característica de la familia Diaspididae.

El dimorfismo sexual que presenta la escama denominada *D. echinocacti*, se aprecia a partir de la culminación del estado de ninfa II. Es por este motivo, que para los machos observamos otros estados de desarrollo como prepupa, pupa y macho adulto, para tal fin se registraron treinta y cinco individuos según lo observado la relación fue de sexos 2:1. Para el caso de prepupa y pupa se evidenciaron los diferentes cambios morfológicos externos para su respectiva evaluación. Asimismo, se realizó previamente el traslado de los estados inmaduros pupas a cajas petri, debidamente acondicionadas, con el propósito de evaluar al macho adulto cuando emerge de su pupa.

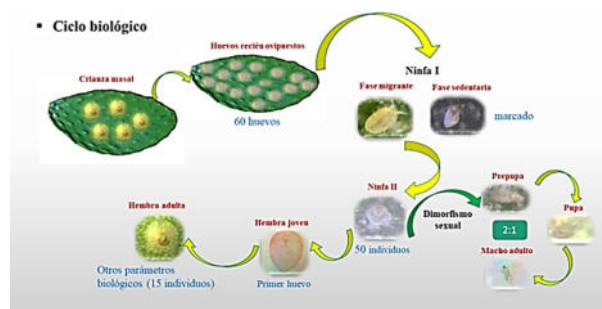


Fig. 2: Representación esquemática del ciclo biológico de *Diaspis echinocacti*.

■ Ciclo biológico

La descripción del estadio de ninfa I tiene dos fases: la primera se denomina migrante o crawlers que son móviles y se desplazan por su hospedero y la segunda fase es sedentaria, en la cual se fijan con sus estiletes al hospedero.

- **Estado de ninfa II:** Comienza por presentar una sobreposición de la exuvia de la ninfa I, estableciendo un incremento en la longitud de la misma y observándose secreciones cerosas, en este estado la escama pierde su movilidad.
- **Hembra joven o pre ovoposición:** Se caracteriza con la finalización de la ninfa II y culmina con la postura del primer huevo. En este estado, se observó que existe una sobreposición de exuvias de la ninfa I y II que adquieren una forma excéntrica. La escama de la hembra joven tiene una coloración blanco grisáceo inicialmente y mantiene este color hasta alcanzar la madurez de la escama, a esta característica se denomina velo ventral o falda.
- **Hembra adulta:** Inicia con la postura del primer huevo y culmina con la oviposición del último huevo. En el presente estado las exuvias de las ninfas I y II adquieren una coloración marrón. Se describe a continuación los estados de individuos machos, sin considerar al periodo de incubación de huevos, ninfa I y ninfa II, que se indicó en el acápite de las hembras por ser muy similares en referencia a sus características.
- **Prepupa.** En su margen anterior las exuvias de la ninfa I y II, adquiriendo una forma ligeramente alargada acompañadas de tres carinas de apariencia tenue.
- **Pupa.** Es el estado subsiguiente de prepupa, adquiere una forma cilíndrica con tres carinas dorsales de las cuales una carina es notoria y dos carinas laterales débiles.
- **Macho adulto.** Adquiere su madurez sexual dentro del pupario del cual emerge por la parte posterior a través del adeagus. El macho es alado y es de vida efímera, con una coloración anaranjada clara y aparato bucal atrofiado.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los valores promedios del ciclo biológico para invierno ($21,5 \pm 1,5$ °C; 70 ± 4 HR %) fueron 53,05 días y 51,55 días para hembra y macho respectivamente y para otoño (27 ± 2 °C; 80 ± 2 HR %) de 39,75 días y 36,75 días para hembra y macho correspondientemente (Tabla 1), estos valores son menores a los obtenidos por Arruda (1983) (1984), Oetting (1984) (1984) y Cabana (2012) (2012) cuya diferencia en días se deba presumiblemente por no considerar otros estados de desarrollo.

Tabla 1: Ciclo biológico de dos generaciones de *Diaspis echinocacti*, bajo condiciones de laboratorio. La Molina, Lima – Perú, 2019.

Estados	Época lluviosa		Época seca	
	T (°C) $21,5 \pm 1,5$; HR (%) 70 ± 4		T (°C) $27 \pm 2,0$; HR (%) 80 ± 2	
Promedios (días)				
Estados	Hembra	Macho	Hembra	Macho
Incubación de huevos	3,8	3,8	2	2
Ninfa I	10,75	10,75	9	9
Ninfa II	12,5	12,5	9	9
Hembra joven	17,5	—	14	—
Hembra adulta	8,5	—	5,75	—
Prepupa	—	10,25	—	6,75
Pupa	—	10,50	—	8,5
Macho adulto	—	3,25	—	2,00
Total del ciclo	53,05	51,05	39,75	37,75
*Capacidad de oviposición	—	—	120 ± 30	—
*Ritmo de oviposición	—	—	2,0 – 6,0 huevos/día	—
*Longevidad	—	—	44,40	—

*Otros parámetros correspondientes a la hembra adulta

■ Período de incubación de huevos

Los resultados obtenidos fueron de 2 días para machos y hembras (Tabla 1) para la época seca, fue menor en comparación con Oetting (1984) (1984) que obtuvo $3,8 \pm 0,7$ días en temperaturas similares (Tabla 2).

■ Estado ninfa I

En nuestro estudio el valor obtenido de 10,75 días para ninfa I (Tabla 1), en condiciones de invierno fue ligeramente mayor al obtenido por Arruda (1983) (1984), en comparación con los dos autores que registraron un valor menor (Tabla 2). En cuanto a las condiciones de otoño el promedio fue de 9,0 días muy similar a los obtenidos por Oetting (1984) y Arruda (1983) (1984) sin embargo, Cabana (2012) (2012) (Tabla 2) registro un valor que difiere con los demás autores esto puede deberse por el valor de la temperatura de su investigación.

■ Ninfa II

El valor obtenido de 12,5 días (Tabla 1) para el estado de desarrollo de ninfa II es ligeramente inferior al registrado por Cabana (2012) (2012), para un mismo rango de temperatura en época de invierno. En cuanto, a la época de otoño el resultado fue de 9,0 días en promedio el cual fue muy cercano al registrado por Oetting (1984) (1984) en condiciones similares de temperatura (Tabla 2), entretanto Arruda (1983) (1984) obtuvo un valor superior de $13,9 \pm 0,3$ días.

En los estudios realizados para *Pinnaspis strachani* por R. F. Marín y Cisneros (1982) (1982), se observó un valor promedio de 09 días a $25 \pm 2,0$ °C en comparación con el valor promedio de 15 días a $16 \pm 1,5$ °C para ninfa II, esta disminución en el tiempo está influenciada por la temperatura. Este resultado concuerda con los datos obtenidos durante la estación de otoño para *D. echinocacti*.

■ Hembra joven o preoviposición

Los resultados encontrados fueron de 14 días (Tabla 1) para el estado de hembra joven a condiciones de $27 \pm 2,0$ (°C) y 80 ± 2 HR (%), resultado semejante al encontrado por Arruda (1983) (1984) quién obtuvo un valor de $13,9 \pm 0,3$ días (Tabla 2) en condiciones ambientales similares. Adicionalmente, en la época de invierno a una temperatura de $21,5 \pm 1,5$ (°C) y 70 ± 4 HR (%), el valor registrado es superior al de Cabana (2012) (2012) por 2,5 días. Estos resultados fueron obtenidos para la escama de la tuna.

■ Hembra adulta

Para las condiciones de la época seca con una temperatura de $27 \pm 2,0$ °C y 80 ± 2 HR, los resultados para las hembras adultas fueron de 5,75 días (Tabla 1) similares a las reportadas por Arruda (1983) (1984) cuyo valor fue de 5,5 días (Tabla 2). En cuanto a la época de invierno con $21,5 \pm 1,5$ °C y 70 ± 4 HR se obtuvo el valor de 8,5 días en promedio.

Por otro lado, el tiempo en días para hembra adulta para *D. echinocacti* en condiciones de otoño se encuentra fuera del rango de temperatura de 25 ± 2 °C y $26,2 \pm 1,5$ °C que fueron realizadas por los autores R. F. Marín y Cisneros (1982) (1982) y Alvarado (2010) (2010) en otros diaspididos de importancia agrícola.

Parámetros biológicos para la hembra

■ Capacidad de oviposición

El valor promedio de 120 ± 30 huevos corresponden a la capacidad de oviposición para la época de otoño con una temperatura de $27 \pm 2,0$ °C y 80 ± 2 HR (Tabla 1), resulta inferior al obtenido por Oetting (1984) (1984) cuyo resultado fue de $150,8 \pm 52,5$ huevos (Tabla 2).

Los valores reportados por R. F. Marín y Cisneros (1982) (1982) y Alvarado (2010) (2010) sobre la capacidad de oviposición en rangos de temperaturas diversas registran valores diferentes que podría ser el resultado del efecto de los hospederos y de las especies en estudio tal como *I. longirostris*, *P. aspidistrae* y *P. strachani*.

Tabla 2: Estudios de ciclos biológicos realizados de *D. echinocacti*, por diferentes autores, indicando la duración y las condiciones ambientales.

Detalle	Días (Hembra)	T°C	HR %	Autores
Período de incubación huevos	3,8 $\pm 0,7$	27.0	–	(Oetting, 1984)
Ninfa I	10,3 $\pm 0,6$	27.13 ± 0.40	75.88 ± 0.81	(Arruda, 1983)
	3,0 – 4,0	21.0	–	(Cabana, 2012)
	9,6 $\pm 0,8$	27.0	–	(Oetting, 1984)
Ninfa II	8,7 $\pm 0,4$	27.13 ± 0.40	75.88 ± 0.81	(Arruda, 1983)
	14.0	21.0	–	(Cabana, 2012)
	10,4 $\pm 1,2$	27.0	–	(Oetting, 1984)
	13,9 $\pm 0,3$	27.3 ± 0.40	–	(Arruda, 1983)
Hembra joven	15.0	21.0	–	Cabana (2012)
Hembra adulta	5.5	27.13 ± 0.40	75.88 ± 0.81	(Arruda, 1983)
Capacidad de oviposición	150,8 $\pm 52,5$	27.0	–	(Oetting, 1984)
Prepupa y pupa	8,1 $\pm 0,7$	27.0	–	(Oetting, 1984)
Total del ciclo	*23,8 $\pm 2,2$	27.0	75.88 ± 0.81	(Oetting, 1984)
	**25,9 $\pm 2,1$	27.0	–	(Oetting, 1984)
	45	21.0	–	(Cabana, 2012)
	*51,4 $\pm 0,7$	27.13 ± 0.40	–	(Arruda, 1983)
Longevidad	76.0	27.0	–	(Oetting, 1984)

*Hembras, **Machos

Esto es concordante con la investigación en *D. echinocacti* que obtuvo un valor de 120 ± 30 huevos que difiere de lo anterior.

■ Ritmo de oviposición:

Durante los cinco primeros días, se observó un incremento del ritmo de oviposición hasta alcanzar el valor máximo registrado el día 5 con 14 huevos ovipuestos promedio por hembra por día, en los siguientes días en adelante la curva no registró incremento significativo, a partir del día 18 se observó una tendencia a la disminución de huevos ovipuestos diariamente registrando un declive a partir de los días 19 hasta finalizar.

En la (Tabla 1), se registró un promedio de 2 – 6 huevos ovipuestos diariamente, asimismo, para otras especies de la familia Diaspididae como *I. longirostris*, *F. fiorinae* y *A. nerii*, se evidencia una curva de un crecimiento gradual del ritmo de oviposición de la hembra adulta hasta alcanzar su potencial y finalmente existe un declive en el número de huevos, el cual difiere en el tiempo para

cada especie en estudio.

■ Longevidad del adulto:

En referencia al valor de la longevidad del adulto hembra para *D. echinocacti* (Tabla 1) resultó inferior al reportado por Oetting (1984) (1984) (Tabla2), ambas investigaciones en condiciones similares de temperatura. Esta evidencia del incremento del número de días se da por la suma de otros estados de desarrollo que consideró Oetting (1984) en su investigación.

Para la evaluación de la longevidad de la hembra adulta los autores Alvarado (2010) (2010) y Elguera (2019) (2019), consideraron la suma de los valores de pre oviposición (hembra joven), oviposición (hembra adulta) y post oviposición (capacidad de oviposición).

■ Ciclo biológico del macho de *D. echinocacti*

Este presenta dimorfismo sexual, el macho es alado y la hembra áptera. En cuanto a los estados de incubación de huevos; ninfa I y ninfa II, de *D. echinocacti* son similares para el macho y hembra, sin embargo, difieren en sus hábitos y otros estados de desarrollo como prepupa, pupa y macho adulto.

Para Oetting (1984) (1984) los valores reportados para los estados del macho (prepupa y pupa) fueron agrupados porque le dificultó la diferenciación durante las evaluaciones (Tabla 2)

■ Prepupa y pupa

Los estados de prepupa y pupa registraron valores superiores en invierno de 10,25 y 10,50 días respectivamente con respecto a otoño cuyos valores son de 6,75 y 8,50 días respectivamente. Este incremento de valores en invierno se debe a las condiciones ambientales presentes ($21,5 \pm 1,5$ °C y 70 ± 4 HR) que condiciona un mayor tiempo en los diferentes estados de desarrollo de un insecto (Tabla 1).

Los resultados obtenidos por Bartra (1976) (1976) y R. F. Marín y Cisneros (1982) (1982) para prepupa y pupa de especies de diaspididos como *A. herediae* y *P. aspidistrae*, *P. strachani* respectivamente, se evidenció el efecto positivo de la temperatura en el tiempo menor de desarrollo de los estados, contrariamente a una disminución de la sensación térmica que incrementa el tiempo de desarrollo. Es decir, existe una similitud de comportamiento de *D. echinocacti* con los otros diaspididos evaluados por otros autores.

■ Macho adulto

Rogel (2009) (2009) registro un valor de 1,6 días para *D. boisduvalli* el cual es ligeramente inferior a *D. echinocacti* que fue de 2,0 días (Tabla 1) en condiciones similares de temperatura a 27 °C, esta margen de diferencia se presume por ser dos especies del mismo género en hospederos diferentes.

Sin embargo, R. F. Marín y Cisneros (1982) (1982), determinaron que el tiempo de vida del macho en días promedio para *P. aspidistrae* y *P. strachani*, en condiciones de temperatura diferentes de $16 \pm 1,5$ °C y 85 ± 3 % HR

y 25 ± 2 °C y 60 ± 10 % HR, fue muy similar en rangos de 1 y 0,8 días respectivamente. Para la presente investigación de la escama de tuna, hubo una diferencia significativa ya que se incrementó el tiempo del macho adulto en la época de invierno que fue de 3,8 días en promedio a $21,5 \pm 1,5$ °C; HR % 70 ± 4 , debido a que la especie estudiada fue más longeva posiblemente por las características fisiológicas y el hospedero que fue estudiado.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento personal al Dr. Alexander Rodríguez, profesor principal del Departamento Académico de Entomología, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de La Molina, UNALM, Lima, Perú, arodri-ver@lamolina.edu.pe, por el apoyo brindado durante la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: JGRZ; metodología: JGRZ Y MOPE; análisis formal: JGRZ y MOPE; investigación: JGRZ; curación de datos: FEGA; redacción - preparación del borrador original: JGRZ; redacción - revisión y edición: JGRZ y MOPE; visualización: JGRZ y MOPE. supervisión: JGRZ. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Jose Guillermo Rogel Zambrano: JGRZ; Marlon Osvaldo Pineda Escobar: MOPE; Bayron Efrén Cisneros Songor: BECS y Frerida Esperanza Gia Ajila: FEGA.

FINANCIAMIENTO

La presente investigación fue subvencionada con fondos propios.

REFERENCIAS

- Alvarado, J. (2010). Biología y comportamiento de *ischnaspis longirostris* (signoret) (hemiptera: Diaspididae) en mango (*mangifera indica* linneo) variedad kent, bajo condiciones de laboratorio. *Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Entomología*.
- Amaya, J. (2009). *El cultivo de tuna (opuntia ficus indica)*. Trujillo, Perú: Gerencia Regional Agraria La Libertad. Descargado de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual%20Tecnico%20de%20Tuna.pdf> (Consultado 18 oct 2019)
- Arruda, G. (1983). *Aspectos etológicos de cochinita diaspidis echinocacti (bouché, 1833) (homóptera, diaspidide)*. Universidad Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Bartra, C. (1976). Observaciones biológicas sobre la “queresa del laurel” (*aspidiotus hederiae*) vallot, homop.: Diaspididae). *Revista Peruana de Entomología*, 19(1), 43-48.
- Cabana, N. (2012). *Ciclo biológico de diaspidis echinocacti (hem: Diaspididae) queresa de la tuna*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- de Agricultura y Riego, M. (2017). *Producción de tuna. estadísticas*. (Consultado oct 23, 2019. Disponible en <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf>)
- De Haro, M. E., y Claps, L. E. (1999). Primera cita de *dactylopius coccus* (hemiptera: Dactylopiidae) para la repú-

- blica argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(3-4), 128.
- Elguera, N. (2019). *Biología y comportamiento de florinia fioriniae targioni tozzetti (hemiptera: Diaspididae) en palto (persea americana mill.) variedad hass, bajo condiciones de laboratorio* (Tesis de Master no publicada). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, La Molina, Lima-Perú.
- Gill, R. J. (1997). *Las cochinillas de california. parte 3. las escamas protegidas (homóptera: Coccoidea: Coccidae)*. Sacramento, California, EE.UU.: Departamento de Alimentos y Agricultura.
- Marín, R. (1991). Dos plagas de la tuna (opuntia spp) en la costa central del Perú. *Revista Peruana de Entomología Agrícola*, 34, 81-84. (Consultado en oct 10, 2019. Disponible en <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/entomologia/v34pdf>)
- Marín, R. F., y Cisneros. (1982). Biología y morfología de las especies de piojo blanco en cítricos de la costa central. *Revista Peruana de Entomología*, 25(1), 33-44.
- Oetting, R. D. (1984). Biology of the cactus scale, diaspid echinocacti (bouche) (homoptera: Diaspididae). *Annals of the Entomological Society of America*, 77, 88-92.
- Rhannaldy, B. (2017). *Cactodera cacti (nematoda: Heteroderidae): Ocorrência natural em mandacaru (cereus jamacaru dc.) no ceará e investigação de hospedeiras em cactáceas e hortaliças* (Tesis de Master no publicada). Universidad Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias.
- Rogel, G. (2009). *Ciclo biológico, daños que causan, hábitos e identificación de la escama blanca del banano* (Tesis de Master no publicada). Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.

Satisfacción estudiantil posutilización del simulador dental para prácticas de anestesia

Student satisfaction after using the dental simulator for anesthesia practices

Zulema Castillo-Guarnizo^{1,*}, Celena Azuero-Guerrero¹, Jhoanna Riofrío-Herrera¹, Darlen Díaz Pérez¹ y Tannya Valarezo-Bravo¹

¹ Carrera de Odontología, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: zulema.castillo@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 15/03/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 15/12/2024 Fecha de publicación: 31/31/2024

Resumen—El desarrollo de escasas habilidades manuales y destrezas en los estudiantes de Odontología pone en riesgo cometer accidentes en el paciente que pudiesen presentarse durante la atención odontológica, con sus consecuentes complicaciones. La Odontología es una Carrera eminentemente práctica; en todas las áreas de la Odontología, y especialmente en cirugía oral, el riesgo de cometer accidentes en el paciente es alto; por ello, se requiere un entrenamiento previo con el uso de simuladores, de tal manera que le permita al estudiante recibir una retroalimentación del docente para mejorar su práctica, adquiriendo confianza y seguridad durante el desarrollo de la misma. Por este motivo se desarrolló la presente investigación sobre: “Satisfacción estudiantil posutilización del simulador dental para las prácticas de anestesia infiltrativa y técnica indirecta de bloqueo regional del nervio alveolar inferior durante el periodo abril/septiembre 2023”, con la finalidad de evaluar la efectividad de esta metodología de enseñanza-aprendizaje en los estudiantes de 5to. y 6to. ciclos de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, a través de una encuesta de satisfacción estudiantil previamente validada. El tipo de estudio fue cuasi-experimental. Durante el periodo abril-septiembre 2023, la población estuvo integrada por 44 estudiantes correspondientes a quinto y sexto ciclo de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, quienes participaron voluntariamente en el estudio, firmando previamente un consentimiento informado. Se obtuvo como resultado que el 86,4% de los estudiantes encuestados indicaron que el simulador dental para prácticas de técnicas de anestesia infiltrativa del maxilar inferior y regional del nervio alveolar inferior cumplió con sus expectativas, ya que contribuyó con su aprendizaje, el ambiente fue realista, existió buena capacitación de su manejo por parte del grupo de investigación, fomentó la seguridad y confianza, contribuyendo al razonamiento crítico y toma de decisiones. Se concluye que el simulador dental para técnicas de anestesia infiltrativa y del nervio alveolar inferior es una metodología de enseñanza-aprendizaje útil para los estudiantes de Odontología.

Palabras clave—Simulación, Satisfacción, Anestesiología, Enseñanza.

Abstract—The development of scarce manual skills and abilities in dentistry students puts at risk of committing accidents in the patient that could occur during dental care, with its consequent complications. Dentistry is an eminently practical career; in all areas of dentistry, and especially in oral surgery, the risk of accidents in the patient is high; For this reason, prior training with the use of simulators is required, in such a way that it allows the student to receive feedback from the teacher to improve their practice, acquiring confidence and security during the development of it. For this reason, the present research was conducted on "Student Satisfaction after Using the Dental Simulator for Infiltrative Anesthesia and Indirect Technique for Regional Block of the Inferior Alveolar Nerve during the period April/September 2023." The aim was to evaluate the effectiveness of this teaching-learning methodology for 5th and 6th-year students in the Dentistry program at the National University of Loja, through a previously validated student satisfaction survey. The study was quasi-experimental, during the period of April to September 2023. The population included 44 students from the fifth and sixth cycles of the Dentistry program at the National University of Loja, who voluntarily participated in the study after signing informed consent. The results showed that 86.4% of surveyed students indicated that the dental simulator for practicing techniques of infiltrative anesthesia of the lower maxilla and regional block of the inferior alveolar nerve met their expectations. It contributed to their learning, provided a realistic environment, included good training in its operation by the research group, enhanced confidence and security, and promoted critical reasoning and decision-making. In conclusion, the dental simulator for techniques of infiltrative anesthesia and the inferior alveolar nerve is a useful teaching-learning methodology for students in the Dentistry program.

Keywords—Simulation, Satisfaction, Anesthesiology.

INTRODUCCIÓN

Antes de que la simulación fuera perfeccionada, la odontología ha sido una profesión en la que las prácticas

de laboratorio, denominadas “preclínicas” han sido un mecanismo para desarrollar habilidades manuales, para los estudiantes de Odontología (de Montes de Oca, 2017), siendo

indispensable el uso de simuladores dentales con la finalidad de que el alumno pueda desarrollar habilidades clínicas, técnicas y competencias necesarias para su práctica profesional futura, en un escenario lo más real posible (Valencia Castro *et al.*, 2016) (Melero, 2016) (Urra Medina *et al.*, 2017) (Casal Angulo, 2023); también le permite que tenga un entrenamiento previo a la atención del paciente, generando confianza y seguridad al momento de realizar su práctica (Dávila-Cervantes, 2014) (Christiani, 2016) (Fito, 2016); pudiendo así perder el temor, ansiedad y nervios en el momento de llevarla a cabo con pacientes reales (Salgado Martínez y Bonifaz Aranda, 2017).

En la actualidad, la simulación constituye una excelente herramienta pedagógica (de Montes de Oca, 2017), porque favorece el aprendizaje por descubrimiento, obliga a demostrar lo aprendido, ejercita al estudiante de manera independiente, permite reproducir la experiencia un elevado número de veces, le permite al estudiante reaccionar como lo haría en el mundo profesional, fomenta la creatividad, ahorro de tiempo y dinero, propicia la enseñanza individualizada, facilita la autoevaluación para luego recibir la respectiva retroalimentación y asesoramiento sobre los aciertos y errores (Masson y Rennie, 2006) (Clede-Belforti *et al.*, 2013).

En las últimas dos décadas, la simulación ha entrado en escena de una manera exponencial; asimismo, se han realizado grandes avances en la inclusión de esta herramienta en los diferentes programas educativos, permitiendo al estudiante desarrollar competencias necesarias para desenvolverse en la vida real (Padilla *et al.*, 2021). Esto ha impactado positivamente en la educación en diferentes aspectos como la estandarización de la enseñanza y la familiarización de los estudiantes con métodos de autoevaluación y autoaprendizaje, en la ética en temas de salud y en la utilización del error como un medio de aprendizaje (Dávila-Cervantes, 2014). La educación del odontólogo depende del modelo pedagógico asumido por la institución educativa. Este modelo condiciona la incorporación de la simulación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que le permite al estudiante realizar prácticas previas a la ejecución de actividades clínicas (Ortega y Casanova, 2010). Constituyendo la simulación un método de enseñanza-aprendizaje efectivo en las ciencias odontológicas, con fines educacionales y evaluativos, permite acelerar el proceso de aprendizaje. La simulación clínica consiste en un conjunto de métodos que facilitan a los estudiantes la adquisición de habilidades y destrezas clínicas, en escenarios semejantes a los reales, sin poner en riesgo a los pacientes (Ruíz-Parra *et al.*, 2009).

La anestesia local es una habilidad importante y constituye un requisito previo a los diferentes tratamientos odontológicos. Sin embargo, el paso de la teoría a la práctica en el paciente es enorme para el estudiante que recién empieza en su práctica profesional (Knifer *et al.*, 2018). Tradicionalmente, en cirugía bucal la enseñanza práctica de las técnicas de anestesia se ha realizado en diferentes escenarios, como anfiteatros, con el fin de tener presente las referencias anestésicas para las diversas técnicas que se disponen (Ardilla Carrasquilla, 2016). En el aula, en cambio se practicaban las técnicas anestésicas entre pares, lo cual ha sido remplazado con la utilización de simuladores, siendo un método más práctico que teórico, que le permite al estudiante recibir tutoría del docente previo a la fase clínica, promueve la adquisición de

habilidades por medio de la práctica, permitiendo el desarrollo de destrezas, con la seguridad de que los errores no les generarán consecuencias irreversibles en el paciente (Padilla *et al.*, 2021). En el transcurso del tiempo se han desarrollado también simuladores hápticos, robóticos y de realidad aumentada, en los cuales se ha ido mejorando sus características tecnológicas; como la retroalimentación sensorial y la grabación de los procedimientos ejecutados; y ergonómicos, adaptándolos a las necesidades del operador (Vural *et al.*, 2021).

El nivel de satisfacción acerca del uso de los simuladores, ha sido favorecedor, porque los estudiantes han logrado resultados satisfactorios, desarrollando habilidades, seguridad, habilidades de comunicación, colaboración, resolución de conflictos, autoeficacia, motivación, trabajo en equipo, nivel de confianza, habilidades clínicas y preparación ante situaciones de urgencias (González, 2021). Pero también existe un impacto negativo en la calidad de su educación: habilidades de comunicación, comportamiento de equipo, ética, valores, empatía por pacientes reales, así como bajos niveles de habilidad (Rodríguez González *et al.*, 2021).

A nivel mundial, se ha evidenciado satisfacción por parte del alumnado gracias al aprendizaje a través de simuladores dentales, lo que se refleja en el mejor desarrollo de su práctica clínica (Grandez Gomez, 2021). En un estudio realizado en la Universidad de Valencia Odontología, se realizó una práctica con los simuladores SIMtoCARE, en la que hicieron distintas preparaciones cavitarias para reconstrucciones dentales con composite. Se obtuvo como resultado, en cuanto a la usabilidad del simulador, que el 92 % de los estudiantes señaló que su manejo resultó fácil; el 65 % consideró que el simulador ofrecía una sensación realista; el 84 % afirmó que les hubiera gustado realizar más prácticas con el simulador antes de atender a los pacientes (Quintero Cabello, 2022).

Latinoamérica (Brasil) también ha implementado la utilización de simuladores dentales, los resultados mostraron que, a partir de la simulación de técnicas de anestesia local en odontología, el simulador craneofacial permitió que los alumnos comprendieran la finalidad del simulador craneofacial y se sintieran motivados en su aprendizaje. El uso pedagógico de los simuladores en la enseñanza de técnicas anestésicas reforzó el dominio de habilidades y destrezas técnico-científicas en la práctica anestésica, consolidando los fundamentos teóricos que permiten la construcción del conocimiento, contribuyendo a un mejor desempeño del alumno en su práctica clínica (Guida *et al.*, 2019).

Con la finalidad de evaluar el nivel de aprendizaje en la educación en odontología, se realizó un estudio con la ayuda de un simulador de realidad virtual háptico en la Facultad de Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), la muestra estuvo integrada por 67 estudiantes (pregrado y posgrado) quienes respondieron un cuestionario pre y post experimental; se compararon los resultados de puntajes de expectativa, rendimiento y el nivel de satisfacción académico; no se encontraron datos estadísticos significativos. Se obtuvo como conclusión que el simulador de realidad virtual háptico presentó un nivel de satisfacción académico de tipo satisfactorio por los estudiantes de pregrado y posgrado de la Facultad de Estomatología de la UPCH, en el año 2019 (Vilcapoma Guerra, 2022).

El Ecuador no ha sido ajeno a la utilización de simulado-

res para el mejoramiento de las prácticas odontológicas. En un estudio de satisfacción realizado en la Universidad Nacional del Chimborazo, se encontró que los estudiantes que realizaron prácticas mediante el software “Dental Simulator” presentaron menos desaciertos (61,1 % aciertos) en comparación con los estudiantes que realizaron la práctica sin el simulador (33,3 % desaciertos), obteniéndose diferencias significativas. Los estudiantes del grupo de estudio tuvieron muy buena aceptación con la utilización del software del simulador de realidad virtual (Salgado Martínez y Bonifaz Aranda, 2017).

En la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, tradicionalmente las prácticas de cirugía se las realizaban entre compañeros, pudiendo ocasionar accidentes y complicaciones, así también la falta de seguridad y confianza en los estudiantes. Posteriormente, se fue implementando la utilización de simuladores, tipo fantomas, troqueles y simuladores en forma de maniqués. Con la finalidad de mejorar las actividades prácticas de los estudiantes, se llevó a cabo el presente proyecto: “Simulador dental para prácticas de técnicas de anestesia y su influencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja”, para las técnicas de anestesia infiltrativa y regional del nervio alveolar inferior, que tuvo como objetivo evaluar el nivel de satisfacción posutilización del simulador dental de los estudiantes de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue de carácter cuasiexperimental. Participaron los estudiantes cursando el quinto y sexto ciclo de la Carrera de Odontología (C.O.) de la Universidad Nacional de Loja, durante el periodo abril 2023 – septiembre del 2023.

La población estuvo constituida por 44 estudiantes matriculados en Odontología; el grupo de 5to. ciclo estuvo conformado por 19 estudiantes y el grupo de 6to. ciclo, por 25 estudiantes. Los estudiantes fueron invitados a participar voluntariamente en el estudio, firmando previamente un consentimiento informado. El docente tutor de cirugía realizó una retroalimentación de las técnicas infiltrativa y del nervio alveolar inferior, seguidamente, el equipo de investigación indicó el manejo técnico del simulador dental para prácticas de técnicas de anestesia, realizando una demostración práctica en los simuladores de administración de la solución anestésica, en donde se iba detallando paso a paso cada una de las técnicas, e indicando angulaciones y puntos de referencia para la punción. Se utilizó el simulador de anestesia bucal de Odontología para las técnicas infiltrativas del maxilar inferior y del nervio alveolar inferior, el mismo que presenta 32 dientes anatómicamente conformados, así como también sensores incorporados en la mandíbula. Posee una señal luminosa que indica de color verde cuando logra de manera correcta la posición y el ángulo de inyección, y de color rojo cuando no se está aplicando correctamente la técnica. A continuación, los alumnos procedieron con la práctica y, finalmente, se aplicó un test de evaluación práctico sobre las mencionadas técnicas.

Se diseñó previamente una encuesta de satisfacción del simulador dental de la Carrera de Odontología de la Universi-

dad Nacional de Loja, que constó de 10 preguntas con cinco probabilidades de respuestas de acuerdo a la escala de Likert, que van desde 1 (muy en desacuerdo) hasta 5 (muy de acuerdo). Fueron considerados los siguientes parámetros: usabilidad, realismo del escenario de aprendizaje, impacto en la experiencia de aprendizaje, confianza en el desarrollo de la práctica, relación interpersonal y capacitación previa recibida. La encuesta elaborada por las investigadoras fue validada por expertos. Finalmente, procedieron los estudiantes a responder la encuesta de satisfacción del simulador dental para técnicas de anestesia a través de Google Forms.

Una vez obtenidos los resultados, para el análisis de la información se utilizó la estadística descriptiva a partir de frecuencias absolutas y relativas.

RESULTADOS

En el presente estudio realizado sobre la satisfacción estudiantil después de la utilización del simulador dental, se encontró que, en relación al componente de “aprendizaje”, un 77,2 % satisfizo el proceso de aprendizaje, el 90,9 % señalaron también que contribuye a su práctica profesional futura y el 88,7 % indicaron que la simulación le permite desarrollar el razonamiento crítico y la toma de decisiones (Tabla 1). En el componente “estructura de la sesión de simulación”, más del 70 % de los encuestados consideran que el simulador se asemeja a una situación clínica realista y estuvo satisfecho con la capacitación recibida del manejo del simulador por parte del equipo de investigación demostrando que la simulación clínica puede ser una herramienta viable para el aprendizaje y formación de profesionales.

En el componente “relación interpersonal”, más del 50 % de los encuestados informó sentirse más seguro y confiado utilizando el simulador dental y el 90,9 % de los estudiantes considera que la simulación fomentó la comunicación entre los miembros del equipo.

En relación al componente “usabilidad”, el 54,5 % de los estudiantes indicaron que si les hubiese gustado usar antes un simulador dental. En relación con el componente de “satisfacción”; el 86,3 % además, consideró satisfactoria su experiencia con el simulador dental. Por último, el 86,4 % de los estudiantes indicaron que el simulador dental demostró ser una herramienta útil porque satisfizo sus expectativas (tabla 1).

Por consiguiente, se puede indicar que existió un alto porcentaje de los alumnos que estuvieron satisfechos con el simulador dental, ya que se asemeja a una situación clínica realista, fomentando la seguridad y confianza para prácticas futuras. Permitió además el trabajo colaborativo, y consideran que la práctica realizada contribuirá para su formación profesional, ayudando al razonamiento crítico y toma de decisiones en Odontología.

Tabla 1: Satisfacción del proceso de aprendizaje con el uso del simulador dental en los alumnos de 5to. y 6to. ciclo de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, preguntas 1 – 9.

No.	Preguntas	<i>Muy en desacuerdo</i>		Desacuerdo		Indiferente		De acuerdo		Muy de acuerdo	
		<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>
1	Satisfacción del proceso de aprendizaje con el uso del simulador dental.	3	6,80	2	4,50	5	11,40	17	38,60	17	38,60
2	Simulador se asemeja a una situación clínica realista.	1	2	7	16	4	9	22	50	10	23
3	Capacitación recibida sobre el uso y manejo del simulador por el equipo de investigación.	2	4,50	1	2,30	2	4,50	14	31,80	25	56,80
4	La experiencia con el uso del simulador aporta de manera positiva, aumentando mi seguridad y confianza.	1	2,30	-	-	2	4,50	17	38,60	24	54,50
5	Me hubiera gustado usar antes un simulador dental.	1	2,30	-	-	2	4,50	17	38,60	24	54,50
6	Utilidad del simulador dental en la práctica profesional futura.	1	2,30	-	-	3	6,80	18	40,90	22	50
7	La simulación ayuda a desarrollar el razonamiento crítico y la toma de decisiones.	1	2,30	1	2,30	3	6,80	19	43,20	20	45,50
8	La experiencia con el simulación ha sido satisfactoria.	1	2,30	-	-	5	11,40	17	38,60	21	47,70
9	La simulación fomenta la comunicación entre los miembros del equipo.	1	2,30	1	2,30	2	4,50	18	40,90	22	50

Fuente: Encuesta.

A continuación se puede observar, que el 86,4% de los estudiantes encuestados indicaron que el simulador dental cumplió sus expectativas.

Tabla 2: Satisfacción del proceso de aprendizaje con el uso del simulador dental en los estudiantes de 5to. y 6to. ciclo de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, pregunta 10.

No.	Pregunta	Opciones	f	%
10	Expectativas cumplidas por el simulador dental.	No	6	13,6
		Sí	38	86,4
		Total	44	100

Fuente: Encuesta.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se logró analizar el nivel de percepción de satisfacción después del uso del simulador dental en las prácticas de anestesia infiltrativa del maxilar inferior y bloqueo regional del nervio alveolar inferior de los estudiantes de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja; obteniendo como resultado que el simulador dental para técnicas de anestesia satisfizo, porque contribuyó a su aprendizaje, a generar seguridad y confianza, así como a desarrollar habilidades y destrezas.

En un estudio realizado por Barrales (2022), en donde se aplicó una encuesta de satisfacción para validar el uso y diseño de un simulador dental odontopediátrico, participaron 43 estudiantes de 4to. y 5to. años de la Carrera de Odontología de la Universidad de Concepción; luego de la evaluación, se obtuvo en todo el apartado de preguntas evaluadas un promedio sobre 4, en una escala del 1 al 5 utilizando la escala de Likert. En el mencionado estudio, en relación al componente “estructura de la sesión de simulación”, si el modelo anatómico se acerca a la realidad de un paciente infantil, el 68% de los estudiantes de 4to. año respondieron muy de acuerdo; y los estudiantes de 5to. año respondieron en su mayoría estar de acuerdo (54%) (Barrales Navarrete, 2022). En comparación con el presente estudio realizado en la Carrera de Odontología de la U.N.L., los resultados son similares, puesto que el 73% de los estudiantes indicaron que el simulador dental se asemeja a una situación clínica realista.

En lo concerniente a la seguridad para la ubicación correcta de puntos de punción en pacientes infantiles reales, respondieron los estudiantes el 84% y 63% muy de acuerdo los estudiantes de 4to. y 5to. años, respectivamente (Barrales Navarrete, 2022). En el estudio realizado en los estudiantes de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, respondieron ante la pregunta sobre la experiencia con el simulador si aumentó su seguridad y confianza; se encontró el 63% y 44% de los estudiantes de 5to. y 6to. respectivamente, respondieron muy de acuerdo. A pesar de que los porcentajes no son muy similares, coinciden en que son los más altos encontrados en las diferentes opciones de respuesta del estudio realizado en Loja.

En el estudio realizado por Padilla, et al, (2021), en donde aplicaron una encuesta de satisfacción, se obtuvo como re-

sultado que el 83% de los estudiantes estuvo muy satisfecho con los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridos en anestesia (Padilla et al., 2021). En comparación con la presente investigación, los resultados fueron similares, ya que el 77,2% de los estudiantes indicaron que están de acuerdo y muy de acuerdo en relación a la satisfacción del proceso de aprendizaje mediante la utilización del simulador dental; ya que permite un entrenamiento previo a la atención con el paciente, brindando una mayor seguridad en el momento de su atención. Por otra parte, también permite el desarrollo de habilidades y destrezas manuales. Dentro de las limitaciones se tiene que se deben incrementar otras técnicas de anestesia en el simulador odontológico de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja.

CONCLUSIONES

La simulación para prácticas de técnicas de anestesia de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja cumplió con las expectativas de los estudiantes de quinto y sexto ciclo, ya que contribuyó con su aprendizaje, fomentando la seguridad y confianza, la comunicación entre los miembros del equipo. Por consiguiente, es una metodología de enseñanza-aprendizaje útil para este proceso.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigación del proyecto Simulador dental para prácticas de técnicas de anestesia y su influencia en el proceso de enseñanza – aprendizaje en la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja por su aporte y colaboración al desarrollo de este proyecto, al grupo de Investigación Innovación Tecnología i2TEC integrado por: Dr. Jorge Enrique Carrión González Ph.D., Ing. Julio César Cuenca Tinitana Mg.Sc., Ing. Rodolfo Pabel Merino Mg.Sc. quienes colaboraron con la planificación del diseño y elaboración del simulador; a la Dra. María José Valarezo Ulloa – Directora del Centro de Investigación y Servicios de Análisis Químico CISAQ quien colaboró para la elaboración de los tejidos blandos, al Od. Esp. Cristián Palacio por su aporte con el diseño dental, a los alumnos de la Carrera de Odontología de la Universidad Nacional de Loja, y a todo el personal que colaboró para que el presente proyecto se haga realidad.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: ZCG y CA; metodología: ZC; análisis formal: ZC; investigación: ZC y CA; recursos, JR; curación de datos: ZC y CA; redacción — preparación del borrador original: redacción – revisión y edición: ZC, DD y TV; visualización, DD; supervisión: JR; administración de proyecto: JR; adquisición de financiamiento para la investigación: JR.

Zulema Castillo-Guarnizo: ZCG. Celena Azuero: CA. Jhoanna Riofrío: JR. Darlen Díaz: DD. Tannya Valarezo: TV.

FINANCIAMIENTO

El presente proyecto fue financiado por la Universidad Nacional de Loja, bajo el código: 48-DIFSH-2021

REFERENCIAS

- Ardilla Carrasquilla, D. (2016). *Diseño de un simulador educativo basado en la enseñanza de técnicas de anestesia en cavidad oral*.
- Casal Angulo, M. d. C. (2023). *La simulación como metodología para el aprendizaje de*. Descargado de <https://core.ac.uk/download/pdf/71059825.pdf>
- Christiani, J. J. (2016). La simulación en la enseñanza en odontología. una herramienta de aprendizaje para la seguridad del paciente y la calidad de atención. *Revista de la Facultad de Odontología*, 9(1), 69. doi: 10.30972/rfo.911602
- Clede-Belforti, L., Nazar-Jara, C., Montaña-Rodríguez, R., y Corvetto-Aqueveque, M. (2013). *Simulación en anestesiología* (Vol. 3).
- de Montes de Oca, S. P. L. (2017). *Simulación clínica en odontología* (Vol. 26) (n.º 4).
- Dávila-Cervantes, A. (2014). Simulación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 3(10), 100-105. doi: 10.1016/S2007-5057(14)72733-4
- Fito, D. J. S. (2016). *Desarrollo de modelos de simulación para el aprendizaje de técnicas endodónticas*.
- González, A. M. R. (2021). *Satisfacción en simulación clínica en estudiantes de medicina*. Descargado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ems/v35n3/1561-2902-ems-35-03-e2331.pdf>
- Grandez Gomez, K. E. (2021). *Simuladores en odontología y la formación de habilidades clínicas: Un diálogo permanente* (Vol. 24) (n.º 3).
- Guida, M. H., Babinski, S. G., Babinski, J. W., y Siqueira, B. G. (2019). *Simulador eléctrico craneofacial na práctica das técnicas anestésicas no curso de odontologia do unifeso* (Vol. 02).
- Knifer, C., Rohde, M., Oetter, N., Muench, T., Kesting, M. R., y Stelzle, F. (2018). Local anaesthesia training for undergraduate students – how big is the step from model to man? *BMC Medical Education*, 18(1), 308. doi: 10.1186/s12909-018-1389-6
- Masson, R., y Rennie, F. (2006). *Elearning*.
- Melero, M. S. G. (2016). *Evaluación de la calidad de dos modelos de simulación clínica*.
- Ortega, A. I., y Casanova, I. I. (2010). *Tendencias tecnológicas: Simulación en la formación odontológica* (Vol. 7).
- Padilla, A. M., Guevara, R. G., Millán, J. E., López, D., y Hernández, C. (2021). *Aprendizaje con simulación en anestesiología bucal: Autoevaluación de nivel de satisfacción de aprendizajes en clínica*.
- Quintero Cabello, J., A. O. C. (2022). *Tendencias educativas emergentes en ciencias de la salud y enfermería*. Dykinson.
- Rodríguez González, A. M., Martínez Cervantes, E. A., Garza Garza, G. G., y Rivera Cavazos, A. (2021). *Satisfacción en simulación clínica en estudiantes de medicina* (Vol. 35) (n.º 3).
- Ruíz-Parra, A., Ángel Muller, E., y Guevara, O. (2009). La simulación clínica y el aprendizaje virtual. tecnologías complementarias para la educación médica. 57, 67-79.
- Salgado Martínez, A. L., y Bonifaz Aranda, E. F. (2017). *Aplicación de simulación dental mediante realidad aumentada para el aprendizaje de las técnicas de anestesia en estudiantes de quinto semestre de la carrera de odontología de la universidad nacional de chimborazo*. Descargado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4179/1/UNACH-EC-FCS-ODT-2017-0035.pdf>
- Urra Medina, E., Sandoval Barrientos, S., y Iribarren Navarro, F. (2017). El desafío y futuro de la simulación como estrategia de enseñanza en enfermería. *Investigación en Educación Médica*, 6(22), 119-125. doi: 10.1016/j.riem.2017.01.147
- Valencia Castro, J. L., Tapia Vallejo, S., y Olivares Olivares, S. L. (2016). La simulación clínica como estrategia para el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de medicina. *Investigación en Educación Médica*. doi: 10.1016/j.riem.2016.08.003
- Vilcapoma Guerra, H. J. (2022). *Evaluación de la satisfacción académica, según el nivel de aprendizaje en formación dental, utilizando un sistema de simulador de realidad virtual háptica en la facultad de estomatología de la universidad peruana cayetano heredia en el año 2019* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
- Vural, , Bozkurt, P., Vardar Acar, C., y Üçok, C. (2021). Analysis of confidence levels and application success rates in simulator-based dental anesthesia education among undergraduate dental students. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(6), 1236.e1-1236.e7. doi: 10.1016/j.joms.2021.02.006

Fabricación de placas de PEAD reciclado como una alternativa sostenible en el desarrollo de productos

Manufacturing of recycled HDPE plates as a sustainable alternative in product development

Gerardo Hernández Neria ^{1,*} and Cesar Adolfo Muñoz Herrera¹

¹ Universidad Autónoma de Guadalajara

* Autor para correspondencia: gerardo.neria@edu.uag.mx

Fecha de recepción del manuscrito: 19/10/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 20/12/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—La evolución en el uso de los plásticos ha superado expectativas en muchos sectores de la industria derivado de la tecnología y ciencia de materiales que se enfoca en descubrir y experimentar nuevas alternativas para el uso eficiente de las propiedades de los plásticos y en el consumo sostenible de recursos para su transformación. Sin embargo, la producción exponencial y el uso irracional de los plásticos genera problemas con el control de los residuos, ya que en diversos casos no se cumple con una gestión adecuada que pudiera brindar soluciones de recuperación y reciclado. Esta investigación se fundamenta en los principios de la sostenibilidad y el diseño circular, en donde es necesario implementar soluciones locales que aporten a las necesidades globales para la conservación de los recursos. En este sentido, se presenta una estrategia de reciclado de tapas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) obtenidas por recolección individual y también se implementa un proceso de reciclaje que propicia la fabricación manual no industrializada de placas con dimensiones estándar, demostrando que las placas de PEAD alcanzan propiedades físicas y mecánicas que posibilitan su utilización como materia prima para el desarrollo de productos. Finalmente, se considera que estas estrategias contribuyen a fortalecer la cultura de la recuperación de materiales que son potencialmente reciclables bajo procesos no industrializados.

Palabras clave—Diseño Circular, Polietileno de Alta Densidad, Reciclar, Recuperar, Sostenibilidad.

Abstract—The evolution in the use of plastics has exceeded expectations in many industry sectors due to material science and technology, which focuses on discovering and experimenting with new alternatives for the efficient use of plastic properties and the sustainable consumption of resources for their transformation. However, the exponential production and irrational use of plastics generate issues with waste management, as in many cases, proper management is not followed, which could provide solutions for recovery and recycling. This research is based on the principles of sustainability and circular design, where it is necessary to implement local solutions that contribute to global needs for resource conservation. In this sense, a recycling strategy for High-Density Polyethylene (HDPE) caps is presented, obtained through individual collection. A recycling process is also implemented that facilitates the manual, non-industrialized manufacturing of standard-sized plates, demonstrating that HDPE plates achieve physical and mechanical properties that allow them to be used as raw material for product development. Finally, it is considered that these strategies contribute to strengthening the culture of material recovery that is potentially recyclable under non-industrialized processes.

Keywords—Circular Design, High Density Polyethylene, Recovery, Recycle, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son uno de los materiales más utilizados para la fabricación de objetos, sin embargo, también aportan en gran parte a la contaminación en consecuencia de su mal manejo como residuos después de cumplir con su función, ya que, este material está presente en la mayoría de: envases, envoltorios, electrodomésticos, juguetes y aparatos electrónicos, entre otros. De acuerdo con Reyes (2019), en un estudio para Greenpeace México definen que en este país se producen más de siete millones de toneladas de plástico al

año, de los cuales se define que el 48 % de esta producción es destinado a envases o embalajes que no son reciclados y que se tienen considerados en la valorización de residuos solo el 6.07 % en el país. De acuerdo con información proporcionada por el Gobierno Federal y la SEMARNAT (2003) sobre los residuos sólidos, se menciona que en México se producen al año 9 mil millones de botellas de plástico, esto hace que ocupe el segundo lugar a nivel mundial en la generación de desechos de PET, un ejemplo que menciona es que si se consideran 106 millones de personas en México que consuman 5 botellas de PET al día esto da un total de 530 millones

de botellas de PET.

En los últimos años Torres de la Torre (2020), ha sostenido que el desarrollo de productos se ha enfocado principalmente en la selección de materiales, que a partir de sus propiedades físicas y mecánicas se identifican los requerimientos para definir los procesos de fabricación idóneos que llevarán al producto a cubrir funciones específicas y necesidades de un mercado que constantemente se modifica (Toranzo 2020). Además es importante retomar que los plásticos son considerados como una de las principales alternativas para la fabricación de productos debido a la amplia versatilidad de sus procesos de transformación, donde autores como Torres de la Torre (2020), destacan, que los plásticos generan gran parte de la contaminación ambiental como consecuencia de su mal manejo como residuos después de cumplir con su función principal, es decir, por su lenta degradación lo hace un material perdurable y a su vez contaminante a lo largo del tiempo (Cedeño *et al.* (2022).

En general se tiene definido que los materiales plásticos se clasifican en termoplásticos, termoestables y elastómeros todos estos tienen ciertas propiedades físicas, químicas y mecánicas que les permiten ser usados en diferentes objetos según su necesidad y aplicación. Específicamente, los termoplásticos tienen una estructura molecular de cadena abierta que permite la fundición y transformación en diversas variantes, de tal forma que este grupo de polímeros son clasificados a partir de un sistema conocido como triángulo de Möbius, el cual permite identificar la estructuración del material y la clase a la que pertenecen para saber su posibilidad y condiciones para ser reciclado (Quiroga, 2024).

De esta manera, los avances tecnológicos para Sangucho Barros *et al.* (2023), ayudan a la identificación de las propiedades de los plásticos y sus distintos niveles de complejidad para su aplicación en distintos sectores de la industria y del mercado. Por ejemplo, el polietileno de alta densidad (PEAD) según Ramos Coronel *et al.* (2023), se ha clasificado como un plástico de tipo 2, y que este sistema es fácil de reciclar gracias a sus propiedades mecánicas como la tolerancia a temperaturas altas y bajas. Otra de sus ventajas es su larga vida útil, ya que no mantiene deformaciones permanentes tal como lo afirma Pérez-Bondía (2024), en donde identifica las características del PEAD y en conjunto con diversos autores que han trabajado en investigaciones enfocadas en definir procesos de descontaminación de productos reciclados de este material, donde se presentan alternativas de aplicación en múltiples industrias como la construcción y arquitectura (Solis-Campos y Santa Ana Lozada, 2022), en el fortalecimiento de propiedades mediante procesos de implementación de fibras de refuerzo (Azevedo *et al.*, 2024), incluso en la fabricación de equipos para obtener estructuras específicas a partir del recuperado del PEAD (Bernal *et al.*, 2022).

El objetivo principal de esta investigación es definir una estrategia de recuperación y reciclado de tapas de Polietileno de Alta Densidad para la fabricación de una placa estandarizada mediante procesos no industrializados. La definición y condicionamiento de los procesos manuales son determinantes para obtener propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la utilización de las placas como materia prima para el diseño y desarrollo de productos basados en cultura de soluciones locales e individuales. Por lo cual, es necesario

considerar distintos métodos y técnicas de recuperación que potencialicen el proceso de reciclado para obtener un material de calidad que permita futuros procesamientos no industrializados. Es importante mencionar que las máquinas y herramientas de los procesos seleccionados para las pruebas realizadas son de tipo manual-casero por lo que los sistemas de control y parámetros definidos se enfocan en los alcances de estos mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Diseño Industrial es considerado por Bonsiepe (1985), como un proceso evolutivo que permite el desarrollo de productos; además se enfatiza en implementar mejoras desde la funcionalidad y la fabricación (Bürdek (1994), en muchos de los casos se considera hasta la validación de la satisfacción de la necesidad del usuario o cliente (Maldonado (1999); más aún el proceso de fortalecer mediante la consideración de los materiales, sus propiedades, la forma, y la fabricación (Santín (1990). Para generar estos resultados el diseñador se apoya de distintas metodologías según el objetivo del proyecto; en esta propuesta se utilizará la metodología de Pensamiento de diseño circular y estratégico, recalcando al proceso de diseño con un factor importante que puede resolver hasta el 80 % del impacto ambiental en un producto.

Al abordar esta metodología de diseño, permite establecer el propósito de identificar nuevas oportunidades que ofrezcan soluciones integrales orientadas a la optimización de los recursos. Henry (2024), indica que el diseño Circular es una metodología de diseño estratégico flexible y holística destinada a identificar nuevas oportunidades para crear resultados sostenibles y circulares. En la figura 1, se muestra la adaptación de la metodología y la consideración de las diferentes fases que el proyecto adoptó para desarrollar la estrategia de recuperación y reciclado de las tapas de PEAD y fabricar placas de materia prima.



Fig. 1: Diagrama Metodología de Diseño Circular (Henry, 2024)

De acuerdo con Almeida y Guzmán G. (2020), la economía circular se puede considerar como una estrategia para el desarrollo sostenible, por lo tanto, el diseño circular retoma estos principios para focalizar principios de acción hacia la reutilización y conservación de los recursos. Y entonces, el proceso de diseño se condiciona en definir alternativas de eficiencia y optimización a lo largo del ciclo de vida del pro-

ducto, de tal forma que el diseñador se considera el responsable de adoptar los principios de sostenibilidad para desarrollar soluciones locales a problemas globales; como es el caso de los plásticos que quedan fuera de los sistemas de gestión de residuos y se convierten en agentes potenciales de contaminación. Henry (2024), señala que se debe aplicar el pensamiento de Diseño Circular por la necesidad ética y económica de dotar a las empresas de una metodología capaz de generar una innovación y sostenibilidad virtuosa. Además, el énfasis del Diseño Circular en conjunto con los alcances de la economía circular busca alinearse en cada una de sus prácticas con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dictados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y acordados como parte de la Agenda Global para el Desarrollo Sostenible del 2030, que es un plan de acción para las personas, el planeta y la prosperidad, firmado en septiembre de 2015 por los gobiernos de los 193 países miembros de la ONU, lanzado oficialmente a principios de 2016.

Específicamente, la fundamentación teórica de esta investigación ante los alcances del diseño circular se desarrollan soluciones a través de la metodología de Design Thinking para lograr una correspondencia entre los problemas existentes, las exigencias del entorno y el bienestar de las personas (Ketlun, 2020). Por otra parte, el equipo de IDEO en conjunto con la fundación Ellen MacArthur establecieron los principios del diseño circular estructurados en una guía que se enfoca en eliminar la contaminación y los residuos para regenerar la naturaleza a través de una filosofía de hacer circular los materiales y los productos (Brown, 2009).

La propuesta se define de la siguiente manera.

1. **Priorizar el uso de recursos locales o de fácil disposición:** la obtención de los residuos plásticos de tapas de PEAD deben considerarse desde una fuente local, rutas, zonas y puntos de disposición cercanos y que requieran actividades de recolección básicas que eviten el uso de recursos secundarios relacionados con transporte especializado u otros servicios.
2. **Análisis de la recuperación de los recursos y en el consumo de energía:** la cantidad de material de tapas de PEAD que pueda obtenerse en cada punto de disposición es decisiva para garantizar el proceso de recuperación ya que se requieren cantidades específicas de materia prima para fabricar una placa estándar.
3. **Optimizar la separabilidad y durabilidad del residuo:** Es necesario definir las características y propiedades específicas que se requieren de las tapas de PEAD recuperadas, ya que para garantizar un proceso de reciclado se debe considerar la calidad de los residuos desde una visión de separabilidad y durabilidad, ya que si el residuo está en malas condiciones compromete todo el proceso y la materia prima resultante.
4. **Fomentar procesos para el desmontaje y reutilización:** el diseño y selección de procesos para este tipo de materiales debe considerar acciones posteriores que permitan el intercambio y reestructuración del residuo en sí mismo de tapas de PEAD o material obtenido de la fabricación de la placa estándar, facilitado futuras operaciones.

5. **Garantizar la ausencia de pérdidas o mermas durante todo el ciclo de vida:** el reciclaje de residuos implica evitar la generación de más residuos y prolongar situaciones perjudiciales, por ello es necesario el control y cálculo de recursos cada etapa del proceso de desarrollo de producto y sobre todo del trabajo con residuos, la fabricación de placas estándar debe minimizar la generación de residuos de PEAD en todo el proceso.
6. **Incentivar los procesos de mejora continua:** el proceso de recuperación y reciclaje de tapas de PEAD para la fabricación de placas estándar debe mantenerse como un sistema perfectible en el cual a partir de la experimentación sea indispensable la mejora continua de los procesos definidos y con la implementación de herramientas de control se obtengan resultados para fortalecer estrategias definidas.

El diseño experimental en este proyecto va en relación con el proceso de obtención de la materia prima en el cual se describe proceso de recuperación del material, el planteamiento de los requerimientos de diseño. Para el proceso de obtención de la materia prima de este proyecto se basó en procedimientos de reciclaje rescatados de una plataforma llamada *precious plastic*, fundada por el Diseñador Industrial Holandés Dave Hakkens (2013), este equipo busca cambiar la forma en que la sociedad percibe el plástico. Sin embargo, aunque esta plataforma comparte la manera de fabricar productos a partir de procesos semi-industriales ante el reciclaje del plástico.

Este proyecto muestra desde la práctica procesos para la fabricación de placas de PEAD reciclado, como una alternativa sostenible para el desarrollo de productos, mismos que se describen en el siguiente orden:

1. **Recuperación de las tapas de PEAD.** Se definen las estrategias y logística para obtener la cantidad de tapas que se requieren para garantizar la ejecución del proceso.
2. **Fundición de las tapas de PEAD.** Se establecen las características y condiciones para el aprovechamiento de las propiedades de los residuos de PEAD y mejorar las condiciones del proceso de fundición.
3. **Fabricación de placas estándar.** Se define y ejecuta el proceso de fabricación de placas de PEAD bajo condiciones controladas, con herramientas y procesos controlados.

Se realizó un análisis en centros de acopio dedicados a la recolección de residuos industriales, donde se recolectan materiales como el plásticos, cartón y fierro viejo ubicados en una zona Oriente del Estado de México. Del análisis realizado se obtuvieron datos relevantes para conocer la cantidad de residuos que se generan de PEAD con relación a otros residuos en los distintos puntos de recolección y de esta manera calcular el alcance de la presente investigación a nivel local.

La variable de análisis para tener referencia de la cantidad de material PEAD generado, se obtiene a través de relación de la cantidad de botellas de PET que se recolectan, debido a que por cada botella normalmente se genera una tapa de PEAD y la relación del peso de cada tapa se establece en promedio entre el 20% del peso de la botella considerando

la variabilidad de los residuos. En este sentido se recolectó información sobre la recolección y residuos de botellas de PET de 3 centros de acopio ubicados en la Colonia Jardín del municipio Valle de Chalco Solidaridad Estado de México, en la siguiente Tabla 1: se presentan los datos obtenidos con relación de mayor a menor kilogramos que cada lugar recolecta por semana y por mes, para que al final se obtenga la cantidad de material PEAD que se obtuvo.

Tabla 1: Cantidad de residuos de botellas de plástico recolectadas en centros de acopio.

Depósito	Ubicación	Botellas PET por Semana	Botellas PET por mes	Tapas de PEAD por mes
1	Ubicado en Calle Sur 13 entre Oriente 4 y 3	1 070 kg	4 280 kg	856 kg
2	Ubicado en avenida del Mazo entre Avenida Xicoténcatl y Sur 13	800 kg	3 200 kg	640 kg
3	Ubicado en sur 11 entre Oriente 4 y 3	150 kg	600 kg	120 kg
Total		2 020 kg	5 200 kg	1040 kg

Los resultados presentados en la tabla 1, hacen evidente que la generación de residuos de tapas de PEAD se convierten en una cantidad considerable para realizar actividades de recuperación de dicho residuo, así como generar estrategias que ayuden al aprovechamiento de este material y promover su reciclaje en nuevos productos o como materia prima. Por otro lado, estos resultados son referencia de las grandes cantidades que se consumen de plásticos en territorios locales y la importancia de hacer conciencia en la manera en cómo se consume y desechan estos residuos, ya que, por falta de políticas de gestión de residuos en municipios y zonas rurales, muchos de estos terminan en vertederos de basura o contaminando espacios públicos.

RESULTADOS

Se presentan las estrategias y definiciones del proceso de recuperación y reciclado de las tapas de PEAD y así mismo la selección de herramientas y equipos para la fabricación de las placas de PEAD. Es importante mencionar que el método presentado se especifica en la selección de procesos manuales no industrializados, con la intención de evidenciar que el objetivo de la investigación es presentar estrategias que ayuden a tomar decisiones locales sobre la recuperación y el reciclado de residuos plásticos como el PEAD para generar alternativas sostenibles en el desarrollo de productos, en para el caso de la investigación es la fabricación de una placa estándar que servirá como materia prima.

A continuación, se describen los 3 procesos definidos como parte de la estrategia para fabricar placas de PEAD:

■ Recuperación de las tapas de PEAD

El proceso de recuperación se enfoca en definir las medidas para el acopio de las tapas de PEAD, así como establecer las actividades necesarias para optimizar las características físicas del residuo y garantizar el posterior proceso de transformación. Para este proceso de definición se realizaron las siguientes actividades: Recolección, Clasificación, Limpieza y Secado.

1. Recolección del material: se recolectaron alrededor de 500 gramos de tapas de PEAD en uno de los centros de acopio analizados. En la figura 2, se observa que existe variación en las características físicas de las tapas recuperadas, esto es derivado de la falta de controles en el propio proceso de recepción de los residuos, las variaciones se identifican en tamaño, espesor y color.



Fig. 2: Proceso de recolección de tapas de PEAD.

2. Clasificación de material: en este proceso es importante determinar una variable para realizar el proceso de clasificación. En la tabla 2, se presenta el esquema de correlación para optimizar los procesos posteriores y definir las características de la clasificación: por tamaño, espesor o color son determinantes al establecer una correlación de tiempo, cantidad y estética.

Tabla 2: Esquema de correlación para clasificación de tapas PEAD

	Tiempo	Cantidad	Estética
Tamaño			
Espesor			
Color			

En la siguiente figura 3. Se muestra que el proceso de clasificación de las tapas se realizó en esta investigación fue por color, ya que, si se consideran factores como el tiempo del proceso, la cantidad de tapas y estética del material resultante, se considerarían las tapas rosas las cuales garantizarían un resultado óptimo. Sin embargo, este proceso de clasificación queda a criterio del ejecutor según lo requiera sus intereses.



Fig. 3: Proceso de separación. Elaboración propia

3. Limpieza: en esta actividad se eliminaron elementos o sustancias ajenas al material del PEAD, por lo que, como se muestra en la siguiente figura 4, se introdujeron las tapas en un recipiente con agua y jabón desengrasante durante 30 minutos. Durante este tiempo las tapas estuvieron en un movimiento constante y posteriormente en un recipiente de agua limpia se retiró el excedente de jabón.



Fig. 4: Proceso de lavado

4. Secado; esta actividad consiste en garantizar la ausencia de líquidos y humedad en las tapas de PEAD. Por lo que en un espacio ventilado y sobre materiales de absorción se colocaron las tapas de forma extendida sobre la superficie por un lapso de 30 min o hasta que se mostraron secas en su totalidad, como se puede observar en la imagen 4.



Fig. 5: Proceso de secado

■ Proceso de fundición

El proceso de fundición se realizó de manera manual con equipo no industrializado, se consideraron las especificaciones técnicas necesarias para garantizar la fundición de las tapas de PEAD. Las herramientas y equipos de apoyo para la fundición son los siguientes; a) parrilla tipo sandwichera la cual se utilizó para generar el calor requerido para fundir el material, b) hoja térmica de silicona y c) guantes refractarios necesarios para manipular el material caliente y protección personal, el procedimiento se llevó a cabo en un área ventilada y a temperatura ambiente.

Las especificaciones del proceso se definieron en relación con la capacidad del equipo de fundición y las características físicas de las tapas de PEAD. Por lo cual, para las primeras pruebas se consideraron diferentes variables y factores que se consideran en la Tabla 3, donde se observa el procedimiento del análisis y la cantidad de tapas necesarias para implementar el proceso de fundición, con la finalidad de controlar los tiempos de fundición y cantidad de tapas que se fundieron hasta obtener un proceso óptimo y eficiente.

Tabla 3: Proceso de Fundición y Sistema de control del proceso en tiempo y cantidad de tapas PEAD.

Cantidad de tapas	Acumulado de tapas	Tiempo de fundición en min.	Acumulado Tiempo de fundición en min.
8	8	7	7
7	15	10	17
6	21	10	27
6	27	13	40
6	33	13	53
12	45	19	72
8	53	11	83
13	66	20	103
Total	66		103 min

Procedimiento de fundición de las tapas de PEAD.

1. Se enciende el horno tipo Sandwichera hasta que alcance los 150 °C.
2. Se coloca una hoja térmica de silicona para concentrar el calor y contener el material fundido,
3. Se colocan las tapas a fundir al centro de la hoja de silicona y sobre la superficie de emisión de calor del horno. En la figura 6, foto 1 se muestra el posicionamiento de las tapas para comenzar la fundición y en la foto 2, se observa la acumulación de material fundido después de colocar material durante el proceso.
4. Se mantiene el material fundido hasta tener la cantidad requerida para modelar el producto.
5. Se tiene que aplicar movimientos rotativos al material para garantizar uniformidad en la conducción del calor.

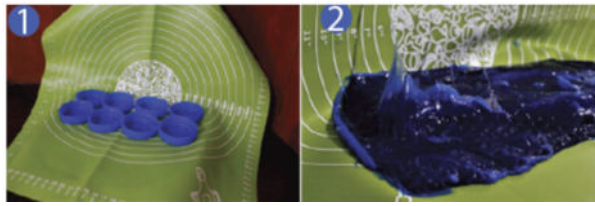


Fig. 6: Proceso de fundición, en la foto 1) se muestra el inicio del proceso al colocar las primeras tapas. foto 2) fundición final de 66 tapas.

El desempeño del proceso de fundición corresponde a las características del material a procesar y bajo las condicionantes de tamaño, espesor y color. Dichas propiedades favorecen o interfieren en la optimización afectando el tiempo de fundición, la cantidad de tapas por fundir y el acabado del material resultante. En la siguiente figura 7. Se identifica el análisis del proceso de fundición de la prueba 2, en el cual se presentan diferencias en las características de las tapas rosas, como en la densidad de la masa que se diferencia por un 30% menos y el espesor en las paredes, presentando un 20% más delgadas en comparación con las tapas de color azul.



Fig. 7: Prueba de fundición No. 2 con tapas rosas.

En la tabla 4, se muestra el procedimiento con otro tipo de tapas de PEAD que poseen características físicas distintas a las tapas azules así mismo los datos de acuerdo con el registro de la cantidad de tapas utilizadas para el Proceso de fundición.

Tabla 4: Proceso de Fundición y Sistema de control del proceso en cantidad y tiempo Tapas PEAD Rosas.

Cantidad de tapas	Acumulado de Tapas	Tiempo de fundición en min.	Acumulado Tiempo de fundición en min.
18	18	7	7
12	30	9	16
14	44	12	28
10	54	10	38
8	62	7	45
Total	62		45 min

■ **Proceso de Conformado**

El proceso de conformado se refiere a asignar una forma final que se desea del material de PEAD fundido, por lo que para este proceso se desarrollaran unas placas con dimensión estándar y bajo la intención de validar condiciones físicas del proceso a través de la integración del material y la maleabilidad en el conformado.

Para este proceso se seleccionó como estructura de conformado la base del horno de la sandwichera debido a que se requiere que se siga manteniendo cierto grado de calor en el material y de esta manera optimizar su propiedad de maleabilidad. Además para optimizar el proceso se utilizó una placa de acero que tiene un peso de 600 gramos que se coloca encima del material fundido para generar presión y mejorar las propiedades del conformado. En la figura 8, se muestran dos fotos del proceso de moldeo del PEAD y el contrapeso de la placa.



Fig. 8: Proceso de conformado de las placas de PEAD, Foto izq. Base para molde de placa. Foto der. Contrapeso de placa de acero.

Finalmente, se deja enfriar el material y se desprende del molde de conformado, es necesario realizar una inspección visual para identificar algunos defectos de procesos anteriores. La figura 9, muestra el resultado de las pruebas de fabricación de placas de PEAD en las cuales se identifican las características y condiciones alcanzadas con los procesos seleccionados y los parámetros definidos.

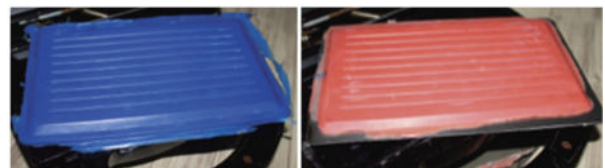


Fig. 9: Placas de PEAD resultantes del proceso propuesto.

DISCUSIÓN

Las estrategias de recuperación de residuos se han fortalecido en los últimos años gracias a los avances tecnológicos de los materiales y los procesos de transformación que facilitan el diseño y desarrollo de productos. En el campo de los plásticos las consideraciones sobre la recuperación y reciclaje representan una alternativa para el cuidado y conservación de los recursos fomentando un mejor manejo de estos residuos que son considerados comúnmente como desechos al concluir su vida útil.

Las tapas de polietileno de alta densidad son un residuo que se encuentra en cantidades muy grandes debido a su alto consumo y aplicaciones en diversos sectores. Este tipo de materiales posee propiedades y características adecuadas para el reciclaje a partir de procesos básicos. Como se mencionó anteriormente, donde se expone que las tapas de PEAD

ocupan el 20% de la producción relacionada con el consumo de botellas de PET, por lo que es necesario determinar estrategias que se enfoquen en recuperar estos tipos de materiales y establecer estrategias que garanticen su aprovechamiento desde enfoques locales con procesos de transformación no industrializados.

Es importante la determinación de variables para regular y controlar los procesos de las tapas de PEAD, optimizar el proceso de fundición a partir de la consideración de distintos factores ayuda a reducir el consumo de recursos, reducir el desperdicio de materiales, estas variables de optimización se determinan por las siguientes fórmulas:

- Tiempo de fundición: + tamaño – espesor - color
- Cantidad de material: + tamaño + Espesor - color
- Estética del material: - tamaño – espesor + color

Este tipo de estrategias fortalece la importancia de identificar las características físicas y mecánicas de los materiales para facilitar la toma de decisiones al fabricar los productos que busquen prolongar vida útil de los materiales dentro de un contexto local y proponer nuevas aplicaciones objetuales que contribuyan al consumo circular para que cuando ya no se utilice el material del producto pueda ser reutilizado, reparado o reciclado.

El proceso propuesto permite la fabricación y conformado de diversas formas mediante el uso de moldes con formas específicas. Así mismo, el equipo utilizado para llegar punto de fusión del PEAD mantiene una capacidad constante de 150°C, lo que permite mantener el PEAD en un estado de fusión ideal para considerar la utilización de refuerzos y fibras sintéticas o naturales que se enfoquen en la mejora de las propiedades del material resultante de dicha transformación.

Existen proyectos que se enfocan en la recuperación de residuos de PEAD para la fabricación exclusiva de productos de diseño industrial como joyería, accesorios, lentes, juguetes, y mobiliario. En el sector de la construcción y arquitectura se identifican productos considerados como estructuras y acabados, también en la ingeniería se identifican productos resultantes del recuperado y reciclaje del PEAD que se enfocan realizar productos orientados al sector automotriz, civil, movilidad.

Utilizar materiales reciclados en el desarrollo de nuevos productos fortalece al alcance establecido por la ley general de economía circular, la cual de acuerdo con Preciado (2021) buscar promover la eficiencia a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño impulsando que los productos incorporen criterios de economía circular.

CONCLUSIONES

Los plásticos son y serán aquellos con más versatilidad de usabilidad gracias a sus características físicas y sus propiedades mecánicas que corresponden al material en sí mismo, mismas que los vuelven aptos ante cualquier situación que se presente, con una amplia ventaja para su aplicación en un sinnúmero de productos y objetos de la vida cotidiana. El alto consumo de los plásticos genera también una incapacidad en la gestión de los residuos en sectores poco favorecidos y en actividades no reguladas para el propio consumo.

En este sentido la investigación mantiene una postura que se esfuerza por mantener una cultura de recuperación y reciclaje basado en generar estrategias sostenibles de alcance local que fomenten el reciclaje de los materiales residuales como el PEAD y promover la fabricación no industrializada para obtener productos y materias primas orientados hacia una economía circular.

La recuperación de residuos es una herramienta fundamental para la optimización de los recursos, siempre y cuando se determine bajo un sistema analítico que garantice la consideración de las propiedades y características de los materiales residuales para potencializar la reintegración a futuros procesos, como el análisis de las tapas de PEAD que se específico en las características de tamaño, espesor y color para facilitar la recuperación y un posterior proceso de fundición.

En el proceso de fundición y conformado se lograron establecer los parámetros y controles para garantizar uniformidad en el proceso y estabilidad en el material resultante para controlar su maleabilidad, si bien los equipos seleccionados se consideran tipo caseros, es para fortalecer la filosofía de una fabricación no industrializada y que cualquier persona que desee transformar los residuos identifique las condiciones y requerimientos para fabricar cualquier producto a partir de las tapas de PEAD.

Finalmente, los resultados obtenidos promueven la consideración de estrategias sostenibles a través de la recuperación, reutilización y el reciclaje de materiales residuales como de las tapas de PEAD para fabricar palcas estándar que funcionen como materia prima para la manufactura de nuevos productos, impulsando que los productos incorporen criterios de economía circular para la optimización de los recursos.

REFERENCIAS

- Almeida, M., y Guzmán G., M. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración*, 8, 34–56. doi: 10.32719/25506641.2020.8.10
- Azevedo, H. M. d. S. A. R. d., Barros, G. d. S., Silva, G. d. O. d., Faria, A. D., Santos, M. C. C. d., Libano, E. V. D. G., y Pereira, P. S. d. C. (2024). Compósitos de pead reciclado de fibras lignocelulósicas: Efeito do tipo de fibra, do teor e do agente compatibilizante. *Revista Contemporânea*, 4(4), e3546. doi: 10.56083/RCV4N4-064
- Bernal, R. G., Guerrero, C. A. Z., Castillo, J. J. P., Jiménez, J. C. T., y Reyes, F. I. T. (2022). Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (hd-pe) en forma de placas. *Ciencia Nicolaita*, 86, 136–148. doi: 10.35830/cn.vi86.682
- Bonsiepe, G. (1985). *El diseño de la periferia*. México: Gustavo Gili.
- Brown, T. (2009). *Change by design: how design thinking creates new alternatives for business and society*. New York: Harper-Collins.
- Bürdek, B. E. (1994). *Diseño: historia, teoría y práctica del diseño industrial*. México: Gustavo Gili.
- Cedeño, G., Crooks, K., Soto, M., Terán, N., y Walters, A. (2022). Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano. *Las Enfermeras De Hoy*, 1(2), 44–58. Descargado de <https://revistas>

.anep.org.pa/index.php/edh/article/view/35

- Henry, y. C. (2024). *Circular design thinking. una metodología per la sostenibilità*. Descargado de <https://www.henryandco.it/circular-design-thinking/> (Circular Design Thinking è una metodologia di design strategico volta all'individuazione di nuove opportunità di circolarità ed alla creazione di risultati sostenibili)
- Ketlun, M. d. (2020). Fases y redes en la metodología del design thinking. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 78, 91–102. doi: 10.18682/cdc.vi78.3663
- Maldonado, T. (1999). *Hacia una racionalidad ecológica*. Barcelona: Infinito.
- Pérez-Bondía, E. A. (2024). Estrategias de descontaminación de polietileno de baja densidad reciclado (ldpe) para su uso en contacto alimentario. *Jornada De Jóvenes Investigadores Del I3A*, 12. doi: 10.26754/jjii3a.202410629
- Quiroga, B. E. (2024). Implementación de polímeros termoplásticos reciclados como materia prima potencial para procesos de manufactura aditiva. *Ciencia y Poder Aéreo*, 19(1), 100–111. doi: 10.18667/cienciaypoderareo.802
- Ramos Coronel, P. E., Palma-Zambrano, E. D., y Martínez-Fernández, J. A. (2023). Propiedades mecánicas de plásticos y neumáticos reciclados. *MQR Investigar*, 7(1), 2053–2077. doi: 10.56048/MQR20225.7.1.2023.2053-2077
- Reyes, H. (2019). *Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México*. Descargado de <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/> (G. México, Productor)
- Sangucho Barros, D., Velasco-Cevallos, D., y Viera-Arroba, L. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 58–69. doi: 10.29166/reviñAg.v16i2.4495
- Santín, B. y. (1990). “*diseño de productos*”, en *lazo, marío, diseño industrial, tecnología y utilidades*. México: Trillas.
- Solis-Campos, F., y Santa Ana Lozada, P. R. (2022). Pead reciclado reforzado por fibra de vidrio. aplicación en cubiertas. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial2), 126–135. doi: 10.29057/icbi.v10iEspecial2.8700
- Toranzo, L. F. (2020). *Selección de materiales en el proceso de diseño* (Vol. 7) (n.º 13). Descargado de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/784/7843892009/> ([fecha de Consulta 1 de octubre de 2024])
- Torres de la Torre, C. (2020). El futuro de los plásticos o los plásticos del futuro. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 87, 229–242. doi: 10.18682/cdc.vi87.3768